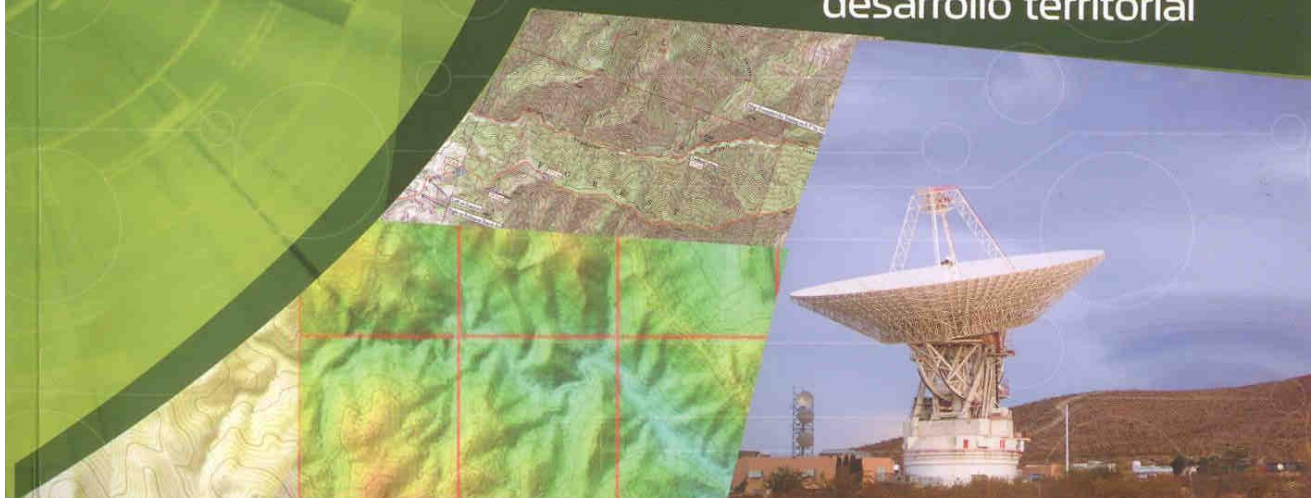
COMPILADORAS:
Xanat Antonio Némiga,
Sandra Lucía Hernández Zetina

La innovación geotecnológica como soporte para la toma de decisiones en el desarrollo territorial



LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL



LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL

Facultad de Geografía
Universidad Autónoma del Estado de México

2011

EDITOR: Dr. Miguel Ángel Balderas Plata

LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL

Este libro es una selección de los trabajos presentados en el marco de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, del 25 al 25 de Mayo en la Ciudad de Toluca, Estado de México, siendo la sede la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
Los capítulos aquí presentados fueron sometidos a un proceso de arbitraje por pares ciegos coordinado por el Comité Académico de la Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.

ISBN: 978-607-00-4404-5

Facultad de Geografía
Universidad Autónoma del Estado de México
2011

Universidad Autónoma del Estado de México

Directorio

Dr. en C. Eduardo Gasca Pliego
Rector

M.A.S.S. Felipe González Solano
Secretario de Docencia

Dr. en Fil. Sergio Franco Maass
Secretario de Investigación y Estudios Avanzados

Dr. en C. Pol. Manuel Hernández Luna
Secretario de Rectoría

M.A. E. Georgina María Arredondo Ayala
Secretaria de Difusión Cultural

M. en A. Ed. Yolanda E. Ballesteros Sentíes
Secretaria De Extensión y Vinculación

Dr. en C. Jaime Nicolás Jaramillo Paniagua
Secretario de Administración

Dr. en Ing. Roberto Franco Plata
Secretario de Planeación y Desarrollo Institucional

Dr. en D. Hiram Raúl Piña Libien
Abogado General

Lic en Com. Juan Portilla Estrada
Director General de Comunicación Universitaria

C.P. Alfonso Octavio Caicedo Díaz
Contralor Universitario

Facultad de Geografía

Directorio

M. en C. Ed. Agustín Olmos Cruz
Director

Mtro. Martin P. Soto Romero
Subdirector Académico

L.C.I. Rubén Ochoa Mora
Subdirector Administrativo

Lic. en PUR. Renata Juilliani Ruíz Gutiérrez
Coordinadora de Planeación

Dra. en R.N.P. Xanat Antonio Némiga
Coordinadora de Investigación y Estudios Avanzados

Dra. en Ed. Elsa Mireya Rosales Estrada
Coordinadora de Extensión y Vinculación

ECATSIG. Lidia Alejandra González Becerril
Coordinadora de Difusión Cultural

Dr. en C.A.R.N. Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo
Coordinador de la Licenciatura en Geoinformática

Dr. en C. Bonifacio D. Pérez Alcántara
Coordinador de la Licenciatura en Geografía

Créditos

Comité Organizador XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica

Dr. en G. Delfino Madrigal Uribe
Dr. en G. Noel Bonfilio Pineda Jaimes
M. en C. Ed. Agustín Olmos Cruz
L. C. I. Rubén Ochoa Mora
M. A. E. G. Martín Soto Romero
Dra. en R.N.P. Xanat Antonio Némiga
Ing. en S.C. Sandra Lucía Hernández Zetina
ECATSIG. Lidia A. González Becerril
Dra. en Ed. Elsa Mireya Rosales Estrada

Árbitros

Dr. Abraham Cárdenas Tristán –UASLP

Dr. Erick Sánchez Flores – UACJ

Dr. Luis Miguel Morales Manilla - UNAM

Dr. Valente Vásquez Solís – UASLP

Dra. Alma Villaseñor Franco – UAG

Dra. Margarita Parás Fernández - Centro GEO

Dra. Silvana Levi Levi – Centro GEO

Dr. Edward Allan Ellis – CITRO UV

Dr. Raúl Lemus Pérez - COLMEX

Dr. Antonio Álvarez Lobato – COLMEX

Dra. Carmen Guerrero Reyes - Centro GEO

Dr. Heriberto Cruz Solís – U de G

Dra. Bertha Márquez Azua – U de G

Dra. Marivel Hernández Téllez – CIRA

Dr. Delfino Madrigal Uribe - UAEMEX

Dr. Edel Cadena Vargas - UAEMEX

Dr. Fernando Carreto Bernal - UAEMEX

Dr. Juan Campos Alanís - UAEMEX

Dr. Miguel Ángel Balderas Plata - UAEMEX

Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes- UAEMEX

Dr. Roberto Franco Plata - UAEMEX

Dra. Brisa Violeta Carrasco Gallegos - UAEMEX

Dra. Elsa Mireya Rosales Estrada - UAEMEX

Dra. Xanat Antonio Némiga - UAEMEX

Ing. Sandra Lucía Hernández Zetina- UAEMEX

L. en P. U. R. Renata J. Ruiz Gutiérrez- UAEMEX

M.A. E. G. Martín Soto Romero- UAEMEX

M. C.A. Patricia Flores Hernández- UAEMEX

PRESENTACIÓN

Hoy más que nunca, las innovaciones geotecnológicas ocupan un lugar privilegiado en todas las actividades políticas, sociales, económicas y ambientales de nuestro planeta, dada la necesidad continua de información geográfica que permita la toma de decisiones en ámbitos diversos, para resolver problemáticas concretas.

Asistimos a un proceso de geografización de nuestra cultura y de todos nuestros objetos del conocimiento, que obliga al manejo de la cartografía digital, la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, como herramientas cotidianas en la captura, procesamiento, análisis y síntesis de la información geográfica y el conocimiento del territorio, a tal modo que se han incorporado como parte esencial del proceso formativo de los estudiantes en la Geografía, las ciencias de la Tierra y las ingenierías, dando lugar a disciplinas como la Geomática, la Geoinformática y la Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica.

Día a día, todas las disciplinas científicas y sociales incorporan este tipo de herramientas como parte de sus planes de estudio y sus procesos de investigación, en un afán por simplificar esfuerzos en la manipulación de la información geográfica y obtener ventajas en el conocimiento profundo de las problemáticas de sus ámbitos de estudio. Día a día también, las empresas y las instituciones de investigación proporcionan innovaciones que son incorporadas a las plataformas de hardware y software para el manejo óptimo de bases de datos y de sus traducciones hacia la cartografía automatizada, al igual que plataformas y sensores remotos más sofisticados en sus alcances de resolución espectral y espacial para el conocimiento de diversos fenómenos ambientales, impactando finalmente en funciones y operaciones más refinadas dentro de los ambientes de los Sistemas de Información Geográfica.

Se consolidan así geotecnologías novedosas como las Infraestructuras de Bases de Datos (IDE), los Datawarehouses, las minerías de datos, los servidores de mapas, los hipervínculos dinámicos dentro de los SIG, los servicios basados en localización (LBS), los sistemas interactivos multimedia en WEB, los SIG en tiempo real y los Open GIS, entre otros. Muchos de ellos muestran ligas estrechas entre sí, que utilizan elementos comunes como la telefonía celular, la localización GPS y los servidores en WEB, como forma de establecer una comunicación dinámica, interactiva e inteligente entre proveedores y usuarios.

Su utilización sistemática facilita las actividades, los trámites, las reuniones, las transacciones y las compras a distancia, dando lugar al geomarketing, el teletrabajo, las reuniones virtuales (virtual meeting), la investigación en acervos y sobre todo la adquisición y el manejo de información geográfica. También propician los procesos de educación a distancia, la impartición de conferencias, las consultas de bases de datos y de mapas, la venta de licencias de software y de conexiones para la obtención de imágenes satelitales y de sus metadatos.

De esa manera, el incremento de las aplicaciones hace pensar en un desarrollo exponencial de las geotecnologías en el futuro inmediato, para el cual es preciso prepararse con nuevos programas educativos de licenciatura y posgrado que incorporen las

innovaciones en una estrecha relación con los empleadores y las empresas e instituciones ligadas con su generación e implementación en el corto y el mediano plazo, como formas de adaptación permanente a los cambios cotidianos que experimenta el mercado de hardware y software.

El ritmo vertiginoso de los cambios obliga a considerar temas como la propiedad intelectual de la geotecnología y su normatividad o legislación, los procesos de gestión política y administrativa de la información geográfica en los diversos niveles de los sistemas de gobierno y el uso de la misma en los procesos de la planeación y la planificación urbana y regional, como aspectos que permiten el análisis de los actuales procesos de regulación geomática o geoinformática.

Las temáticas que pueden incluirse en este tipo de eventos internacionales pueden ser tan diversas como lo son los problemas que hay que resolver sobre el planeta. Sin embargo, uno de los objetivos de estos encuentros entre expertos y no expertos de la geotecnología y la geoinformática es el de presentar avances e innovaciones cuya exposición y discusión permite la adquisición de nuevas capacidades y nuevas estrategias en su aplicación.

Es por eso que la temática de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica contempla todos estos nuevos procesos como ejes para la exposición y discusión de los trabajos presentados en esta edición, destacando en este libro las contribuciones más significativas de esas aportaciones. Esto enmarca dignamente la participación de estudiantes, investigadores, profesores, empresarios y funcionarios de los diversos países de América Latina y España, que han venido participando entusiastamente dentro de sus convocatorias, dando continuidad a un trabajo sistemático desarrollado alrededor de las conferencias anteriores y de los distinguidos promotores de las mismas a lo largo de 24 años de intercambios dinámicos y fructíferos.

Dr. Delfino Madrigal Uribe
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes

INTRODUCCIÓN

El libro se encuentra organizado en cinco secciones que corresponden con los siguientes ejes temáticos de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica: 1. Nuevas tendencias y posicionamiento de las geotecnologías, 2. Educación y enseñanza, 3. Gestión de recursos y servicios en la administración pública, 4.Planificación urbana y regional y 5. Geotecnologías aplicadas a la gestión ambiental.

La primera sección busca rescatar las innovaciones en el uso, manejo y conceptualización de las tecnologías de la información geográfica de ahí que los capítulos rescatan aplicaciones innovadoras de las tecnologías (como en el capítulo de recuperación semántica de información basada en perfiles de usuario aplicado a servicios basados en localización, y el de definición de rutas basada en la ponderación semántica para diversos perfiles de usuario), nuevas propuestas para el tratamiento de los datos (como en el texto sobre valoración de la vulnerabilidad de objetos geográficos usando representaciones conceptuales) y nuevas propuestas conceptuales (como el texto sobre georeferenciación coloquial).

La segunda, reconociendo la necesidad de formar cuadros de personal altamente especializado en el manejo de las tecnologías, presenta los aspectos teóricos en la enseñanza de los SIG relacionados a su origen y evolución, así como las características del laboratorio remoto de información geográfica: una aplicación de la IDE del departamento de geografía de la universidad de Guadalajara.

La tercera sección hace un recorrido sobre las diferentes aplicaciones que los sistemas de información geográfica han tenido para abordar aspectos relacionados con la prestación de los servicios de salud, con el desarrollo de dispositivos de ayuda y asistencia personal y con la gestión de los servicios públicos.

La cuarta sección describe como diversas tecnologías de la información geográfica han sido empleadas para el ordenamiento territorial, la proyección en el crecimiento urbano y la gestión del territorio socialmente construido.

Finalmente, la quinta sección presenta cómo las tecnologías de la información geográfica pueden asistir en el monitoreo, manejo y planificación de los recursos naturales.

Al recuperar las propuestas conceptuales y los métodos de las aplicaciones más recientes de las tecnologías de la información geográfica en los más diversos ámbitos, este libro es un espacio de consulta, de diálogo y de retroalimentación obligado para todos aquellos interesados en comprender cómo las tecnologías de la información geográfica están revolucionando nuestra forma de ver el mundo y nuestro concepto de sociedad.

Dra. Xanat Antonio Némiga

LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL



LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL

Facultad de Geografía
Universidad Autónoma del Estado de México

2011

LA INNOVACIÓN GEOTECNOLÓGICA COMO SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO TERRITORIAL

Este libro es una selección de los trabajos presentados en el marco de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, del 25 al 25 de Mayo en la Ciudad de Toluca, Estado de México, siendo la sede la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.
Los capítulos aquí presentados fueron sometidos a un proceso de arbitraje por pares ciegos coordinado por el Comité Académico de la Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.

ISBN

Facultad de Geografía
Universidad Autónoma del Estado de México

2011

Universidad Autónoma del Estado de México

Directorio

Dr. en C. Eduardo Gasca Pliego
Rector

M.A.S.S. Felipe González Solano
Secretario de Docencia

Dr. en Fil. Sergio Franco Maass
Secretario de Investigación y Estudios Avanzados

Dr. en C. Pol. Manuel Hernández Luna
Secretario de Rectoría

M.A. E. Georgina María Arredondo Ayala
Secretaria de Difusión Cultural

M. en A. Ed. Yolanda E. Ballesteros Sentíes
Secretaria De Extensión y Vinculación

Dr. en C. Jaime Nicolás Jaramillo Paniagua
Secretario de Administración

Dr. en Ing. Roberto Franco Plata
Secretario de Planeación y Desarrollo Institucional

Dr. en D. Hiram Raúl Piña Libien
Abogado General

Lic en Com. Juan Portilla Estrada
Director General de Comunicación Universitaria

C.P. Alfonso Octavio Caicedo Díaz
Contralor Universitario

Facultad de Geografía

Directorio

M. en C. Ed. Agustín Olmos Cruz
Director

Mtro. Martin P. Soto Romero
Subdirector Académico

L.C.I. Rubén Ochoa Mora
Subdirector Administrativo

Lic. en PUR. Renata Juilliani Ruíz Gutiérrez
Coordinadora de Planeación

Dra. en R.N.P. Xanat Antonio Némiga
Coordinadora de Investigación y Estudios Avanzados

Dra. en Ed. Elsa Mireya Rosales Estrada
Coordinadora de Extensión y Vinculación

ECATSIG. Lidia Alejandra González Becerril
Coordinadora de Difusión Cultural

Dr. en C.A.R.N. Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo
Coordinador de la Licenciatura en Geoinformática

Dr. en C. Bonifacio D. Pérez Alcántara
Coordinador de la Licenciatura en Geografía

Créditos

Comité Organizador XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica

Dr. en G. Delfino Madrigal Uribe
Dr. en G. Noel Bonfilio Pineda Jaimes
M. en C. Ed. Agustín Olmos Cruz
L. C. I. Rubén Ochoa Mora
M. A. E. G. Martín Soto Romero
Dra. en R.N.P. Xanat Antonio Némiga
Ing. en S.C. Sandra Lucía Hernández Zetina
ECATSIG. Lidia A. González Becerril
Dra. en Ed. Elsa Mireya Rosales Estrada

Créditos

Comisión Académica XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica

Dr. Delfino Madrigal Uribe
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes
Dra. Xanat Antonio Némiga
Ing. Sandra Lucía Hernández Zetina
Dr. Juan Campos Alanís
Dr. Miguel Ángel Balderas Plata
Dr. José Francisco Monroy Gaytán
Lic. Renata Juilliani Ruiz Gutiérrez
ECATSIG. Lidia A. González Becerril

Revisión de Estilo: M. L. Myrna Sánchez Navarro
Compilación General: Ing. Sandra Lucía Hernández Zetina
Edición General: Dra. Xanat Antonio Némiga
Diseño de Portada: Cristina Buenrostro Sánchez

Árbitros

Dr. Abraham Cárdenas Tristán –UASLP
Dr. Erick Sánchez Flores – UACJ
Dr. Luis Miguel Morales Manilla - UNAM
Dr. Valente Vásquez Solís – UASLP
Dra. Alma Villaseñor Franco – UAG
Dra. Margarita Parás Fernández - Centro GEO
Dra. Silvana Levi Levi – Centro GEO
Dr. Edward Allan Ellis – CITRO UV
Dr. Raúl Lemus Pérez - COLMEX
Dr. Antonio Álvarez Lobato – COLMEX
Dra. Carmen Guerrero Reyes - Centro GEO
Dr. Heriberto Cruz Solís – U de G
Dra. Bertha Márquez Azua – U de G
Dra. Marivel Hernández Téllez – CIRA

Dr. Delfino Madrigal Uribe - UAEMEX
Dr. Edel Cadena Vargas - UAEMEX
Dr. Fernando Carreto Bernal - UAEMEX
Dr. Juan Campos Alanís - UAEMEX
Dr. Miguel Ángel Balderas Plata - UAEMEX
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes- UAEMEX
Dr. Roberto Franco Plata - UAEMEX
Dra. Brisa Violeta Carrasco Gallegos - UAEMEX
Dra. Elsa Mireya Rosales Estrada - UAEMEX
Dra. Xanat Antonio Némiga - UAEMEX
Ing. Sandra Lucía Hernández Zetina- UAEMEX
L. en P. U. R. Renata J. Ruiz Gutiérrez- UAEMEX
M. A. E. G. Martín Soto Romero- UAEMEX
M. C. A. Patricia Flores Hernández- UAEMEX

PRESENTACIÓN

Hoy más que nunca, las innovaciones geotecnológicas ocupan un lugar privilegiado en todas las actividades políticas, sociales, económicas y ambientales de nuestro planeta, dada la necesidad continua de información geográfica que permita la toma de decisiones en ámbitos diversos, para resolver problemáticas concretas.

Asistimos a un proceso de geografización de nuestra cultura y de todos nuestros objetos del conocimiento, que obliga al manejo de la cartografía digital, la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, como herramientas cotidianas en la captura, procesamiento, análisis y síntesis de la información geográfica y el conocimiento del territorio, a tal modo que se han incorporado como parte esencial del proceso formativo de los estudiantes en la Geografía, las ciencias de la Tierra y las ingenierías, dando lugar a disciplinas como la Geomática, la Geoinformática y la Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica.

Día a día, todas las disciplinas científicas y sociales incorporan este tipo de herramientas como parte de sus planes de estudio y sus procesos de investigación, en un afán por simplificar esfuerzos en la manipulación de la información geográfica y obtener ventajas en el conocimiento profundo de las problemáticas de sus ámbitos de estudio. Día a día también, las empresas y las instituciones de investigación proporcionan innovaciones que son incorporadas a las plataformas de hardware y software para el manejo óptimo de bases de datos y de sus traducciones hacia la cartografía automatizada, al igual que plataformas y sensores remotos más sofisticados en sus alcances de resolución espectral y espacial para el conocimiento de diversos fenómenos ambientales, impactando finalmente en funciones y operaciones más refinadas dentro de los ambientes de los Sistemas de Información Geográfica.

Se consolidan así geotecnologías novedosas como las Infraestructuras de Bases de Datos (IDE), los Datawarehouses, las minerías de datos, los servidores de mapas, los hipervínculos dinámicos dentro de los SIG, los servicios basados en localización (LBS), los sistemas interactivos multimedia en WEB, los SIG en tiempo real y los Open GIS, entre otros. Muchos de ellos muestran ligas estrechas entre sí, que utilizan elementos comunes como la telefonía celular, la localización GPS y los servidores en WEB, como forma de establecer una comunicación dinámica, interactiva e inteligente entre proveedores y usuarios.

Su utilización sistemática facilita las actividades, los trámites, las reuniones, las transacciones y las compras a distancia, dando lugar al geomarketing, el teletrabajo, las reuniones virtuales (virtual meeting), la investigación en acervos y sobre todo la adquisición y el manejo de información geográfica. También propician los procesos de educación a distancia, la impartición de conferencias, las consultas de bases de datos y de mapas, la venta de licencias de software y de conexiones para la obtención de imágenes satelitales y de sus metadatos.

De esa manera, el incremento de las aplicaciones hace pensar en un desarrollo exponencial de las geotecnologías en el futuro inmediato, para el cual es preciso prepararse con nuevos programas educativos de licenciatura y posgrado que incorporen las

innovaciones en una estrecha relación con los empleadores y las empresas e instituciones ligadas con su generación e implementación en el corto y el mediano plazo, como formas de adaptación permanente a los cambios cotidianos que experimenta el mercado de hardware y software.

El ritmo vertiginoso de los cambios obliga a considerar temas como la propiedad intelectual de la geotecnología y su normatividad o legislación, los procesos de gestión política y administrativa de la información geográfica en los diversos niveles de los sistemas de gobierno y el uso de la misma en los procesos de la planeación y la planificación urbana y regional, como aspectos que permiten el análisis de los actuales procesos de regulación geomática o geoinformática.

Las temáticas que pueden incluirse en este tipo de eventos internacionales pueden ser tan diversas como lo son los problemas que hay que resolver sobre el planeta. Sin embargo, uno de los objetivos de estos encuentros entre expertos y no expertos de la geotecnología y la geoinformática es el de presentar avances e innovaciones cuya exposición y discusión permite la adquisición de nuevas capacidades y nuevas estrategias en su aplicación.

Es por eso que la temática de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica contempla todos estos nuevos procesos como ejes para la exposición y discusión de los trabajos presentados en esta edición, destacando en este libro las contribuciones más significativas de esas aportaciones. Esto enmarca dignamente la participación de estudiantes, investigadores, profesores, empresarios y funcionarios de los diversos países de América Latina y España, que han venido participando entusiastamente dentro de sus convocatorias, dando continuidad a un trabajo sistemático desarrollado alrededor de las conferencias anteriores y de los distinguidos promotores de las mismas a lo largo de 24 años de intercambios dinámicos y fructíferos.

Dr. Delfino Madrigal Uribe
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes

INTRODUCCIÓN

El libro se encuentra organizado en cinco secciones que corresponden con los siguientes ejes temáticos de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica: 1. Nuevas tendencias y posicionamiento de las geotecnologías, 2. Educación y enseñanza, 3. Gestión de recursos y servicios en la administración pública, 4.Planificación urbana y regional y 5. Geotecnologías aplicadas a la gestión ambiental.

La primera sección busca rescatar las innovaciones en el uso, manejo y conceptualización de las tecnologías de la información geográfica de ahí que los capítulos rescatan aplicaciones innovadoras de las tecnologías (como en el capítulo de recuperación semántica de información basada en perfiles de usuario aplicado a servicios basados en localización, y el de definición de rutas basada en la ponderación semántica para diversos perfiles de usuario), nuevas propuestas para el tratamiento de los datos (como en el texto sobre valoración de la vulnerabilidad de objetos geográficos usando representaciones conceptuales) y nuevas propuestas conceptuales (como el texto sobre georeferenciación coloquial).

La segunda, reconociendo la necesidad de formar cuadros de personal altamente especializado en el manejo de las tecnologías, presenta los aspectos teóricos en la enseñanza de los SIG relacionados a su origen y evolución, así como las características del laboratorio remoto de información geográfica: una aplicación de la IDE del departamento de geografía de la universidad de Guadalajara.

La tercera sección hace un recorrido sobre las diferentes aplicaciones que los sistemas de información geográfica han tenido para abordar aspectos relacionados con la prestación de los servicios de salud, con el desarrollo de dispositivos de ayuda y asistencia personal y con la gestión de los servicios públicos.

La cuarta sección describe como diversas tecnologías de la información geográfica han sido empleadas para el ordenamiento territorial, la proyección en el crecimiento urbano y la gestión del territorio socialmente construido.

Finalmente, la quinta sección presenta cómo las tecnologías de la información geográfica pueden asistir en el monitoreo, manejo y planificación de los recursos naturales.

Al recuperar las propuestas conceptuales y los métodos de las aplicaciones más recientes de las tecnologías de la información geográfica en los más diversos ámbitos, este libro es un espacio de consulta, de diálogo y de retroalimentación obligado para todos aquellos interesados en comprender cómo las tecnologías de la información geográfica están revolucionando nuestra forma de ver el mundo y nuestro concepto de sociedad.

Dra. Xanat Antonio Némiga

SECCION I.

NUEVAS TENDENCIAS Y POSICIONAMIENTO DE LAS GEOTECNOLOGÍAS

DEFINICIÓN DE RUTAS BASADA EN LA PONDERACIÓN SEMÁNTICA PARA DIVERSOS PERFILES DE USUARIO

Vladimir Luna Soto[1], Marco Moreno Ibarra[2], Rolando Quintero Téllez[3]

RESUMEN

Hoy en día, existen diversas alternativas para realizar el cálculo de rutas, utilizando navegadores GPS y aplicaciones en Internet. Sin embargo, estos sistemas no consideran las necesidades específicas de cada usuario. Frecuentemente, el usuario conoce el origen de la ruta y muy probablemente el destino, pero desconoce las características intrínsecas del camino y algunos factores externos. El objetivo de este trabajo es diseñar una metodología para calcular rutas ergonómicamente viables para cada usuario. La metodología se basa en una ontología de aplicación que describe las características de las vialidades y los factores externos que las influyen. Se proponen tres etapas: a) Personalización (perfil de usuario); b) Umbralización, (función de ponderación semántica); y c) Ruteo (algoritmo de ruta óptima). Como caso de estudio se analiza un fragmento de la Ciudad de México.

Palabras clave: Función de Ponderación semántica, Algoritmo de Rutas, Ontología, Perfil de usuario.

DEFINITION OF ROUTES BASED ON SEMANTIC WEIGHTING FOR DIFFERENT USER PROFILES

ABSTRACT

Nowadays, there are several alternatives for the routing finding such as GPS navigators and Internet applications. However, these systems do not consider the specific needs of each user. Often, the user knows the origin of the route and probably knows the destination, but ignores the inherent characteristics of the road and some external factors. The methodology is based on an application ontology that describes the characteristics of roads and external factors that influence them. We propose a method of three stages: a) Customization (user profile), b) Thresholding, (semantic weighting function), and c) Routing (optimal route algorithm). As a case study we consider a fragment of Mexico City.

Keywords: *Semantically weighted function, Routing Algorithm, Ontology, User profile.*

Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial. Centro de Investigación en Computación – Instituto Politécnico Nacional. Av. Juan de Dios Bátiz s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal. Unidad Profesional Adolfo López Mateos Col. Nueva Industrial Vallejo Delegación Gustavo A. Madero C.P 07738, México D.F. [1] lsotoa10@sagitario.cic.ipn.mx, [2]marcomoreno@cic.ipn.mx, [3]quintero@cic.ipn.mx

1. Introducción

El desarrollo de algoritmos para encontrar el camino más corto en una red de caminos ha sido un campo de investigación muy explorado en las últimas décadas. Se han perfeccionado añadiendo mejoras de acuerdo con la problemática que se desea resolver, como lo hacen algoritmos basados en A*, los cuales están enfocados en problemas de ruteo en una red urbana de caminos donde se consideran atributos extras como restricciones viales, tiempos de espera en semáforos, tráfico medio, entre otros. Los algoritmos tradicionales (por ejemplo Dijsktra, Bellman-Ford, Floyd-Warshall, A*, etc.) consideran pesos numéricos en cada una de las aristas del grafo.

La personalización es uno de los elementos clave para que una aplicación obtenga resultados óptimos, significando así la satisfacción del usuario, debido a que los resultados obtenidos cumplen los deseos del mismo. En el caso de los dispositivos de navegación actuales, son pocos los que se auxilian de un perfil de usuario para proporcionar rutas óptimas. La mayoría de ellos se limitan a encontrar rutas minimizando el factor de la distancia, en algunos casos considerando el tráfico en algunas zonas, y algunos otros memorizan las rutas que son constantemente visitadas, por ejemplo la ruta casa – trabajo – casa. Sin embargo ninguno de estos navegadores, personal ni servicio por internet, ofrece al usuario una ruta ergonómicamente viable de acuerdo con sus preferencias y necesidades, considerando la semántica del camino. Esto es tomar en cuenta las condiciones intrínsecas del camino como los topes, baches, iluminación, índice delictivo, que son tan característicos de los caminos mexicanos.

El objetivo de este capítulo es proponer una metodología para definir rutas "ergonómicas", en una red de caminos urbana, considerando pesos semánticos y un método de toma de decisiones multi-criterio para diversos perfiles de usuario.

El contenido de este capítulo se divide en *Estado del arte*, donde se hace una referencia a trabajos y publicaciones relacionados con este capítulo. En la sección de *Metodología* se explican detalladamente las tres etapas que conforman la metodología de este capítulo: personalización, umbralización y ruteo; posteriormente se analizan los *resultados preliminares* de este capítulo con trabajos relacionados y finalmente se discuten las *conclusiones* y *trabajo a futuro*.

2. Antecedentes

2.1 Modelado de Rutas de Vehículos

Los trabajos relacionados con el ruteo de vehículos han presenciado el desarrollo de una gran variedad de técnicas matemáticas. La aplicación práctica de estos trabajos depende del uso de información espacial, tales como la red de carreteras y vialidades. Sin embargo, estas técnicas se han desarrollado de forma independiente a las aplicaciones desarrolladas por otros usuarios, por lo cual no consideran muchos factores que podrían auxiliar a su desarrollo. Peter Keenan (2008) argumenta que las técnicas tradicionales de enrutamiento han dejado de lado la importancia de las limitaciones de las rutas y que los enfoques de los Sistemas de Información Geográfica permiten la modelización de una amplia gama de problemas de enrutamiento; sugiere que la síntesis del diseño de rutas y técnicas de los SIG en un sistema de soporte de decisiones espaciales pueden mejorar significativamente el modelado de estos problemas.

OR/MS (Operations Research/Management Science) es un área ampliamente desarrollada de las matemáticas aplicadas y dentro de este campo el problema del ruteo de vehículos es una de las áreas de investigación con mayor actividad. Existen múltiples variaciones de este problema y estos han considerado el uso de una amplia gama de técnicas matemáticas para resolverlos.

Por ejemplo, los problemas del arco de enrutamiento tienen como objetivo establecer una secuencia de arcos que deben visitarse. Algunos otros se pueden resolver con técnicas óptimas, pero para muchos otros sólo con técnicas heurísticas son capaces de proporcionar una respuesta en un tiempo oportuno.

Los modelos matemáticos de enrutamiento típicamente emplean una representación simplificada del mundo real, lo que permite una representación matemática más simple del problema, la cual puede resolverse en un tiempo razonable.

Las innovaciones en Tecnologías de la Información (TI) han permitido el almacenamiento de mayor cantidad de datos relacionados con el problema y la solución de problemas más grandes. Se ha desarrollado una variedad de sistemas con soporte de decisión (Decision Support System) para cálculo de rutas, con el fin de facilitar la interacción entre los modelos y usuarios expertos. Esta interacción permite al usuario superar algunas limitaciones entre el mal diseño del modelo y el mundo real. Los Sistemas de Información Geográfica son reconocidos como una de las nuevas tecnologías que introdujeron los sistemas con soporte de decisión en el ruteo de vehículos (Keenan, 1998).

Categorías de datos para enrutamiento

En el modelado de problemas de ruteo, Keenan (1998) identifica tres categorías. Los problemas que contienen datos asociados a lugares, por ejemplo datos relacionados a almacenes o comercios y los clientes. La segunda categoría de datos en un problema de ruteo se refiere a vehículos que deben visitar estos lugares. Los parámetros del vehículo que se consideran son la velocidad y la capacidad. Por último, el problema que contiene un conjunto de rutas entre los sitios. A partir de estas rutas, se pueden derivar las distancias recorridas y el tiempo de viaje.

El problema de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem) se define como el conjunto de visitas de los vehículos a los lugares a lo largo de un conjunto de rutas entre estos lugares. Las restricciones en el problema existen para los sitios, rutas y vehículos. Muchas de estas restricciones son independientes una de la otra. Por ejemplo, un cambio en el tiempo de espera en un lugar no puede afectar directamente a las rutas que se pueden utilizar. Otras restricciones son interdependientes y se ven afectadas por la interacción entre dos tipos de datos. Por ejemplo, un determinado tipo de vehículo puede no ser capaz de visitar un determinado lugar o utilizar una ruta en específico.

Los puntos de vista tradicionales del problema de ruteo han tendido a enfatizar las limitaciones del vehículo y de la ubicación. Sin embargo no se presta mucha atención a las limitaciones del camino. Se define generalmente la ruta completa para un vehículo como la secuencia de puntos que tienen que ser visitados (Bodin y Golden, 1981). Este trabajo propone una definición más amplia de los problemas de ruteo para vehículos, con el objetivo de considerar la semántica de las vialidades como un componente importante del problema.

Las restricciones principales para los problemas de ruteo se muestran en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Restricciones en problemas de ruteo para vehículos, una adaptación de Bodin y Gold (1981)

Restricciones de ubicación	**Tiempo de servicio en un lugar** **Número de almacenes** **Naturaleza de las demandas, - determinísticas o estocásticas** **Ubicación de las demandas: puntos, líneas o polígonos** **Operaciones – Recepción o entrega**
Restricciones del vehículo	Número de almacenes Tamaño de la flotilla Restricciones de la capacidad del vehículo Tiempos máximos de la ruta
Restricciones del camino	Dirigido o no dirigido Tiempo para viajar desde un segmento determinado de la red Limitaciones del tipo de vehículo en segmentos de la red

Otro problema relacionado con el ruteo se refiere a las diferentes velocidades en diferentes sectores de la red de caminos, relacionándose directamente con la información en tiempo real del tráfico en las vialidades, caminos cerrados por accidentes, etc. Las interacciones complejas entre parámetros del vehículo y caminos pueden significar que vehículos de carga no puedan usar segmentos de la red de caminos, debido a pendientes pronunciadas o por límites de carga en puentes, etc. (Ray, 2007).

Una alternativa para obtener un modelo integral de la red de carreteras para un problema de ruteo vehicular es el cálculo en tiempo real de los tiempos de viaje. En aplicaciones urbanas se consideran factores como el sentido de las calles, restricciones de giro a la derecha o a la izquierda y las restricciones del tamaño del vehículo. A diferencia de zonas rurales, donde el vehículos de gran tamaño no tienen restricciones para transitar por este tipo de caminos.

Requisitos de los datos para ruteo de vehículos

Una ruta eficiente es una ruta que minimiza la distancia de recorrido entre dos puntos, sujetas a diversas limitaciones de carga y tiempo.

Las exigencias de la información necesaria para problemas de ruteo vehicular son mucho mayores si los parámetros son interdependientes o dependientes de otra variable como el tiempo. Por ejemplo, en el modelado de la congestión de tráfico vehicular, la velocidad adecuada puede depender de la hora del día. En problemas dinámicos muchos de los datos estáticos son espaciales en la naturaleza, incluyendo la red de carreteras y las ubicaciones de los usuarios. Pero los datos dinámicos pueden ser también localizados espacialmente, como los accidentes de tránsito o las obras viales que causen retrasos (Wang *et al.* 1999).

Los requisitos de los datos para la identificación de problemas de ruteo se incrementan cuando los elementos de los datos son interdependientes. Esto significa que es imposible pre- procesar rutas con una sola matriz de distancias, por lo que las interacciones entre vehículos y rutas deben ser consideradas para modelar el ruteo de vehículos en este tipo de situaciones.

La Tabla 1-2 muestra algunos de los tipos de datos de localización. Estos problemas de ruteo con interdependencias de datos requieren sistemas más complejos. Las técnicas tradicionales han dejado a un lado la importancia de las restricciones de las rutas; se produce un problema más complejo donde hay interdependencias entre las rutas y otros aspectos del problema (Tabla 1-3).

Tabla 1-2. Tipos de datos de localización

Tipos de Datos		Tipo de problema	Ejemplo
Tipos Básicos	Punto	Problemas tradicionales de entrega	Entrega de los almacenes a las tiendas
	Arco	Arco de enrutamiento	Distribución postal
	Polígono	TSP generalizado	Recolección en los buzones postales
Datos Interdependientes	Interacción con los parámetros del vehículo	Demanda continua, servicio intermitente del vehículo	Recolección de basura: volúmenes basados en el tiempo de la última recolección.
	Interacción con los parámetros de la ruta	Localización – problema de ruteo	Ruteo de transporte público con ubicación de paradas.

Tabla 1-3. Tipos de datos de rutas

Tipos de Datos		Tipo de problema	Ejemplo
Tipos Básicos	Plano	Coordenadas XY distancia	Ruta de los buques en el mar
	Red restringida	Aproximación a la distancia real	Reparto urbano a través de la red de calles
Datos Interdependientes	Interacción con los parámetros de localización	Evitar objetos en la rutas	Ruta de los buques en relación con las islas
	Interacción con los parámetros del vehículo	Restricción de vehículos de carga	Límite de peso en los puentes

Transporte de mercancías peligrosas es una clase de problema con interacciones potencialmente complejas entre las trayectorias y los parámetros de ubicación, por ejemplo, el transporte de residuos tóxicos o materiales radioactivos. Las rutas para el transporte de estos tipos de mercancías podrían evitar determinadas zonas, áreas ambientalmente sensibles, carreteras con pendientes pronunciadas, zonas pobladas, y al mismo tiempo permanecer dentro de una distancia especificada cercana a servicios de emergencia, como ambulancias o estaciones de bomberos (Huang *et al.* 2003), ver Figura 1-1.

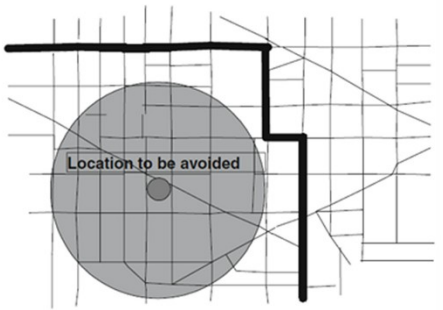


Figura 1-1. Red restringida de rutas que deben evitar una ubicación conocida

El transporte de valores es otro problema donde los vehículos podrían pasar cerca de estaciones de policía para disminuir el riesgo de un asalto (Tarantilis y Kiranoudis, 2004).

Ruteo en situaciones críticas

Las situaciones críticas o situaciones de desastre pueden ser simuladas con propósitos de planificación de evacuación. Es por esto necesario generar modelos más realistas que consideren datos que enriquezcan la semántica de la situación, por ejemplo en la red de vialidades para dar una solución más acertada en los problemas de ruteo.

Otras situaciones de evacuación surgen del resultado de condiciones dinámicas, por ejemplo un huracán o un tornado, donde para este tipo de problema la planificación de las rutas debe ser fuertemente influenciada por características geográficas.

Este tipo de problemas se podría beneficiar desde una combinación de Sistemas de Información Geográfica y técnicas de ruteo hasta interacciones entre el modelo de datos de población, datos de elevación y datos de localización (Zeger e Ingle-Smith, 2003). Indicando la importancia de enviar vehículos de emergencia y cuadrillas de rescate en una situación de desastre. El software GIS puede ser usado para obtener una medida aproximada del riesgo en diferentes puntos de la red de caminos (Zhang *et al*. 2000), que después pueden ser procesados por algoritmos OR/MS (Operations Research/Management Science) para evaluar las rutas con mínimo riesgo (Patel y Horowitz, 1994).

En otros casos, los SIG pueden ser utilizados para ubicar los centros de emergencia con el objetivo de proporcionar un tiempo rápido de respuesta a las rutas utilizadas para el transporte de cargas peligrosas (Zografos y Androutsopoulos, 2005).

Los SIG auxilian a los algoritmos de ruteo en estas situaciones debido a que requiere conocer las condiciones del camino, después de un desastre natural o provocado por el hombre, para conocer la ubicación de los edificios derrumbados o en peligro de colapsar, vialidades dañadas como son caminos cerrados, puentes vehiculares y peatonales, líneas caídas de alta tensión, además de localizar los refugios, alberges, hospitales, entre otros.

Sistemas de Información Geográfica en el problema del ruteo

Los Sistemas de Información Geográfica son recursos importantes en el análisis de toma de decisiones en distintos niveles de la sociedad y sus actividades. El análisis de redes, un tipo de análisis espacial, es el método más poderoso de los SIG y los sistemas inteligentes de transporte (ITS). El proceso de planificación de rutas basado en ciertos criterios es una herramienta común para el análisis de redes.

Un GIS o un software de mapeo pueden ser usados como una atractiva interfaz, y un GIS podría proporcionar una manera conveniente para almacenar las redes de caminos del problema a trata, pero la base de datos y las capacidades de las consultas espaciales han jugado un rol limitado. Es prudente tener un software de planificación de vehículos interactivo. La información de las rutas puede ser estructurada con los sistemas de información de manera que apoye los procesos cognitivos humanos, tales como seguir una ruta, encontrar el camino, entre otros.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) también son utilizados para la producción de mapas digitales y como una tecnología muy útil para integración de datos. Además de que pueden soportar análisis espacial y modelación dinámica, que son herramientas bastante útiles en el problema de ruteo de vehículos.

Nivel de granularidad urbana

Un aspecto crucial en el tratamiento de la información espacial es hacer frente a los diferentes niveles de granularidad y los cambios entre estos niveles. En general se pueden distinguir los siguientes enfoques de información de las rutas: (a) los que tienen como entrada una ruta completa y optimizan las direcciones de ruta para esta ruta en particular [19],[20],[21]; los que optimizan la elección de una ruta basándose en aspectos cognitivos, por ejemplo, facilitar la descripción de la ruta o para reducir el riesgo de perderse [22],[23],[24]; los que diferencian entre las partes del medio ambiente que son conocidas y las que son desconocidas para el buscador. La idea es ofrecer sólo información relevante de las partes que se conocen (ej. Resumen de una ruta concreta y solo anunciar destinos e intermedios), mientras son detallados en las partes desconocidas (ej. Indicaciones giro a giro), [25], [26], [27], [28], [29], [30].

El nivel de granularidad, al brindar direcciones de una ruta, enfatiza las zonas que son desconocidas, como la ruta intermedia y son el resultado de una organización jerárquica del conocimiento espacial urbano. Por ejemplo en la Figura 1-2, se indica la ruta para llegar del punto 1 al punto 26; esta ruta contiene un cierto nivel de detalle de utilidad para el usuario, enfocándose en objetos con cierta relevancia visual como son las vías del tren, la estación de trenes y la forma de las vialidades, con la finalidad de guiar al usuario con la mayor sencillez posible y la menor ambigüedad.

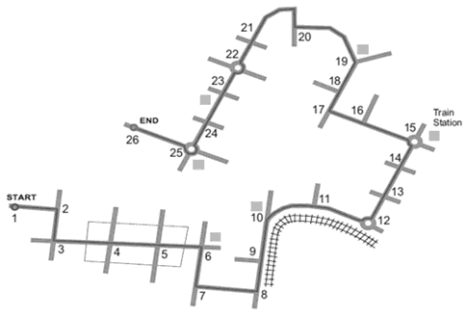


Figura 1-2. Ejemplo del cálculo de una ruta considerando objetos geográficos relevantes

Puntos de Referencia (Landmarks)

Desplazarse desde un punto A hacia un punto B en una ciudad desconocida es una tarea difícil para cualquier conductor. Para facilitar esta tarea, las personas se auxilian de información externa para conocer la ruta por la cual pasar, por ejemplo preguntando a alguien que conozca el lugar o guiándose por puntos significativos, con el objetivo de reducir la carga cognitiva para los viajeros y al mismo tiempo auxiliar al viajero a conocer su entorno y de esta forma hacerlo sentir cómodo y ubicado.

La incorporación semántica de puntos de referencia en estructuras de datos todavía está sin resolver. Mientras exista un buen entendimiento de por qué y cuándo las personas utilizan puntos de referencia en la organización de los conocimientos espaciales con el propósito de comunicación o memorizar, nuestra capacidad de formalizar este conocimiento e integrar los puntos de referencia en la actual tecnología de la información, tales como sistemas de navegación GPS, es aún limitada. Una dificultad mayor es la de formalizar el concepto de punto de referencia. Este es un paso necesario para permitir un servicio que proporcione direcciones de ruta que integre los puntos de referencia en las instrucciones generadas.

La relevancia determina si un objeto puede ser considerado como punto de referencia. Los objetos más relevantes son aquellos que pueden ser identificados por una persona. La combinación de aspectos visuales, estructurales y semánticos determinan la relevancia de ese objeto [31].

De acuerdo con Presson y Montello [32], todo aquello que destaca del fondo puede servir como punto de referencia. En el contexto de ir siguiendo una ruta incluso las intersecciones pueden ser consideradas como posibles puntos de referencia [33,34]. Por lo tanto, los puntos de referencia (Landmarks) son entidades geográficas de gran relevancia que puede ser distinguido fácilmente por el usuario.

Ontologías en el problema del ruteo

Las ontologías son un nivel de descripción del conocimiento de un sistema que es independiente de la estructura interna. El uso de la ontología ofrece muchas ventajas tales como la determinación de los criterios apropiados para el usuario y el modelado del contexto, jugando un rol alterno de expertos en el proceso de toma de decisiones, en cooperación con un motor de inferencia basado en ontologías, modelado del conocimiento del dominio, explicación de los supuestos de dominio, y emplear los servicios basados en conocimiento.

Lars Kulik y otros autores mencionan que además del efecto geométrico de un vértice en toda la curva poligonal, también asignan un peso por la relevancia semántica de cada vértice dentro de un contexto particular. Un objeto geográfico se describe no sólo por su extensión geométrica sino también por sus características semánticas. Por ejemplo, en el caso de una red de carreteras, una ontología subyacente de carreteras podría proporcionar la semántica de las distintas clases de carreteras. A su vez, las diferentes clases de carreteras pueden adoptar diferentes niveles de importancia una persona dedicada a una tarea concreta (por ejemplo, las autopistas son más importantes que las carreteras secundarias). El peso semántico asignado a cada vértice debe reflejar la importancia de ese vértice a un contexto específico de tareas o a un contexto orientado al usuario [19].

Perfil de Usuario

El perfil de usuario juega un papel preponderante en el cálculo de las rutas, debido a que la gran mayoría de los sistemas comerciales no consideran este factor, puesto que las rutas obtenidas no son exactamente lo que los usuarios necesitan, ya que no todos los usuarios tienen las mismas necesidades debido a condiciones de tiempo, tipo de vehículo, gasto de combustible, tiempo de llegada, etc.

Un perfil de usuario es vital para personalización, se debe definir de acuerdo con la aplicación las preferencias del usuario y modelo del contexto. Una representación adecuada de las preferencias del usuario y la situación del medio y los alrededores conduce a la ruta correcta. En otras palabras, si una determinada ruta es mejor que otra, depende en gran medida de las preferencias de la situación y las preferencias del usuario.

En los últimos años, los algoritmos para encontrar la ruta óptima adolecen de una serie de dificultades importantes, debido principalmente al modelado de criterios insuficientes para un sistema personalizado.

Personalización de rutas

Los servicios de ruteo son cada vez más populares e imprescindibles. Cada día, millones de personas buscan direcciones en línea y como el número de sistemas de navegación a bordo de los automóviles aumenta y las búsquedas en mapas están migrando, de ser consultadas desde computadoras personales a teléfonos móviles, los usuarios ahora tienen la posibilidad de preguntar por una dirección en cualquier momento y desde cualquier lugar.

Los servicios de navegación como los sistemas de navegación en los automóviles y sitios de búsqueda de mapas en línea, calculan rutas entre dos locaciones con el objetivo de ayudar al usuario a llegar ahí. Sin embargo, estas rutas pueden dirigir al usuario hacia una ruta desconocida, cuando podría existir un camino ya conocido por el usuario, o puede arrojar información que el usuario ya conoce.

Las rutas calculadas por estos servicios son a menudo demasiado complejas, porque puede dar lugar a rutas que dirijan al usuario por zonas desconocidas o peligrosas. Los algoritmos tradicionales de búsqueda de rutas optimizan la distancia o el tiempo. Sin embargo, algunos algoritmos como el propuesto por Kayur Patel, Mike Y. Chen, Ian Smith y James A. Landay, consideran aspectos como la familiaridad del usuario con la ruta obtenida para comprimir la cantidad de instrucciones que lo guiarán. Otros autores emplean puntos de referencia para hacer más intuitiva la navegación. Sin embargo, ninguno ha propuesto un algoritmo que considere la semántica de la vialidad, y un perfil de usuario para obtener una ruta apegada a los requerimientos del usuario.

Muchos criterios relevantes no están actualmente disponibles en formato digital tales como la congestión media (tráfico medio) en las calles. Adicionalmente, algunos criterios son virtualmente imposibles de codificar, por ejemplo si una ruta es “espectacular”, “escénica” o “peligrosa”. La relativa importancia de estos criterios varía entre las personas, y los conductores no saben ellos mismos qué es a lo que más dan importancia (valoran) en una ruta, si el camino está en buenas condiciones, si es peligroso, si tiene muchas curvas, entre otras.

Aplicaciones Comerciales

Las aplicaciones comerciales disponibles actualmente brindan el servicio de búsqueda de rutas de un punto A hacia un punto B. La aplicación devuelve la ruta solicitada minimizando el factor distancia y algunas consideran factores externos como el tránsito medio o puntos intermedios. Aunque el cálculo de las rutas sigue siendo numérico, es decir, en ninguna de las aplicaciones comerciales disponibles, para dispositivos móviles o aplicaciones de escritorio, realizan el cálculo de las rutas considerando la semántica del camino. Sin embargo se enfocan en aumentar día con día los puntos de interés (Point Of Interest) y en actualizar la cartografía constantemente, enfocándose así en brindar un mejor servicio tomando en cuenta sólo estos factores y no las condiciones intrínsecas del camino.

3. Metodología

La metodología propuesta para este trabajo tiene por objetivo calcular rutas en un entorno urbano considerando factores adicionales a la distancia. El destino no tiene un papel preferente en esta metodología, principalmente porque este trabajo no está enfocado en la búsqueda de destinos como los puntos de interés, direcciones o posiciones geográficas en particular. Nosotros proponemos una metodología para encontrar rutas de acuerdo con la semántica del camino y además que satisfagan los requerimientos del usuario. Estos requerimientos serán seleccionados por el usuario mediante un perfil. Los atributos se muestran en la sección 3.2.

La metodología se compone de tres etapas: Personalización, Umbralización y Ruteo. Además de basarse en una ontología de aplicación para los segmentos de vialidad. En la Figura 1-3 se muestra el diagrama de los componentes de la metodología.

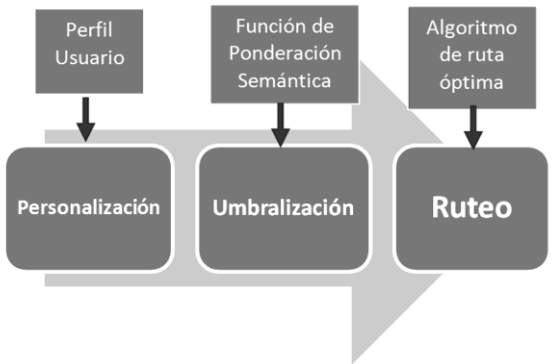


Figura 1-3. Componentes de la metodología

3.1 Ontología de segmentos de vialidad

Se define una ontología de aplicación para los segmentos de vialidad, la cual ofrece beneficios significativos para el diseño y el uso de la información geográfica. El empleo de una ontología juega un papel muy importante para los sistemas de información geográfica, debido a que define la semántica independientemente de la representación de los datos y refleja la importancia de los datos sin tener acceso a ellos. Además las ontologías pueden proporcionar un esquema conceptual para cualquier conjunto de datos independientemente de su formato, estructura o tamaño.

En la Figura 1-4 se muestra la ontología propuesta para este trabajo, la cual se basa en la ontología definida por Sadeghi y Kim (2007) para un sistema de planeación de rutas personalizadas usando un enfoque de toma de decisiones multicriterio. En esta ontología se definen dos criterios para cada segmento de vialidad. El primer criterio hace referencia a las características cualitativas que definen a una vialidad como pueden ser la iluminación, índice delictivo, los lugares que sean vecinos de ese segmento de vialidad, entre otros. El segundo criterio se enfoca a las características cuantitativas de las vialidades, como por ejemplo la longitud, el tráfico.

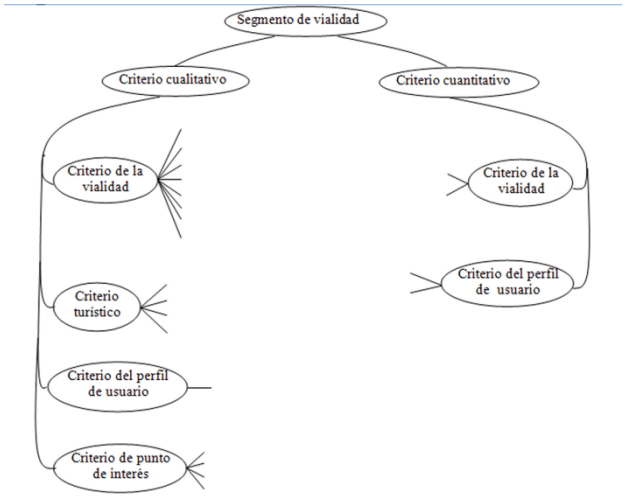


Figura 1-4. Ontología de aplicación de segmento de vialidad

3.2 Personalización

Esta etapa consiste en capturar un perfil de usuario para recopilar los requerimientos del usuario. El usuario puede seleccionar niveles de preferencia entre los parámetros mostrados en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Parámetros de los segmentos de vialidad

Atributo del segmento de vialidad	Ponderación
Iluminación	Iluminado No Iluminado
Índice delictivo(Zona segura)	Segura No segura
Semáforos	Algunos semáforos Pocos semáforos
Topes/Baches	Algunos topes/baches Pocos topes/baches
Tipo de vialidad	Primaria Secundaria
Pendiente	Pendiente Plano
Lugar histórico – cultural **Lugar recreacional** **Lugar de entretenimiento** **Lugar de servicio y comercio** **Lugar de comida** **Lugar religioso** **Gasolinera** **Banco** **Hospital/Clínica** **Terminal Autobús/Aeropuerto**	Hay No hay

En la Figura 1-5 se muestra la forma de obtención del perfil de usuario, con las preferencias que se consideran de común interés para calcular una ruta. Cada una de las preferencias tiene diversas opciones que buscan acoplarse a las necesidades de cada usuario y el nivel de interés que tenga cada uno en esa preferencia en particular, para al final obtener los parámetros que se ponderarán con mayor puntaje dependiendo de esta entrada.

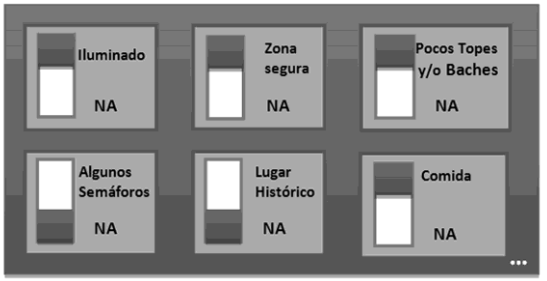


Figura 1-5. Formulario de perfil de usuario

Como puede observarse el usuario puede seleccionar en forma binaria cada uno de los atributos. La siguiente fórmula corresponde al perfil de usuario, las entradas corresponden a los atributos que el usuario puede seleccionar como activos o no.

$$\mathrm{P} = \left(\mathrm{preferencia_i}, \mathrm{preferencia_j}, \ldots, \mathrm{preferencia_n}\right)$$

Estos datos forman una cadena de bits que será la entrada para la función de ponderación semántica. Posteriormente se deben identificar estas propiedades en el camino, para saber si el segmento potencial para formar la ruta cumple con la mayoría de estos requerimientos, de no ser así es desechado y se considera otro segmento hasta formar una ruta con los segmentos que más se acercan a cumplir satisfactoriamente con el perfil de entrada. Este paso se lleva a cabo empleando la ontología definida en las secciones previas y empleando la función de ponderación para discriminar o no los segmentos de ruta.

3.3 Umbralización

En esta etapa se establece una función de ponderación semántica, la cual evaluará el perfil de usuario sobre los atributos de cada vialidad, acotado a la ontología previamente definida. Esta función de ponderación se explica a detalle en la sección 3.8.1.

Los parámetros mostrados en la Tabla 1-4 son los parámetros de entrada a la función de ponderación semántica.

3.4 Ruteo

En esta etapa se utiliza un algoritmo de ruta óptima que utiliza las ponderaciones de las vialidades obtenidas en la etapa de umbralización. Este algoritmo de ruta óptima no puede ser un algoritmo tradicional como algunos que se mencionaron en la introducción, debido a que este algoritmo no calculará rutas en base a pesos numéricos sobre el grafo de vialidades.

El empleo de un algoritmo de ruta óptima se refiere a un algoritmo que tenga la capacidad de encontrar la ruta que más se acople a las ponderaciones arrojadas por la función de ponderación semántica.

Una de las consecuencias de encontrar la ruta semánticamente ponderada es que no siempre será la ruta más corta, debido a que ese no es el objetivo de esta metodología. Sin embargo tampoco lo es encontrar la ruta más larga posible.

3.5. El caso de estudio

El caso de estudio para este trabajo es un trozo de la Ciudad de México, específicamente una zona la delegación Gustavo A. Madero. Este algoritmo considera como pesos de los tramos de las vialidades todos aquellos parámetros que el usuario seleccionó en la primera etapa. Cabe resaltar que no efectúa el cálculo de la ruta más corta minimizando el factor distancia, sino que mediante la Umbralización previamente realizada, el resultado será una ruta semánticamente ponderara de acuerdo al perfil de usuario.

3.6 Delimitación espacial

La zona de estudio se eligió porque las vialidades tienen todos los parámetros que se definieron en la ontología correspondiente a los segmentos de vialidad.

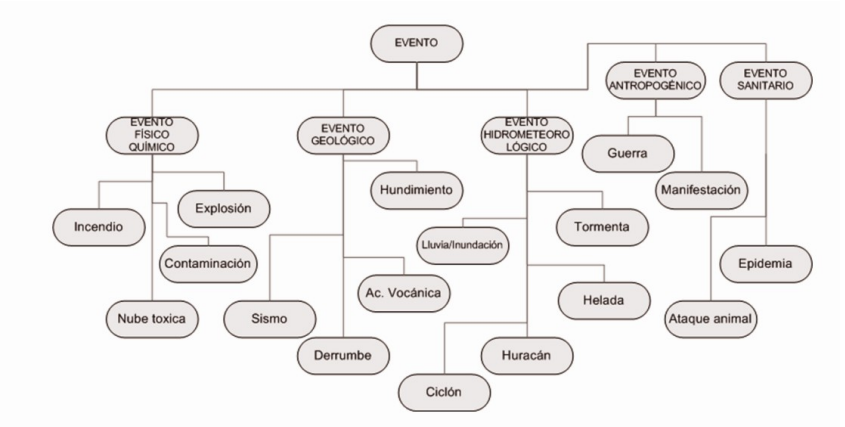


Figura 1-6. Zona de trabajo

3.7. Los datos

Los datos espaciales fueron actualizados a partir de los datos elaborados por el Instituto Federal Electoral en el Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Estos datos pertenecen a la delegación Gustavo A. Madero en el Distrito Federal. En la Tabla 1-5 se muestran las características de los datos empleados en este capítulo.

Tabla 1-5. Propiedades de los datos espaciales

Propiedad	Valor
Escala	1:50000
Sistema de coordenadas	Geográficas
Dátum	WGS84

3.8. Técnicas de análisis

Función de ponderación semántica

La función de ponderación semántica evaluará las preferencias del perfil de usuario y los datos de la base de datos espacial que contiene la información de los segmentos de vialidad. La fórmula se presenta a continuación.

$$f(P) = (P_i \Theta B_w) + (P_i \Theta B_{w+1}) + \cdots + (P_i \Theta B_{w+n})$$

Donde tiene como entrada la cadena de preferencias generada por el perfil de usuarioP. Y B corresponde a los datos contenidos en la base de datos espacial, es decir todos los segmentos que serán sometidos a una función de similitud indicado por el operador Θ, mostrada a continuación.

$$\Theta(P, B) = (P_i \Omega B_w, P_i \Omega B_{w+1}, P_i \Omega B_{w+n})$$

La función de similitud Θ analiza cada uno de los vectores de entrada y los datos de los segmentos de vialidad. Finalmente devuelve un nivel de similitud de acuerdo con la cantidad de preferencias que cumpla cada segmento de vialidad. En la Figura 1-7 se muestra el diagrama a bloques de la función de similitud.

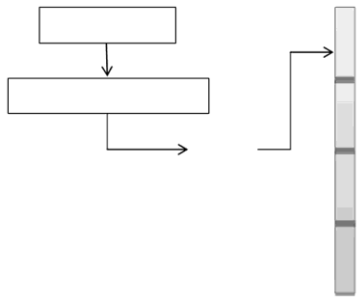


Figura 1-7. Calculo de medida de similitud entre perfil de usuario y datos espaciales

Una vez calculada la medida de similitud se puede analizar la ruta que contenga más segmentos de vialidad con la mayor medida de similitud. Esta etapa será realizada por un algoritmo de ruteo.

4. Pruebas y resultados preliminares

En los diversos trabajos de investigación consultados para este capítulo , no se ha encontrado ningún trabajo que trate el cálculo de rutas empleando la semántica del camino ni enfocándose a cubrir requerimientos específicos de un usuario, debido a que la forma más empleada es usando valores numéricos y enfocándose en minimizar solamente algunas variables, sin considerar las preferencias del usuario.

La aportación científica de este capítulo es básicamente el tomar en cuenta las preferencias de diversos usuarios y emplearlas para calcular un camino que las satisfaga, de tal forma que si a un usuario no le interesa la distancia que recorrerá, pero es de vital importancia pasar por zonas seguras. Estas preferencias deben ser consideradas al calcular la ruta para que de esta manera el usuario esté satisfecho con el resultado, además de tener la cualidad de poder ofrecer siempre una ruta diferente adaptable a las diversas necesidades de los usuarios.

Por último se agrega un ejemplo del funcionamiento de la definición de una ruta que cubre los requerimientos de un usuario en particular.

4.1 Ejemplo de funcionamiento

Una mujer regresa con su hijo de la clase de natación a las 8 pm y solicita en su navegador la ruta para llegar a su hogar. A este usuario le interesa una ruta iluminada y que pase por zonas seguras, y no le interesan los demás parámetros. En la Figura 1-8 se muestra la ruta generada aplicando un algoritmo de ruta más corta.

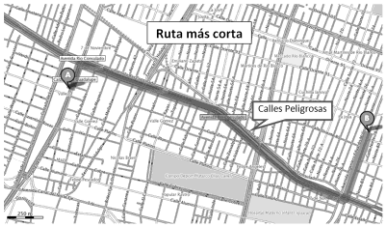


Figura 1-8. Ruta óptima en distancia

Esta ruta, efectivamente es la más corta, pero no considera que puede ser peligrosa, debido a que las calles por las que pasa tienen un alto índice de asaltos nocturnos, en especial a mujeres. Ahora, con nuestra metodología el usuario elige las preferencias que desea, como se muestra en la Figura 1-9, definiendo así su perfil de usuario.



Figura 1-9. Ejemplo de perfil de usuario

La ruta generada por el algoritmo propuesto, sí considera el factor de zona segura. La ruta definida se muestra en la Figura 1-10. Es probable que el tiempo de viaje sea mayor o que la distancia recorrida sea mayor, pero la ruta es "ergonómica" para el usuario.



Figura 1-10. Ruta semánticamente ponderada

En la Figura 1-11 se muestra otro ejemplo de una ruta óptima, marcada con línea punteada, calculada por una aplicación de internet de búsqueda de rutas, además de una ruta definida por esta metodología, marcada con línea continua. Hacemos hincapié en que las rutas generadas por nuestra propuesta no son necesariamente las más cortas, son aquellas rutas que satisfacen las preferencias del usuario sacrificando otros parámetros como tiempo, distancia, entre otros.



Figura 1-11. Ejemplo de ruta semánticamente ponderada contra la ruta óptima

5. Discusión y valoración de hallazgos

Aplicaciones similares como los sistemas de navegación GPS y aplicaciones en internet para búsqueda de rutas no ofrecen la posibilidad de crear un perfil de usuario como tal, es decir, no permiten elegir el tipo de usuario y mucho menos elegir las características intrínsecas de la vialidad. Por lo que los cálculos que realizan son enteramente numéricos principalmente sobre variable distancia. El método que nosotros proponemos no se compara directamente con ninguno otro debido a que la forma de encontrar la ruta no se realiza de la misma manera ni con los mismos atributos.

Existen algunos trabajos que hacen hincapié en considerar un perfil de usuario, mencionando que se mejoran notablemente los resultados obtenidos, porque el resultado cumple con los requisitos del usuario. Sin embargo resulta en una desventaja, principalmente porque es difícil hacer un perfil de usuario que cumpla con todas las posibles preferencias del mismo.

La contribución de este capítulo es desarrollar una metodología que encuentre rutas considerando la semántica de la red de caminos, proporcionando así un grado de adaptación a los requisitos del usuario mayor que las aplicaciones actuales. Es posible definir rutas con requisitos muy particulares que otros navegadores, o aplicaciones, pero que son incapaces de calcular.

6. Conclusiones

El método propuesto en este capítulo tiene un alto potencial debido a que es posible definir rutas "ergonómicas" para determinado perfil de usuario. La principal ventaja que lo caracteriza es que considera la semántica de las vialidades y no los pesos numéricos, generalmente de distancia o restricciones sobre la ruta. Esta metodología hace posible la adaptación al usuario sobre el tipo de ruta que requiera. Esto es una ventaja que hace posible que el usuario pueda elegir rutas que anteriormente no se había formulado, por ejemplo una ruta segura, donde el atributo de índice delictivo sea lo más bajo posible.

Para definir rutas semánticamente ponderadas es necesaria una gran cantidad de información, además de recopilar los atributos de las vialidades previamente mencionados para poder calcular rutas que satisfagan en gran medida los requerimientos propuestos. Este requisito puede resultar costoso porque implica recopilarlos a través de trabajo en campo.

Algunas expectativas que se tienen con respecto a este método es poder implementar la heurística necesaria que haga posible no tener que calcular todas las rutas desde el origen hasta el destino, sino solamente las posibles rutas que se acerquen a los requerimientos necesarios.

Referencias bibliográficas

Keenan, P. (2008): "Modeling vehicle routing in GIS", Operational Research, Vol. 8(3), pp. 201-218.

Zhan, F. B. y Noon, C. E. (1996): "Shortest Path Algorithms: An Evaluation using Real Road Networks". Transportation Science.

Zhan, F. B. (1997): "Three Fastest Shortest Path Algorithms on Real Road Networks: Data Structure and Procedures". Journal of Geographic Information and Decision Analysis.

Pulis, M. y Attard, M. "Exploring the Shortest Route Options: Applying Environmental Indicators to Calculating Shortest Route".

Sieg, A., Mobasher, B., Burke, R. (1997): "Learning Ontology-Based User Profiles: A semantic Approach to Personalized Web Search". IEEE Intelligent Informatics Bulletin, Vol. 8, No. 1, Noviembre 2007.

Hansen, S., Richter, K. y Klippel, A. (2006): "Landmarks in Open LS – A Data Structure for Cognitive Ergonomic Route Directions". GIScience LNCS.

Klippel, A. *et al.* (2008):"Urban granularities – a data structure for cognitively ergonomic route directions".

Klippel, A., Tenbrink, T., Montello, D. R. "The Role of Structure and Function in the Function in the Conceptualization of Directions". In van der Zee, E. and Vulchanova, M., editors. Motion Encoding in Language and Space.Oxford University Press, Oxford.

Klippel, A. *et al.* (2005):"Wayfinding Choreme Maps", Bres, S., Laurini, R., eds.: Visual Information and Information Systems. 8th International Conference, VISUAL 2005, Springer; Berlin (2005) 94-108 LNCS 3736.

Cordeau, J. y Laporte, G. (2002): "Modeling and Optimization of Vehicle Routing and Arc Routing Problems", Les Cahiers du GERAD G-2002-30, Montreal.

Phelan, O., McCarthy, K. y Smith, B. (2009): "Using Twitter to Recommended Real-Time Topical News". RecSys'09, Proceedings of the third ACM conference on Recommender systems, pp 385-388, New York, NY, USA, 2009. ACM.

Park, S. H., Han, S. P., Huh, S. Y., Lee, H. (2009) "Preprocessing Uncertain User Profile Data: Inferring User's Actual Age from Ages of the User's Neighbors." IEEE Computer Society.

Kane, L., Verma, B., Jain, S. "Vehicle tracking in public transport domain and associated spatio-temporal query processing".

HoltzmanJ., HuiJ., MoayeriN., SeskarI., VarmaH., YipJ., MaricS., WilliamsT.. (1993): "A vehicular Traffic GIS and Simulator for Route Guidance on NY/NJ Highways". IEEE – IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference, Ottawa – VNIS 1993.

Tumas, G. y Ricci, F. (2009):"Personalized Mobile City Transport Advisory System", Information and Communication Technologies in Tourism 2009, pp 173–184. Springer.

Adomavicius, G. y Kwon, Y. (2007): "New Recommendation Techniques for Multi-Criteria Rating Systems", IEEE Intelligent Systems, Special Issue on Recommender Systems, 20(3).

Bae, W. D., Alkobaisi, S., Kim, S. H., Narayanappa, S. y Shahabi, C. "Web Data retrieval: solving spatial range queries using k-nearest neighbor searches."

Kulik, L., Duckham, M., Egenhofer, M. J., (2005): "Ontology-driven map generalization".

Dale R., Geldof S., Prost J-P. (2003):"Using natural language generation in automatic route description". Journal of Research and Practice in Information Technology.

Klippel A., Tappe H., Kulik L., Lee PU (2005): "Waydinfing choremes- a language for modeling conceptual route knowledge". J Vis Lang Comput.

Richter K-F., Klippel A. (2005): "A model for context-specific route directions". Spatial Cognition IV. Springer, Berlin pp 58–78.

Caduff D., Timpf S. (2005): "The landmark spider: representing landmark knowledge for wayfinding diagrams: computational modeling and spatial assistance". AAAI spring symposium, Menlo Park, CA, pp 30-35.

Duckham M., Kulik L. (2003): "Simplest paths: automated route selection for navigation". Spatial Information Theory. LNCS 2825. Springer, Berlin. Pp 169-185.
Haque S. Kulik L., Klippel A. (2007): "Algorithms for reliable navigation and wayfinding". Proceedings of spatial cognition 2006. LNCS 4387 Springer, Berlin, pp 308-326.
Höök K. (1991): "An approach to a route guidance interface", Licentiate Thesis, Dept. of Computer and Systems Sciences, Stockholm University, ISSN 1101-8526.
Patel K., Chen MY., Smith I., Landay JA (2006):"Personalizing routes". UIST '06: proceedings of the 19th anual ACM symposium on user interface software and technology, New York, NY, pp 187-190.
Richter K-F, Tomko M., Winter S. "A dialog-driven process of generating route directions". Computers Environ Urban Syst.
Schmid F., Richter K-F (2006):"Extracting places from location data streams". UbiGIS 2006 – Second international workshop on ubiquitous geographical information services. Workshop at GIScience.
Srinivas S., Hirtle SC (2007): "Knowledge based schematization of routes". Spatial cognition V. LNAI 4387. Springer, Berlin, pp 346-364.
Tomko S., Winter S. (2006): "Identification of the initial entity in granular route directions". Progress in spatial data handling. 12th International symposium on spatial data handling. Springer, Berlin, pp 43-60.
Sorrows, M. E. y Hirtle, S. C. (1999): "The nature of landmarks for real and electronic spaces". Spatial Information Theory 1661. Lecture Notes in Computer Science, Springer.
Presson, C.C., Montello, D.R. (1988): "Points of reference in spatial cognition: Stalk-ing the elusive landmark". British Journal of Developmental Psychology, 6:378-381.
Klippel, A., Richter, K.-F., Hansen, S. (2005): "Structural salience as a landmark". Workshop Mobile Maps 2005, Salzburg, Austria.
Mark, D. M. (1985): "Finding simple routes: 'Ease of description' as an objective function in automated route selection". Proceedings, Second Symposium on Artificial Intelligence Applications (IEEE) (pp. 577–581), Miami Beach.
Mountrakis, G., Agouris, P., Stefanidis, A. (2005): "Adaptable User Profiles for Intelligent Geospatial Queries", Transactions in GIS, Vol. 9, No. 4, pp. 561-583.

VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE OBJETOS GEOGRÁFICOS USANDO REPRESENTACIONES CONCEPTUALES

Imelda Escamilla Bouchán[1], Marco Moreno Ibarra[2], Miguel Torres Ruiz[3]

RESUMEN

En este capítulo se propone una metodología basada en el procesamiento semántico para valorar la vulnerabilidad de objetos geográficos que se encuentran en la vecindad de un evento. De esta manera se intentan priorizar actividades relacionadas con la mitigación de eventos. El método se compone de cuatro etapas: a) Conceptualización, b) Análisis espacial, c) Síntesis y d) Análisis semántico. Como resultado se obtiene un listado para cada evento en donde se ordenan por el grado de vulnerabilidad de los objetos geográficos que podrían resultar afectados. Como caso de estudio se considera un fragmento de la Ciudad de México y eventos que son causados por un terremoto de gran magnitud.

Palabras clave: grado de vulnerabilidad, ontología, objetos geográficos, eventos, análisis semántico.

VULNERABILITY ASSESSMENT OF GEOGRAPHIC OBJECTS USING CONCEPTUAL REPRESENTATIONS

ABSTRACT

This paper proposes a methodology based on semantic processing to assess the vulnerability of geographic objects in the neighbourhood of an event. The goal is to prioritize activities related to mitigation of events. The method is composed by four stages: a) Conceptualization, b) Spatial Analysis, c) Synthesis and d) Semantic Analysis. As a result we obtain a list of geographic objects sorted by its degree of vulnerability. As a case study, a fragment of Mexico City and some events which are caused because of a big earthquake were considered.

Keywords: *degree of vulnerability, ontology, geographic objects, events, semantic analysis.*

Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial. Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional. Av. Juan de Dios Batiz S/N esq. Miguel Othón de Mendizábal C.P. 07738, México, D.F.1 ebouchana10@sagitario.cic.ipn.mx,2 marcomoreno@cic.ipn.mx,3 mtorres@cic.ipn.mx

1. Introducción

La Ciudad de México es uno de los mayores asentamientos humanos en el mundo donde conviven más de 18 millones de personas y circulan alrededor de 3 millones de vehículos diariamente, operan cerca de 12,500 industrias que manejan sustancias peligrosas, además que se encuentra expuesto a diferentes riesgos potenciales que pueden desencadenar eventos que afecten vidas y sus bienes. Protección Civil y el Centro Nacional de Prevención del Desastre (CENAPRED) reconocen dependiendo de su origen los siguientes:

-Geológicos: como son sismos, actividad volcánica de cualquier tipo, deslizamiento de laderas, hundimientos o tsunamis.
-Hidrometeorológicos: como son ciclones, lluvias intensas, inundaciones, heladas, huracanes, tormentas, entre otras.
-Físico Químicos: como son incendios, explosiones, contaminación, fuga de sustancias peligrosas, entre otras.
-Sanitarios: derivados de las actividades en hospitales, tiraderos de basura, rellenos sanitarios y empresas farmacéuticas, entre otros.
-Antropogénicos: derivados de las actividades en tianguis, mercados, centrales de abasto, centros educativos, sistemas de transporte, oficinas, explanadas, entre otras.

Aunque particularmente los asociados a fenómenos geológicos son los de mayor impacto. Por ejemplo un sismo de gran magnitud causa daños a la población, su patrimonio y obras de infraestructura. No se debe olvidar que en un solo evento como en el sismo de septiembre de 1985, hubo aproximadamente 10,000 personas fallecidas, 40,000 lesionadas, 150,000 damnificadas y pérdidas materiales de más de $ 40,000 millones de pesos.
El motivo de considerar los eventos anteriores es debido a que pueden causar otros eventos del mismo tipo por ejemplo: Un sismo puede desencadenar diversos problemas como incendios, explosiones, ruptura de ductos de combustible, etc. Esto significa que cuando un evento conlleva un riesgo potencial que se convierte en otro evento se denomina agente perturbador, dado que puede desencadenar otro tipo de eventos.

Y se convierte en una necesidad localizar los eventos (explosión, incendio, inundación) consecuentes e identificar todos los objetos geográficos ubicados en su vecindad (viviendas, oficinas, centros recreativos) para evaluar la vulnerabilidad de los objetos involucrados y optimizar las tareas de mitigación preservando la vida de la población. Para esta tarea, en este capítulo se plantea una metodología que mediante el empleo de una ontología y el análisis semántico nos permite obtener una lista ponderadamente ordenada con respecto al grado de vulnerabilidad de los objetos, encontrados en la vecindad de cada evento. El uso de una ontología es fundamental debido a que describe una jerarquía de conceptos por relaciones incluidas, permitiéndonos representar a detalle los eventos y las relaciones que tienen con los objetos.

Esto es una descripción explicita y formal de conceptos en un cierto dominio que permite describir todas las propiedades de cada concepto, sus características y atributos de concepto así como sus restricciones. Por ejemplo se tiene la ocurrencia de un evento principal denominado *Sismo de gran magnitud,* este a su vez genera eventos como son *Fuga de Gas* e *Incendio*, ambos tienen en su vecindad diversos objetos geográficos; por ejemplo *Escuela* y *Tiradero de Basura* y es necesario determinar la vulnerabilidad de estos objetos. En el caso de la escuela el peligro potencial es mucho mayor que en el Tiradero de Basura; puesto que el incendio puede causar una enorme explosión al tener contacto con la fuga de gas afectando a todo los objetos geográficos en una vecindad mayor, en la Tabla 1-6 se ejemplifica de forma más clara este ejemplo.

Tabla 1-6. Ejemplo Sismo

Evento : Terremoto		
Eventos	**Objeto Geográfico**	**Vulnerabilidad**
Fuga de Gas	Escuela	Alta
Incendio	**Tiradero de Basura**	**Baja**

En este capítulo se ataca esta problemática comenzando con los antecedentes y conceptos fundamentales de este tópico, además de una pequeña descripción de los trabajos relacionados tanto de las instituciones encargadas de la mitigación y prevención de riesgos en nuestro país como los trabajos en el ámbito científico referentes.

Posteriormente en la sección de Metodología se explica de una manera detallada las cuatro etapas propuestas donde se realiza la conceptualización del dominio de interés, describiendo la jerarquización de los eventos y objetos además de sus relaciones y características, se definen las vecindades considerando el tipo y magnitud de los eventos; se lleva a cabo la representación conceptual de los datos con base en la ontología y por último se realizan operaciones de similitud semántica sobre dicha representación.

Subsecuentemente en la sección descripción y análisis de resultados se presenta el listado para cada evento dependiendo del grado de vulnerabilidad de los objetos geográficos. Finalmente en las secciones tanto de discusión y valoración de hallazgos y conclusiones se realiza una evaluación y crítica de las deducciones logradas.

2. Antecedentes

2.1. Conceptos fundamentales sobre riesgo

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido tratado y desarrollado por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes de manera diferente, aunque en la mayoría de los casos de manera similar. Un punto de partida es que los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un **agente perturbador** (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar **daños** a un **sistema afectable** (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un **desastre** (ver Figura 1-12). Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjese en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

En términos cualitativos, se entiende por **Riesgo** la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una **amenaza**, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.



Figura 1-12. Esquema de riesgo

El CENAPRED define el riesgo en su Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica (2006) [3] como: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos.

$$Riesgo = (Peligro, Vulnerabilidad, Exposición)$$

$$R = (P, V, E)$$

Donde se define:

Peligro como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado.

Vulnerabilidad como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas. En términos generales pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social.

Exposición o Grado de Exposición se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o incluso el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado de exposición para los diferentes fenómenos perturbadores y sus diferentes manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, o sea, representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos de eventos extremos. Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento y priorización de acciones de mitigación y prevención de desastres (figura 1-13).

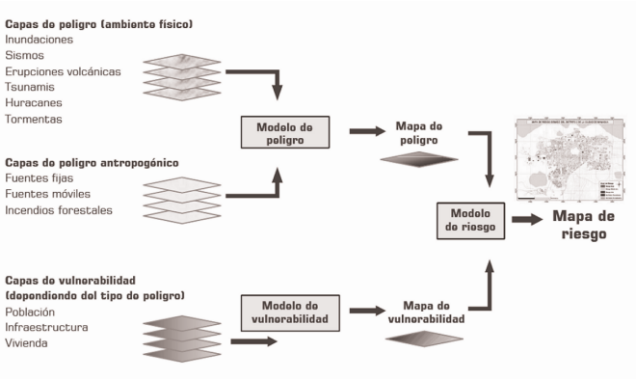


Figura 1-13. Mapa de Riesgo

Tipos Generales de Emergencias

Causadas por el hombre: Las emergencias causadas por el hombre incluyen eventos inexplicables o accidentes que resultan de las actividades o desarrollos del hombre. Algunos ejemplos son derrames químicos, escapes de radiación nuclear, fallas de servicios públicos, epidemias, accidentes, explosiones, incendios, etc.

Desastres naturales: Estos incluyen eventos ocurridos como resultado de procesos naturales tales como terremotos, tornados, tsunamis, heladas, tormentas de nieve, temperaturas extremas, sequía, etc.

2.2. Fases de Gestión de Emergencias

Las actividades para el manejo de todo tipo de emergencias pueden ser agrupadas dentro de cinco fases de la Figura 1-14:

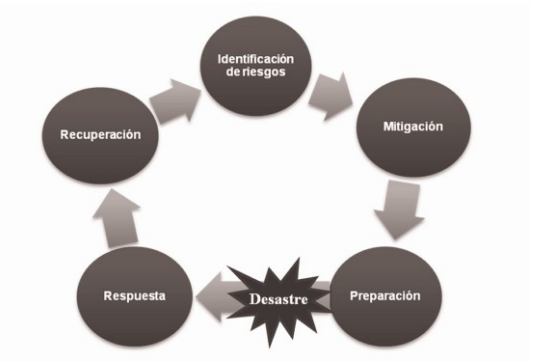


Figura 1-14. Fases de Gestión de Emergencias

1) Planificación.- Es el conjunto de actividades necesarias para analizar y documentar la posibilidad de una emergencia o desastre y las consecuencias potenciales o impactos en los seres humanos, la propiedad y el medio ambiente incluyendo estimar las necesidades ante peligros, riesgos, mitigación, preparación, respuesta y recuperación.

2) *Mitigación.-* Actividades que reduzcan los efectos de un desastre inevitable, por ejemplo administración del uso de suelo, establecer programas de administración de emergencias como restricciones de tipos de construcción para zonas inundables.

3) Preparación.- Actividades necesarias para minimizar los daños del desastre, por ejemplo consolidar un inventario de recursos, hacer prácticas, instalar sistemas de alerta temprana y preparación de personal para atención a emergencias, almacenes con comida vital y medicinas, etc.

4) Respuesta.- Actividades post-desastre diseñadas para brindar asistencia a las víctimas, por ejemplo búsquedas, rescates, atenciones médicas, alimentación y acelera las operaciones de recuperación (inventario de daños).

5) Recuperación.- Actividades necesarias para retornar todos los sistemas a la normalidad, incluyendo actividades de corto plazo (limpieza, acceso al agua y la comida, viviendas temporales) y largo plazo (asesoría legal, planeamiento de la comunidad, etc.).

Actualmente en el país existen tres dependencias gubernamentales encargadas de las fases de mitigación y prevención, que son El Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Servicio Geológico Mexicano (SGM), cada una de ellas elaborando diferentes métodos para hacer más eficiente la prevención y mitigación de daños en caso de un desastre; además de procurar contar con sistemas capaces de evaluar el efecto de los desastres y tener un plan de emergencia adecuado para la situación.

Cada una de estas dependencias genera cierta metodología que es complementada con la de otras secretarias para realizar un programa más eficiente, prueba de esto es el Atlas Nacional de Riesgos, que es elaborado conjuntamente por el SINAPROC y el CENAPRED y en algunos estados con la participación del SGM o del Servicio Meteorológico Nacional.

La herramienta más empleada en cuestión de desastres es el Atlas Nacional de Riesgos, este documento es elaborado específicamente con el objetivo de poder localizar zonas de riesgo y conocer las consecuencias de cada uno; el CENAPRED proporciona las metodologías necesarias para realizar el Atlas, dependiendo del objetivo del mismo, ya que cuenta con las metodologías para Riesgos Geológicos, Riesgos Hidrometeoro lógicos, Riesgos Químicos, Riesgos Físico-Social y una metodología con conceptos básicos. Y mediante el empleo de las mismas cada estado elabora su propio atlas de riesgos.

Otra herramienta es el Plan Permanente ente Contingencias de la Ciudad de México (2010), que tiene como objetivo prevenir y/o mitigar los efectos de un desastre provocado por un sismo de gran magnitud. Pero este plan no considera los agentes perturbadores, que pueden convertirse en daños mayores si no son atendidos, esta carencia, puede provocar que fugas de gasolina, se conviertan en explosiones en cadena o daños estructurales en derrumbes; causando más pérdidas de vidas humanas.

De acuerdo con estudios realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en Diciembre de 2007, en el análisis del escenario de sismo de gran magnitud postulado como evento extremo para México, frente a la costa del estado de Guerrero, arroja tales pérdidas económicas y humanas que el sistema de gestión operativa del desastre sería rebasado en capacidad hospitalaria, de rescate y recuperación de los servicios básicos, sobre todo en Acapulco y ciudad de México [1].

En el ámbito científico, los trabajos relacionados se pueden dividir en el tipo de impacto que tienen y a su vez en el dominio específico donde competen, de esta manera se presenta en la Tabla 1-7 una amplia gama de trabajos relacionados y la rama en la que se encuentran.

Tabla 1-7. Trabajos relacionados

Grupos	Dominios	
Tipo de Impacto	-Económico	[5]
	-Social	[6],[9],[18]
	-Físico	[8],[13],[15]
	-Funcional	[11]
Tipo de Desastre	-Huracanes	[6],[13],[14],[15],[16],[17]
	-Terremotos	[8],[9],[11]
	-Sanitarios	[19]
	-Inundaciones	[21]
Fase del Evento	-Preparación	[6],[8],[14],[16],[17]
	-Emergencia	[10],[12]
	-Recuperación	[7],[9],[11],[15]

Específicamente los trabajos relacionados al Tipo de Impacto tratan temas concernientes al efecto Económico, Físico, Social y Funcional que tienen los desastres naturales o antropogénicos en la sociedad, desde la cuantificación de daños y pérdidas humanas, hasta el cómo afecta las emociones de una sociedad este tipo de eventos, auxiliándose de herramientas probabilísticas para el cálculo de dichos efectos y apoyos visuales como gráficas, y tablas de los valores obtenidos.

En el caso de los trabajos relacionados con el Tipo de Desastre, se enfocan más en intentar predecir la ocurrencia de algún tipo de evento en particular auxiliándose de desastres previos de la misma magnitud o características; además de auxiliarse de análisis de terreno y situaciones atmosféricas para esta tarea. El uso de ontologías es escaso en los artículos citados en esta sección puesto que se auxilian en mayor forma de la cartografía del terreno.

Por último en la sección Fase de Evento los trabajos citados en esta sección hacen énfasis en planes de Preparación, Emergencia y Recuperación usando métodos probabilísticos para evitar la pérdida de vidas humanas basándose en las características del terreno y en eventos previos.

3. Metodología

3.1. El caso de estudio

El caso de estudio para este capítulo es una sección de la delegación Gustavo A. Madero ubicada en la Ciudad de México.

Delimitación espacial

Esta zona fue elegida por que puede ser más propensa a la ocurrencia de los diversos eventos aquí tratados debido a la cantidad de objetos geográficos que se encuentran en su interior.

3.2 Metodología

La metodología se basa en el procesamiento semántico para valorar la vulnerabilidad de objetos geográficos que se encuentran en la vecindad de un evento. De esta forma se intentan priorizar actividades relacionadas con la mitigación de eventos.

El método se compone de cuatro etapas: a) Conceptualización, b) Análisis espacial, c) Síntesis y d) Análisis semántico (figura 1-15)



Figura 1-15. Diagrama a bloques Metodología

Estas etapas se desglosarán detalladamente en las siguientes líneas:

Conceptualización

La conceptualización se enfoca en abstraer el dominio de interés, describiendo el dominio y la jerarquización de los objetos y eventos, sus relaciones y características.

Por ejemplo Gruber define la ontología como una especificación explicita de una conceptualización [27].

Entonces las razones para considerar el uso de una ontología son:

- Compartir el entendimiento común de las estructuras de la información entre personas o agentes de *software*.
- Permitir la reutilización de conocimiento de un dominio.
- Explicar suposiciones de un dominio.

- Separar el conocimiento del dominio del conocimiento operacional.
- Analizar el conocimiento de un dominio.

Por lo tanto en esta sección se plantea tres ontologías de aplicación que describe tres dominios diferentes.

La primera de estas ontologías, describe los tipos de eventos que pueden ocurrir; la segunda describe los diversos tipos de edificaciones que pueden ser afectadas y por último la tercera ontología describe el material del que se componen las edificaciones.

En la Figura 1-16. se muestra una parte de la ontología de aplicación de los tipos de *eventos*, se observa el concepto padre EVENTO del cual se derivan otros conceptos que representan los tipos de *eventos principales* y posteriormente en el último nivel se muestran los conceptos correspondientes a los *sub eventos* de acuerdo al tipo del que se derivan.

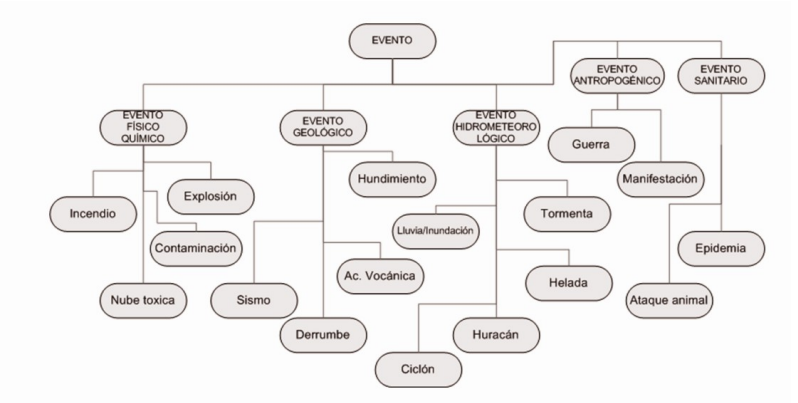


Figura 1-16. Sección Ontología de Aplicación EVENTO

Posteriormente en la segunda ontología de aplicación EDIFICACIÓN, se conceptualizan los tipos de *edificaciones* de acuerdo al sector al que pertenece de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal [22] y en el nivel siguiente se colocan en relación al uso en particular de esa edificación en base con el mismo reglamento. Considerando que todos estos conceptos corresponden a objetos vulnerables ante la ocurrencia de los eventos descritos en la ontología anterior. En la Figura 1-17 se muestra una sección de esta ontología.

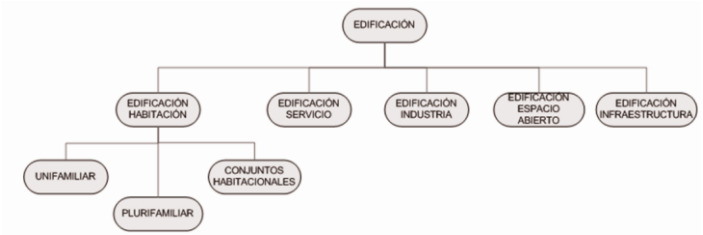


Figura 1-17. Sección Ontología de Aplicación EDIFICACIÓN

Por último en la Figura 1-18 se muestra una sección de la ontología de aplicación MATERIAL, la cual representa en el primer nivel el *material* de los componentes principales de una *edificación* que son *techo* y *muro* a su vez en el nivel inferior se colocan los diversos materiales que se emplean en la construcción de los conceptos del nivel superior.

Esta ontología es relevante debido a que el conocimiento de los materiales de construcción es útil para cuantificar la vulnerabilidad de una vivienda [28].

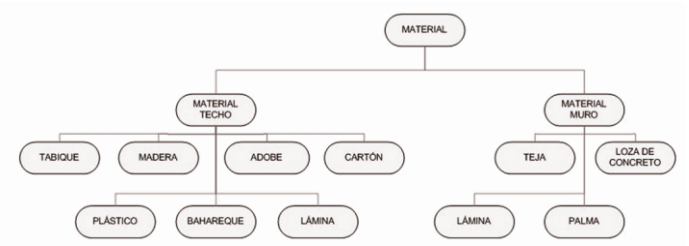


Figura 1-18. Sección Ontología de Aplicación MATERIAL

Todas las ontologías descritas previamente se relacionan mediante un concepto RAIZ, como se muestra en la Figura 1-19:

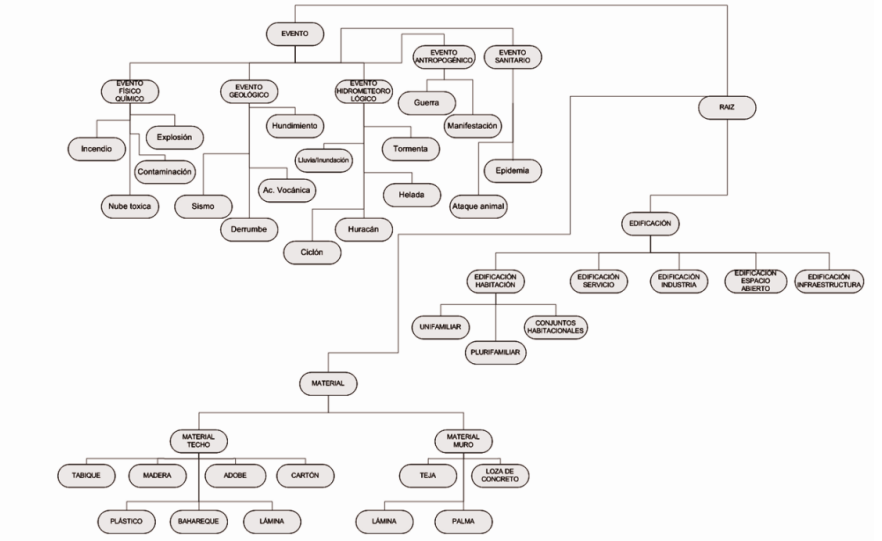


Figura 1-19. Secciones de las tres Ontologías de Aplicación a un concepto RAIZ

Pero cada uno de estos conceptos tiene relaciones y atributos que los caracteriza y que son de gran utilidad en las etapas posteriores, es por eso que la Figura 1-20. Muestra una sección de la Jerarquía con las relaciones pertinentes entre los objetos, eventos y materiales descritos en las ontologías de aplicación de las figuras anteriores.

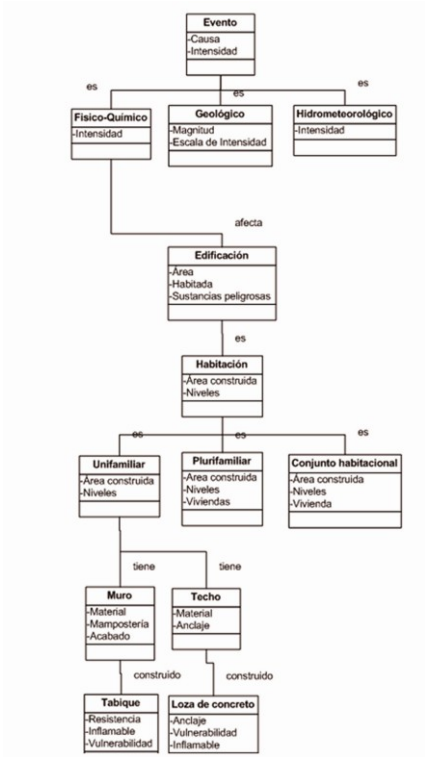


Figura 1-20. Jerarquía con los Atributos y Relaciones de cada objeto, evento y material

Análisis espacial

Esta etapa se enfoca en identificar los objetos geográficos que se encuentren dentro de las vecindades definidas, considerando el impacto del evento. Definiendo una función de *vecindad* **n** como una función que asocia a cada ubicación **x** un conjunto de ubicaciones que están "cerca" de **x** Figura 1-21.

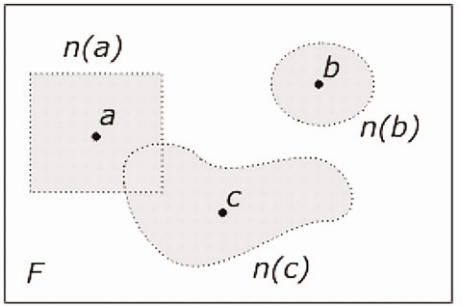


Figura 1-21. Función de vecindad

Con base en la definición anterior y el tipo de evento se debe definir una vecindad auxiliándose de los *radios de afectación* de cada evento.

Donde un *radio de afectación* es aquel que se traza a partir del origen del evento y hasta los objetos geográficos más alejados que pueden ser afectados por el evento.

A su vez se definen dos tipos de radios de afectación, el *radio de afectación directa* y el *radio de afectación probable*. El radio de afectación directa es aquel donde los objetos geográficos se encuentran más cerca al punto donde se originó el evento, y son más vulnerables a sufrir daños inmediatos, por lo que se debe actuar de forma instantánea. En el radio de afectación probable los objetos geográficos contenidos en su área pueden ser afectados por el evento de alguna manera, sin embargo tienen más tiempo para tomar alguna medida preventiva o de mitigación.

Pero no basta con delimitar los radios de afectación, porque en el caso de la Figura 1-22, se muestra un evento y sus respectivos radios de afectación R1 que es el radio de afectación directa y R2 el radio de afectación probable, donde claramente se observa que es difícil identificar la vulnerabilidad de cada objeto sin llevar a cabo algún tipo de análisis.

Algunos métodos incluyen en su cartografía símbolos que representan lugares de interés común pero todos los demás sitios no se toman en cuenta, cuando probablemente alguno de estos sitios sea más vulnerable que los demás.

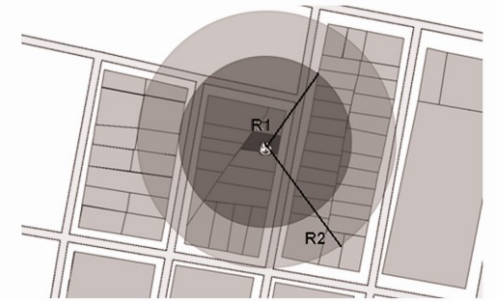


Figura 1-22. Radios de afectación

Después de definir los radios, empleando la definición previa de *vecindad* y la *operación buffer*, consistente en delimitar una zona definida a partir de un punto dado, se identifican los objetos geográficos en la vecindad del evento delimitándola mediante el buffer, que se observa en la Figura 1-23.

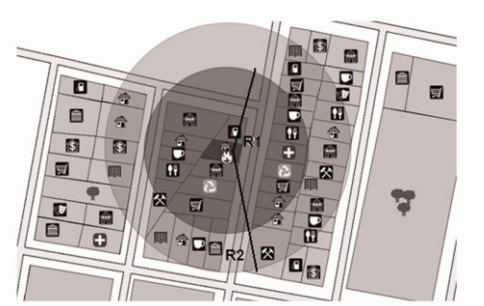


Figura 1-23. Identificación de Objetos Geográficos

En la Figura 1-24 se indica el significado de la simbología empleada en las figuras anteriores.

Símbolo	Descripción
	Incendio
	Gasolinera
	Escuela
	Banco
	Centro Comercial / Mercado
	Teatro
	Unifamiliar
	Plurifamiliar
	Hospital
	Café
	Restaurante
	Tiradero de basura
	Área verde

Figura 1-24 Descripción de la simbología

De la misma manera se muestra en la Figura 1-25 los atributos de los objetos geográficos encontrados dentro de la vecindad delimitada empleando la operación buffer del evento y algunas de sus características que serán empleadas en la sección posterior para calcular la vulnerabilidad de cada objeto.

nombre	numero_pis	material_t	material_p	area	genero	Manejo_sus	mamposteri	habitada	antiguedad	ocupantes/
ESTACIONAMIENTO	3	LAMINA GALVANIZADA	TABIQUE	50000	SERVICIOS	0	1	1	2	600
PINTURAS	1	LAMINA	TABIQUE	150	INDUSTRIA	1	1	1	5	20
ALMACEN	1	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	1000	INFRAESTRUCTURA	1	1	0	4	2
BASURERO	0	NINGUNO	TABIQUE	10000	INFRAESTRUCTURA	1	0	0	9	0
ACERERA	0	LAMINA	CONCRETO	250000	INDUSTRIA	1	1	1	6	100
BANCO	1	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	200	SERVICIOS	0	1	1	6	30
ESCUELA PRIMARIA	2	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	2000	SERVICIOS	0	1	1	20	300
CONJUNTO HABITACI...	6	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	92	HABITACION	1	1	1	2	200
PLURIFAMILIAR	4	LOZA DE CONCRETO	TABIQUE	450	HABITACION	1	1	1	5	150
DEPORTIVO MIGUEL A...	0	NINGUNO	TABIQUE	90000	SERVICIOS	0	0	0	40	600
ESCUELA SECUNDARIA	3	LOZA DE CONCRETO	TABIQUE	3000	SERVICIOS	0	1	1	10	250
UNIFAMILIAR	1	LAMINA	LAMINA	32	HABITACION	0	0	0	20	0
GASOLINERA	0	LAMINA	CONCRETO	1000	SERVICIOS	1	0	1	5	20
GASOLINERIA	0	LAMINA	CONCRETO	700	SERVICIOS	1	0	1	4	15
BASURERO	0	NINGUNO	TABIQUE	2000	INFRAESTRUCTURA	0	1	0	4	0
PARQUE	0	NINGUNO	TABIQUE	700	ESPACIO ABIERTO	0	0	0	6	500
HOSPITAL	4	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	500	SERVICIOS	1	1	1	20	1000
FONDA EL RINCON	1	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	300	SERVICIOS	1	1	1	2	10
SEARS LINDAVISTA	2	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	4000	SERVICIOS	0	1	1	10	200
ESCUELA PREPARATO...	3	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	500	SERVICIOS	0	1	1	10	850
PLAZA LINDAVISTA	2	LOZA DE CONCRETO	CONCRETO	5000	SERVICIOS	0	1	1	10	500
CAFE KING KONG	1	LAMINA	TABIQUE	100	SEEVICIOS	1	0	1	2	15

Figura 1-25. Atributos Objetos Geográficos encontrados

Síntesis

En esta etapa se conjuntan los resultados de las etapas anteriores, debido a que mediante la instanciación de la ontología se identifica el tipo de evento y los objetos a los que puede afectar ese evento en general y con el análisis semántico obtenemos los objetos en potencial peligro debido a un evento ocurrido en la vida real, esto significa que de la lista de objetos encontrados en la vecindad del evento se hace una relación en las ontologías elaboradas en la etapa de conceptualización en la Figura 1-26, donde se observa como al tener las imágenes obtenidas del análisis espacial, se hace una instanciación en la ontología correspondiente.

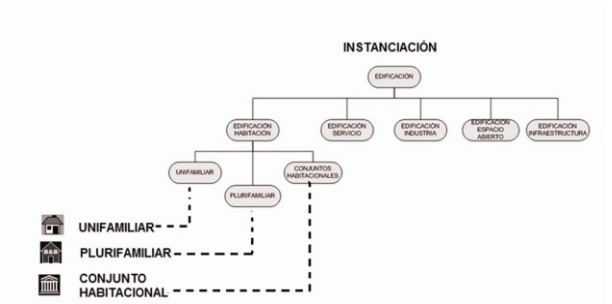


Figura 1-26. Instanciación en la Ontología de Aplicación

Análisis semántico

Ahora al ya conocer los objetos geográficos que pueden ser afectados por un evento, se debe hacer un análisis semántico para ponderar los objetos por su vulnerabilidad, en relación al tipo de evento. Este proceso consiste en aplicar operaciones basadas en similitud semántica sobre la representación conceptual. Se define una función de ponderación semántica de la siguiente forma:

$$V_n = (O_n \Theta E_k)/d$$

Donde:

- V_n es la función de vulnerabilidad
- O_n son los n objetos geográficos
- E_k son los k tipos de eventos posibles
- d es la distancia del evento hacia la edificación

A su vez cada O_n contiene diversos atributos C_k, y cada E_k contiene ciertos parámetros P_k que significa:

$$V_1 = O_1[C_K \dots] \Theta E_1[P_K \dots]$$

$$V_2 = O_2[C_K \dots] \Theta E_1[P_K \dots]$$

$$V_n = O_n[C_k] \Theta E_1[P_K \dots]$$

Que se va a evaluar cada *Objeto* afectado por un *Evento* aplicando una función de similitud entre los atributos de los objetos y los parámetros del evento.

Los atributos que se puede considerar son:

- Número de niveles
- Área de la construcción
- Número de ocupantes/concurrentes/empleados
- Material del Techo
- Material del Muro
- Manejo de sustancias peligrosas
- Habitada
- ….

Entonces la función representa la comparación de cada objeto en la vecindad del evento entre cada uno de los atributos del objeto con cada uno de los atributos de ese evento en particular. Y se divide entre la distancia a la que se encuentra el evento del objeto.
Por ejemplo: Después de la aplicación de las etapas anteriores, se obtiene de la Base de Datos los siguientes *Objetos Geográficos* que se encontraron en la *vecindad* de un *Evento Incendio* con sus respectivos atributos.

$$Casa[Concreto, 2\ pisos, Nuevo, Loza\ concreto, 250m^2]$$

$$Escuela[Concreto, 5\ pisos, Viejo, Loza\ concreto, 1500m^2]$$

$$Hotel[Concreto, 10\ pisos, Viejo, Loza\ concreto, 1000m^2]$$

Y el *Evento Incendio* tiene los siguientes parámetros:

$$Evento_{incendio}\ [Madera, más\ de\ 5\ pisos, Viejo, Lámina, más\ de\ 1000m^2]$$

Entonces en la Figura 1-27 se muestra la evaluación de cada atributo obteniendo un valor por cada uno:

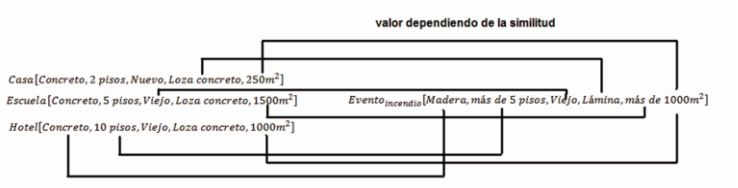


Figura 1-27. Ejemplo Función de Ponderación

Al final se obtiene como resultado una lista en orden decreciente dependiendo del valor de vulnerabilidad obtenido después de aplicar la función a los objetos geográficos determinados en la vecindad del evento.

4. Pruebas y resultados preliminares

Después de aplicar las técnicas de análisis espacial y análisis semántico, se pude obtener un listado de los objetos geográficos por su grado de vulnerabilidad dependiendo del tipo y magnitud del evento. Por este motivo es muy importante tener datos precisos de los materiales de construcción, el número de niveles y la cantidad de personas/concurrentes o empleados para poder evaluar su vulnerabilidad de forma adecuada. Cabe resaltar que esta metodología es capaz de evaluar objetos geográficos en la ocurrencia de diversos eventos, esto significa que si ocurren dos o más eventos simultáneos se aplica la metodología y se obtendrían tantas listas como eventos estén pasando, permitiendo informar a las dependencias encargadas, cuáles serían los objetos más vulnerables que requieren atención de forma más apremiante que los demás y salvar vidas.

Por ejemplo, en la Figura 1-28 se muestran tres diferentes eventos, uno es el incendio en una casa unifamiliar, la siguiente es el derrame de sustancias peligrosas en la gasolinera cercana y por último una fuga de gas en un centro comercial. Cada uno de estos eventos tiene un radio de afectación diferente y también afecta a diferentes objetos geográficos, aunque como se observa el radio de afectación de la explosión que pudiera ocurrir en el caso del derrame de sustancias llegue a explotar, contiene al radio de afectación del incendio. Esto significa que es de vital importancia atender el incendio para que las sustancias peligrosas no entren en contacto con el fuego y exista un desastre de mayor magnitud.

Como resultado después de aplicar la metodología son tres listas de objetos geográficos en la cual se especifica en el caso del derrame que el primer objeto que se debe de atender es la casa cercana del incendio, y posteriormente lugares como escuelas y hospitales hasta los últimos lugares como tiraderos de desechos a pesar de que son lugares cercanos al evento, porque su índice de vulnerabilidad es bajo en comparación con las otras edificaciones.



Figura 1-28. Ejemplo varios eventos

5. Discusión y valoración de hallazgos

El área de administración de desastres en el ámbito científico y gubernamental es sumamente importante debido a que cada contribución puede ayudar a salvar vidas humanas en los acontecimientos de eventos naturales o causados por el hombre, pero la mayoría de trabajos o software elaborado para este propósito está enfocado particularmente a encontrar rutas de evacuación en caso de algún evento como incendio o terremotos ó planes de evacuación de los sitios cercanos al evento sin considerar ningún otro criterio.

Este trabajo está pensado en colaborar al identificar los objetos y enlistarlos dependiendo de su grado de vulnerabilidad, en optimizar las tareas de mitigación en caso de un evento dañino para las personas o sus bienes al tener un fundamento de cómo dirigir las brigada o los cuerpos de rescate y poder realizar una planeación en base a información previa indicando los objetos que deben ser atendidos con urgencia procurando así evitar la mayor cantidad de pérdidas humanas y materiales.

Puesto que las listas obtenidas nos indican los sitios exactos donde se debe priorizar la atención y donde la población afectada es mayor en caso de algún evento como los aquí expuestos, las tareas de mitigación serán focalizadas, evitando pérdida de tiempo innecesario. Por ejemplo las zonas marginales son más vulnerables debido a su ubicación inadecuada o falta de servicios y su alta concentración de población, puesto que en las viviendas ubicadas en estas zonas albergan a varias familias por unidad, pero regularmente no es conocido su grado de vulnerabilidad ante algún evento dañino y se posterga su atención por las brigadas correspondientes debido a su ubicación, cobrando varias vidas por falta de conocimiento de estas zonas y la importancia con la que se debe tratar.

Es por eso que el presente trabajo se encuentra innovando en el ámbito científico por el uso de la semántica al evaluar los objetos, que al contener diferentes atributos y características no pueden ser tratados de igual manera, puesto que algunos tipos de eventos en particular puede hacer a un objeto más vulnerable que en un evento diferente o de magnitud menor.

6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal por el soporte para la realización de este capítulo.

7. Conclusiones

El método propuesto en este capítulo tiene un gran potencial, debido a que la mayoría de los métodos actuales para la evaluación de riesgos se enfoca a estadísticas y análisis probabilístico de los datos para aplicar planes de Prevención y mitigación de riesgos en la zona afectada, pero no hacen hincapié en los objetos afectados y los tratan de igual manera sin considerar el tipo de objeto o la cantidad de personas que se encuentran en él, lo que repercute en pérdida de vidas humanas y bienes, además de generar otros eventos derivados por la tardía atención.

El método se enfoca a estos objetos, brindando una lista en orden al grado de vulnerabilidad presentado en cada objeto y de esta manera que la atención sea ponderada también, porque no significa que solamente por estar más cerca del foco del evento sea más vulnerable un objeto a otro que se encuentra más retirado. Por ejemplo en el caso de un incendio, se puede encontrar un tiradero de basura a unos pocos metros del foco del incendio y ser atendido primero, que una escuela que una gasolinera que se encuentra a una distancia mayor pero que involucra mayor peligro para los objetos que rodean el evento.

Aunque los datos que se requieren deben ser precisos para poder tener un cálculo adecuado, la eficiencia es muy buena porque se pueden tratar diferentes eventos y obtener el número de listas dependientes de cada uno.

En trabajos a futuro se espera tener una versión aplicada de esta metodología en un ambiente gráfico.

Referencias bibliográficas

[1] Centro de Prevención AL (CEPAL) (2007).

[2] ESRI (1999): "White Paper".

[3] CENAPRED. (2006): "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica"

[4] Secretaría de Protección Civil (2010): "Plan Permanente ante Contingencias de la Ciudad de México".

[5] Guimaraes, P., Hefner, F., y Woodward, D. (1993): "Wealth and income effects of natural disasters: an econometric analysis of hurricane Hugo", Review *of Regional Studies*, Vol. 23, pp. 39-53.

[6] Chakraborty, J., Tobin, G., y Montz, B. (2005): "Population evacuation: assessing spatial variability in geophysical risk and social vulnerability to natural hazards", Natural *Hazards Review*, Vol. 6, 1, pp. 23-33.

[7] Comfort, L., Ko, K., y Zagorecki, A. (2004): "Coordination in rapidly evolving disaster response systems: the role of information", *American Behavioral Scientist*, Vol. 48, 3, pp. 295-313.

[8] Cutcliffe, S. (2004): "Earthquake resistant building design codes and safety standards: the California experience", *GeoJournal*, Vol. 51, pp. 259-262.

[9] Elnashai, A., Cleveland, L., Jefferson, T., y Harrald, J. (2008): "Impact of earthquakes on the Central USA", *Mid-America Earthquake Center Report*. [Febrero 10, 2008]. Disponible en http://hdl.handle.net/2142/8971.

[10] Fernandez, I., Xia, W., Gudi, A., y Rocha, J. (2008): "Task characteristics, knowledge sharing and integration, and emergency management performance: Research agenda and challenges", *Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference.*

[11] Giuliano G., and Golob J. (1998): "Impacts of the Northridge Earthquake on transit and highway use", *Journal of Transportation and Statistics,* Vol. 1, 2, pp. 1-20.

[12] Jain S., y McLean C. (2003): "A framework for modeling and simulation for emergency response", Proceedings *of the 2003 Winter Simulation Conference.*

[13] Pinelli J., Simiu E., Gurley K., Subramanian C., Zhang L., Cope A., Filliben J. J., y Hamid. (2004): "Hurricane damage prediction model for residential structures", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, 11, pp. 1685-1691.

[14] USACE, "Hurricane evacuation studies" Disponible en http://www.saw.usace.army.mil/floodplain/Hurricane%20Evacuation.htm.

[15] Weisberg, R. H. y Zheng, L. A. (2006): "Simulation of the hurricane Charley storm surge and its breach of North Captiva Island," *Florida Scientist*, Vol.69, 2, pp. 152-165.

[16] Wolshon, B., Urbina, E., Wilmot, C. y Levitan, M. (2005): "Review of policies and practices for hurricane evacuation I: transportation planning, preparedness, and response", *Natural Hazards Review*, Vol. 6, 3, pp. 129-142.

[17] Baker, L., Clemente, P., Cohen, B., Permenter, L., Purves, B., Byron y Salmon, P. (2000): "Foundational concepts for model driven system design," white paper, *INCOSE Model Driven System Design Interest Group, International Council on Systems Engineering*.

[18] Epstein, J.M., Goedecke, D.M., Yu, F., Morris, R.J., Wagener, D.K., Bobashev, G.V. (2007: "Controlling pandemic flu: the value of international air travel restrictions", *PLoS ONE*, Vol. 2(5), e401.

[19] Busenberg, G. (2004): "Wildfire management in the United States: the evolution of a policy failure", *Review of Policy Research*, vol. 21, no. 2, pp. 145-156.

[20] Soyler, A., Sala-Diakanda, S. (2010): "A Model-Based System Engineering Approach to Capturing Disaster Management Systems", *Systems Conference*, 2010 4th Annual IEEE, pp 283- 287.

[21] Luino, F., Cirio, C. G., Biddoccu, M., Agangi, A., Giulietto, W., Godone, F., Nigrelli, G. (2009): "Application of a model to the evaluation of flood damage", *GEOINFORMATICA*, Vol, 13, no 3, pp. 339-353.

[22] Reglamento de construcción para el Distrito Federal. Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de Agosto de 1993.

[23] Centro Nacional de Prevención de Desastres (2006): "Guía Básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos Físico – Químicos".

[24]Bakillah, M., Mostafavi, M., Brodeur, J. y Bédard, Y. "Mapping between dynamic ontologies in support of geospatial data integration for disaster management".

[25]Xu, W. y Zlatanova, S: "Ontologies for Disaster Management Response".

[26] INEGI (2010): Censo de Población y Vivienda 2010

[27] Gruber, T. (1993): "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", *J. Human-Computer Studies*, 907-928.

[28] Centro Nacional de Prevención de Desastres (2006): "Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones y Avenidas Súbitas en Zonas Rurales y Urbanas, con Arrastre de Sedimentos".

MÉTODOS DE COMPARACIÓN DE MAPAS SIMULADOS DEL CRECIMIENTO URBANO CON LOS MAPAS REALES

Verónica Pascual[1], Francisco Aguilera[1], Montserrat Gómez[1], Pablo Barreira[1], José Miguel Santos[2], Joaquín Bosque Sendra[1].

RESUMEN

Los modelos de simulación de la ocupación del suelo, por ejemplo, aquellos que intentan calcular el crecimiento urbano, generan mapas que muestran la disposición territorial de las zonas seleccionadas por el modelo para instalar las nuevas ocupaciones del suelo, como pueden ser las nuevas zonas urbanas. Un problema importante es decidir si se ajustan a la realidad observada en el territorio. Para eso, se necesita comparar los mapas reales con los simulados. Esta comparación no es tan sencilla como parece y es necesario desarrollar nuevos procedimientos para llevarla a cabo en las mejores condiciones. Esta comunicación realiza una primera discusión del tema y aporta algunos procedimientos prácticos de solucionar la cuestión.

Palabras clave: Crecimiento urbano, simulación, Autómatas Celulares, Evaluación Multi-criterio, comparación de mapas.

METHODS TO COMPARE SIMULATED AND ACTUAL MAPS FOR URBAN GROWTH

ABSTRACT

The urban growth models generate simulated maps that are necessary to compare with the actual maps. The methods available to compare maps are not appropriate. This work proposes new methods to improve the comparison of maps.

Keywords: *Urban growth, Simulation, Cellular automata, Multi-criteria evaluation, Map comparison.*

1Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. C/Colegios nº2, 28801, Alcalá de Henares, Madrid. E-mail: veronica.pascual@uah.es.

2Departamento de Geografía. UNED, España .E mail: jsantos@geo.uned.es

1. Introducción

El problema que se pretende analizar

El uso de modelos de simulación de diverso tipo para estudiar el crecimiento urbano se ha convertido en algo habitual en los últimos años. Se emplean para ello modelos muy diferentes, por ejemplo basados en la aplicación de los autómatas celulares, o en las técnicas de evaluación multi-criterio.

Normalmente es necesario comparar los resultados de la ejecución de un modelo con los datos reales para decidir lo adecuado de ese modelo para reproducir la realidad estudiada. Esta comparación no es sencilla y es imprescindible avanzar ideas y nuevos métodos que permitan mejorar los actuales procedimientos de comparación.

El objetivo de este trabajo es el de plantear nuevos elementos en la discusión de los procedimientos que se pueden emplear para determinar el ajuste del mapa simulado por un modelo al mapa del crecimiento real de las zonas urbanas.

La comparación de dos mapas, uno real y otro simulado con un modelo, ambos referidos al crecimiento urbano en un periodo de tiempo, necesita concretar qué elementos queremos medir y comparar entre los dos mapas. En principio, dos mapas se pueden parecer más o menos en función de muy diversos aspectos:

Similitud en la localización geométrica de los elementos existentes en el mapa, cuanto más iguales sean estas posiciones en los dos mapas, más parecidos serán los mismos. Esta es la primera y más elemental manera de establecer la comparación, pero no parece difícil imaginar otras similitudes que resultan relevantes.

Semejanza en la estructura formal del paisaje reflejado en los dos mapas. La Ecología del paisaje, una nueva disciplina que analiza las formas del paisaje, subraya la importancia de este tema en la comparación de dos situaciones y en la evaluación de la calidad ambiental en ciertos aspectos relevantes.

De manera aún más general, en muchos casos puede parecer significativo comparar dos mapas del crecimiento urbano en cuanto a la estructura territorial básica de los hechos reflejados en él. Esto es particularmente importante respecto a mapas de zonas urbanas y metropolitanas, de manera que podríamos comparar si la situación simulada es similar, en mayor o menor grado, a una situación metropolitana real en cuanto a su organización general.

Finalmente, una cuarta opción, que puede que se encuentre bastante relacionado con el primer criterio que hemos mencionado, sería la comparación de la accesibilidad de los lugares urbanos y residenciales generados por los modelos de simulación en relación a los valores de esta magnitud en la realidad.

En resumen, es posible formular diferentes criterios que permitan medir la similitud de dos mapas y de esa manera establecer la validez de un modelo de simulación para construir resultados próximos a la realidad o, al menos, razonablemente cercanos. Un tema importante es cómo medir en concreto cada uno de estos criterios de comparación. En esta comunicación sólo se van a adelantar algunas ideas para medir el

segundo criterio que hemos mencionado, las semejanzas en la estructura formal de los hechos representados en los dos mapas. Los otros aspectos se dejan para trabajos posteriores.

La organización del texto es la siguiente. A continuación se describe el área de estudio y los mapas que deseamos comparar: los simulados y el real. En los siguientes epígrafes, se explican con algún detalle cómo medir tres de los anteriores aspectos: localización geométrica, organización formal del paisaje y estructura territorial básica. El epígrafe 4 contiene los resultados concretos obtenidos al aplicar los procedimientos descritos para medir la estructura formal del paisaje en los dos mapas. A continuación, en el epígrafe 5, se plantean algunas conclusiones de interés. El texto termina con la bibliografía citada.

Para la simulación del crecimiento urbano en la región de Madrid se utilizó la información aportada por el proyecto CORINE Land Cover, correspondiente a las fechas de 1990 y 2000. Este proyecto recopila de forma coordinada y homogénea la información numérica y gráfica a escala 1:100.000 sobre la Cobertura y/o Uso del Territorio en el ámbito europeo. Este proyecto recoge por tanto las distintas ocupaciones del suelo para los años 1990 y 2000, intervalo suficiente como para advertir los cambios en los usos del suelo estudiados: residencial y el denominado productivo (comercial e industrial).

2. *La zona de estudio y los modelos de simulación realizados*

2.1. Zona de estudio

La Comunidad Autónoma de Madrid se sitúa en el centro de la Península Ibérica, concretamente en el centro de la Meseta Central. Limita con las provincias de Ávila y Segovia (Castilla y León), Guadalajara, Cuenca y Toledo (Castilla-La Mancha). Con una extensión de 8.028 km2 (1,6% del total nacional), es la 12ª comunidad española en superficie y se encuentra dividida en 179 municipios.

La población de Madrid ocupa el primer lugar provincial en número de habitantes, con 5.030.598 en 1990, ascendiendo a 5.205.408 en 2000 y con 6.369.167 en 2011 (Instituto Nacional de Estadística, 2011). Se caracteriza por una gran concentración humana, especialmente en su capital y área metropolitana. A partir de la década de 1990, se produce un cambio en el modelo de crecimiento urbano de la Comunidad de Madrid, registrándose una descentralización hacia municipios cada vez más alejados de la principal aglomeración metropolitana (Barrios y otros, 2008 y Plata y otros, 2008a)

La Comunidad de Madrid ha sufrido, durante el periodo de estudio (1990-2000), un proceso de rápida urbanización (figura 1-29) que se ha traducido, sobre todo, en un aumento de la ocupación del territorio a base de urbanizaciones residenciales con patrones difusos (EEA, 2006). En este periodo de tiempo, aproximadamente 50.000 ha se han convertido en superficies artificiales; es decir, casi un 50% más de la superficie existente en 1990 (Plata, 2010; Plata *et al*, 2008b). Al analizar solamente el incremento del área residencial, usando para ello las categorías utilizadas en la base de datos CORINE, la empleada para realizar el estudio del crecimiento urbano real (Plata *et al*, 2008b): tejido urbano continuo, estructura urbana abierta, y urbanizaciones exentas y/o ajardinadas, en el periodo 1990 a 2000, es la provincia de Madrid la que

presenta cambios más significativos, aumentando su superficie urbana en 20.190 ha, seguida de las provincias de Alicante (12.589 ha) y Valencia (5858 ha) (OSE, 2008).

El mapa de crecimiento del suelo residencial y lo que podríamos considerar suelo productivo asociado (industrial y comercial), entre ambas fechas, se muestra en la Figura 1-29.

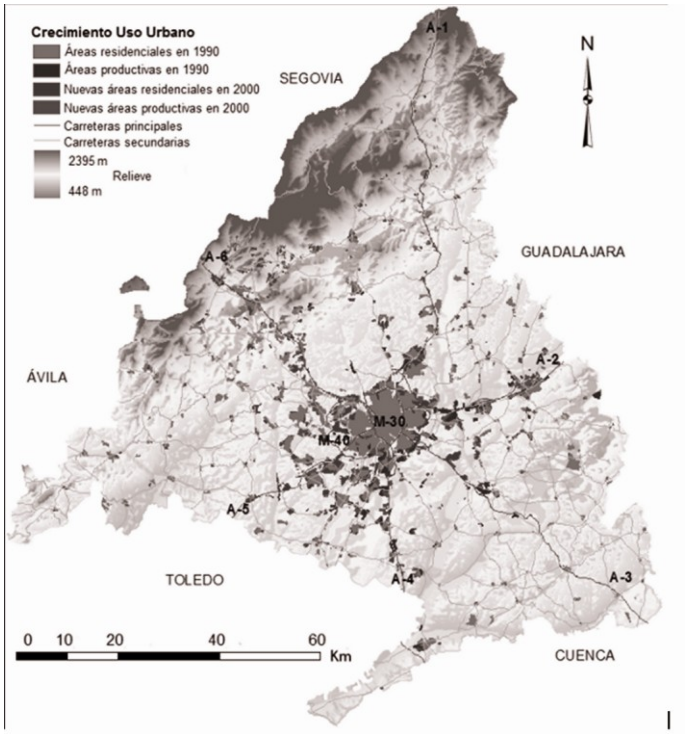


Figura 1-29. Zonas urbanas (residenciales y productivas en Madrid (1990 y 2000).

Éste es el mapa real que se intenta reproducir mediante las dos técnicas a estudiar. Al no considerar la competencia de usos del suelo que podría o no existir, las simulaciones se realizaron por cada tipo de suelo a estudiar; por un lado el uso residencial y por el otro el uso productivo.

Como muestra la Figura 1-30, en general, el crecimiento se ha localizado muy próximo a las zonas urbanas ya existentes y en las zonas cercanas a la red principal de comunicaciones como ocurre en la A-2 (Corredor del Henares) y A-6. Este crecimiento se ha realizado a costa de las zonas agrícolas, principalmente de tierras de labor en secano (Plata y otros, 2008b). Los aumentos más evidentes se han localizado en el municipio de Madrid y en las zonas metropolitanas del oeste, sur y este. Las demás zonas de la Comunidad se mantuvieron casi sin transformar, destacando sólo los incrementos en la Sierra Central y en la zona nordeste. Además, en este periodo de tiempo aparecen numerosas urbanizaciones de pequeño tamaño, alejadas de los centros urbanos consolidados, localizadas un gran número en la zona de la Sierra (noroeste de la comunidad).

2.2. Los modelos de simulación utilizados

La construcción de modelos de simulación basados en las dos técnicas que se explicarán posteriormente necesita, previamente, establecer qué factores van a intervenir en la localización de los distintos tipos de crecimientos que se desean estudiar (residencial y productivo). En este caso, se realizó, en primer lugar, un análisis estadístico exhaustivo, a partir de técnicas de regresión, con el objetivo de averiguar qué factores podrían haber estado relacionados con la localización espacial de las nuevas zonas residenciales, industriales y comerciales (Plata 2008a y b). De estos trabajos se ha podido concluir que, entre las fuerzas impulsoras del crecimiento urbano en la región, se encuentran factores relacionados con la accesibilidad, como la proximidad a carreteras, a zonas urbanas, a servicios, a equipamientos de ocio, y otros de carácter ambiental, como los usos de suelo ya existentes, la pendiente o la altitud. Es por ello que estos factores se incluyeron en los dos modelos de simulación realizados.

De todas las técnicas de simulación existentes, en este caso, siguiendo la línea de investigación iniciada en trabajos anteriores (Pascual y otros, 2010) y enmarcado dentro del proyecto SIMURBAN, se ha decidido emplear dos de ellas, muy diferentes en su planteamiento básico y en su desarrollo operativo.

Por un lado, el procedimiento de los Autómatas Celulares (AC), diseñados por John Von Neuman y Stanislaw Ulam en los años 40, que se han convertido en los últimos años en una técnica estándar para estudiar la dinámica temporal de muy diversas cuestiones y, en primer lugar, del crecimiento urbano (Aguilera, 2006 y 2008). Para White *et al* (1997), esta metodología se puede entender como un sistema espacial dinámico muy simple en el que el estado de cada celda depende de los estados previos de las celdas vecinas, de acuerdo con un conjunto de reglas de transición. Por tanto, junto a la aptitud del territorio a ser urbanizado, otro factor determinante del proceso es la vecindad inmediata de cada punto del territorio. Además, otra característica singular de los autómatas celulares es que el resultado de una simulación incide en la siguiente fase del proceso, siendo, por tanto, un procedimiento iterativo (Barredo *et al*, 2003). Para este modelo se utilizaron los siguientes factores: distancia a carreteras, al centro de negocios, a comercios, a cuerpos de agua, a zonas urbanas y a universidades, altitud, pendiente, incremento de la población y usos del suelo.

Por otra parte, las técnicas de Evaluación multicriterio (EMC) son muy utilizadas para formular planteamientos normativos en tareas de planificación; es decir, establecer dónde debería desarrollarse una determinada actividad en el territorio, en función de los objetivos y de los criterios establecidos por los planificadores (Gómez y Barredo, 2005). En este caso se utiliza esta técnica con un propósito diferente al habitual, ya que, partiendo de los factores que han sido determinantes en el desarrollo de nuevas zonas urbanas, se intenta reproducir lo que ha sucedido con el uso del suelo urbano residencial y productivo (comercial e industrial) y no lo que hubiera sido deseable. Es decir, se emplean estas técnicas en un contexto exploratorio, intentando reproducir una evolución posible y probable, en función de lo ocurrido en el pasado (Aguilera *et al*., 2010).

Con este modelo, se utilizaron los siguientes factores: distancia a carreteras, a zonas urbanas, a nodos de conexión, distancia ponderada a la población, usos del suelo existentes, y protección de suelo de mayor productividad. La ponderación de los factores se obtuvo a partir de una regresión lineal. Como resultado, se obtuvo la adecuación para cada uso, y, una vez clasificados de mayor a menor todos los puntos del territorio en función de su aptitud, para este uso concreto, se seleccionaron aquellos necesarios para alcanzar la cantidad de suelo (hectáreas de crecimiento) residencial o productivo desarrollada entre 1990 y 2000.

Como se ha expuesto, estas técnicas se van a aplicar para calcular los lugares más probables de urbanización en una fecha del presente, en función de criterios observados como determinantes del crecimiento urbano en el pasado. De esta manera, tales resultados los podemos contrastar con lo que realmente ha ocurrido con el proceso de urbanización en esa fecha (figura 1-30).

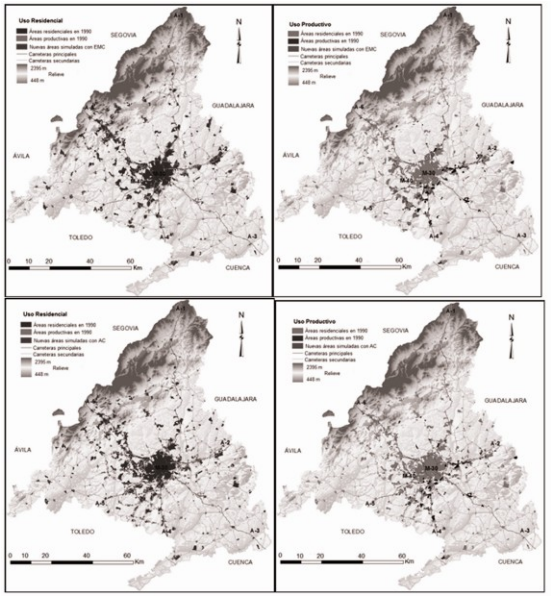


Figura 1-30. Resultados obtenidos para los usos urbanos y productivos para el año 2000
Mediante evaluación multi-criterio (EMC), arriba, y autómatas celulares. (AC), abajo

3. Hacia una propuesta de procedimientos para comparar mapas

Como se ha señalado anteriormente, a la hora de comparar dos mapas, como sucede con los resultados de los modelos de simulación con la realidad, surgen diversas alternativas y problemas que este trabajo intenta abordar. No en vano, ya importantes trabajos de simulación en la materia (White *et al*., 1997 o Barredo *et al*., 2003) destacaban los problemas de la tradicional comparación píxel a píxel. En este sentido, podemos constatar que si realizamos este tipo de comparación, dos mapas iguales, en los que únicamente se desplazarán los valores de cada píxel una fila, darían lugar a diferencias sustanciales.

Por tanto, a lo largo del presente epígrafe, se presentarán tres posibles aproximaciones a la comparación de mapas simulados con mapas reales, que puedan ser útiles para su aplicación en los estudios de simulación.

3.1. Comparación de la posición geométrica de los diferentes resultados

La comparación de la localización entre dos mapas, y determinar correctamente el acuerdo entre una simulación de un mapa de usos del suelo y uno real, no es sencilla y depende de varias cuestiones como las siguientes:

¿Qué mapas se deben comparar? ¿Es adecuado usar el mapa final que incluye tanto los usos preexistentes como las adiciones de nuevos usos? ¿O sólo se deben comparar la posición de las nuevas zonas urbanas? En tu trabajo previo se ha justificado la idea de comparar sólo las nuevas zonas urbanas (Pascual *et al*, 2010). Se trata de comprobar si se ha acertado, con el modelo de simulación, en la posición concreta de los nuevos usos urbanos: residenciales y productivos.

Sin embargo, una reflexión básica sobre el tema encuentra que las probabilidades de acertar son bastante reducidas. Si el mapa de adecuación usado para seleccionar la posición de los nuevos usos incluye 100,000 lugares (por ejemplo píxeles de un mapa ráster) de un nivel de adecuación elevado (y, en general, con pequeñas variaciones, adecuados para ser urbanizados), y se deben seleccionar 10,000 lugares (píxeles) de nuevas zonas urbanas, resulta que las combinaciones posibles de 10,000 entre 100,0000 son enormes.

En resumen, la posición espacial de las soluciones simuladas sólo se puede aproximar algo a las reales y de lo que se trata es encontrar un procedimiento razonable, alejado de planteamientos excesivamente rigurosos y estrictos. Como alternativa, se proponen, en el texto antes citado, varias opciones:

1° Comparar la distribución de frecuencias (y los estadísticos de resumen de esa distribución) de la adecuación que se observa en los usos reales con la distribución de frecuencias de la adecuación en los usos simulados.

2° Tener en cuenta no la posición exacta de los usos sino su localización aproximada. Es decir, que no se considere completamente erróneo que un uso simulado se sitúe en las proximidades de los píxeles reales con ese uso.

En cualquier caso, los resultados de estos procedimientos de comparación son iniciales y es interesante contrastarlos con lo que se obtiene usando otros de los procedimientos propuestos en este texto, en particular la organización formal del paisaje.

3.2. Comparación de la organización y fragmentación del paisaje: uso de índices de Ecología del paisaje

Otro procedimiento que puede permitir realizar la comparación de mapas, son los índices de la ecología del paisaje (Berling-Wolf y Wu, 2004). De una forma sintética, estos índices o métricas pueden ser definidos como "un conjunto de medidas cuantitativas agregadas derivadas del análisis digital de mapas temáticos" (Herold *et al*, 2003). Estos índices permiten cuantificar, y por tanto comparar, las características espaciales de diferentes mapas categóricos, como los que resultan de una simulación de cambios de usos del suelo o de crecimiento urbano.

Estas características espaciales tienen que ver, tanto con la composición de los mapas (o paisajes) simulados y reales, así como con la configuración espacial de los mismos.

De forma genérica, estas métricas permiten comparan las características espaciales de las diferentes teselas o fragmentos que componen los mapas categóricos (métricas a nivel de tesela), de los valores agregados de las teselas para un mismo uso (métricas a nivel de categoría), del paisaje en su conjunto (métricas a nivel de paisaje) e incluso a través de ventanas móviles (Kernel) (Díaz-Varela *et al*, 2009). En este último caso, se podrían tener como resultado, más allá de valores numéricos referidos a las diferentes teselas o categorías, mapas con valores que representen el valor de cada métrica para cada píxel de acuerdo con una vecindad determinada.

Por tanto, las métricas de la ecología del paisaje pueden realizar un análisis comparativo a nivel de la propia estructura espacial de los paisajes a contrastar (a través de medir la correspondencia espacial de las teselas formadas por agregados de píxeles del mismo uso), que puede resultar más adecuada que una evaluación píxel a píxel. Sin embargo no resulta sencillo seleccionar aquellos índices de la ecología del paisaje más adecuados para su uso, y quizás menos aún para la comparación de paisajes urbanos, resultado de una simulación con paisajes reales. No obstante, en diversos trabajos, se han propuesto un conjunto de índices que pueden ser adecuados, tanto para la planificación de paisajes (Botequilha e Ahern, 2002; Botequilha *et al*, 2006) como para la caracterización de procesos de crecimiento urbano (Herold *et al*, 2005; Aguilera *et al*, 2011). Estos conjuntos de índices pueden ser un buen punto de partida para la selección de un conjunto de métricas de la ecología del paisaje, útiles para la comparación de resultados de simulaciones con la realidad.

En el caso que nos ocupa, el de comparar resultados de simulaciones de crecimiento urbano con la realidad, podemos emplear el conjunto de índices seleccionados en Aguilera (2010) para la identificación de procesos de crecimiento urbano en áreas metropolitanas. Estos índices se encuentran en relación con los diferentes procesos que actualmente afectan a las zonas urbanas (Font, 2004; Indovina, 2005), como la dispersión, la agregación, etc. Por tanto, a través de dichos índices pueden valorarse los cambios espaciales que tienen lugar como consecuencia de los procesos urbanos (Aguilera *et al*, 2011).

3.2.1. Procesos urbanos y métricas de ecología del paisaje

A continuación se presenta un conjunto de seis índices o métricas que pueden ser adecuadas para cuantificar cambios en la estructura del paisaje (Aguilera, 2010) y que, por tanto, puede emplearse en la medición de las características espaciales de los procesos urbanos simulados, y compararlas con los procesos de cambio real. Las métricas empleadas se obtienen a nivel de clase, de tal forma, que para cada categoría de los diferentes mapas se obtienen valores numéricos de las diferentes métricas. Estas métricas se pueden asociar a diferentes procesos de cambio en las áreas urbanas, como queda recogido en la Tabla 1-8.

Y es que mediante la comparación de los valores de las métricas para el crecimiento simulado entre el período 90-00 con el crecimiento real experimentado, así como de la situación final resultante para el año 2000 (resultado de adicionar a las zonas urbanas existentes en 1990 el crecimiento experimentado), se podrán valorar los resultados de los escenarios en relación con los siguientes procesos urbanos.

Proceso de agregación/fragmentación

La agregación se corresponde con el proceso de agrupamiento de los fragmentos urbanos para formar teselas de mayor tamaño. Este proceso tiene lugar cuando los crecimientos urbanos se producen adyacentes a las zonas urbanas preexistentes. Como consecuencia, los fragmentos urbanos se hacen de mayor tamaño, y puede dar lugar a la unión de diferentes fragmentos, lo que igualmente reduciría su número. Para medir el grado de agregación de las áreas urbanas, se pueden emplear métricas como el Número de Fragmentos (NP) de cada categoría urbana, o el tamaño medio de los fragmentos de las diferentes categorías urbanas (AREA_MN). Generalmente, una mayor agregación implica un menor número de fragmentos, así como un mayor tamaño de los mismos. El proceso contrario sería el de la fragmentación de los usos urbanos, caracterizado por un incremento del NP y descenso del AREA_MN.

Proceso de elongación

Se trata de un proceso de formación de teselas más alargadas, como parte de crecimientos a lo largo de las principales vías de comunicación, que pueden ser de gran importancia en ciertos usos urbanos (industriales por ejemplo) o en algunas de las áreas urbanas. Este proceso puede caracterizarse por métricas que miden la forma de las diferentes teselas de cada uso, y el grado de proximidad que presentan con la forma del círculo. Estas métricas son el índice de forma SHAPE_MN, así como el índice de compacidad GYRATE_MN, que cuanto mayores son, mayor elongación muestran.

Proceso de dispersión

Este proceso consiste en el incremento de la distancia que separa a las teselas de la misma clase de uso unas de otras. Puede medirse mediante la distancia mínima a la tesela más próxima (ENN_MN), de tal forma que su incremento se traducirá en un mayor proceso de dispersión de las teselas, que comienzan a localizarse en las zonas intersticiales existentes entre los núcleo urbanos consolidados. Esto por su parte también genera incrementos del PROX_MN.

Tabla 1-8. Métricas de la ecología del paisaje para la caracterización de procesos urbanos

Métrica		Descripción	Proceso Urbano
Número de fragmentos	NP	Número de teselas de un mismo uso en un entorno	Proceso de Fragmentación /Agregación. Cuanto mayor sea el incremento del PN y mayor el descenso del AREA_MN, mayor será la fragmentación de la clase.
Tamaño medio de los fragmentos	AREA_MN	Tamaño medio de todos los fragmentos de un mismo uso	
Índice de tamaño medio	SHAPE_MN	Media de las relaciones entre el perímetro de un fragmento y el perímetro que tendría el fragmento más simple de igual área.	Proceso de elongación. A mayores sea el incremento de GYRATE_MN y SHAPE_MN mayor serán los procesos de elongación de las diferentes teselas de un uso.
Índice de compacidad	GYRATE_MN	Media de las distancias de cada pixel al centroide del fragmento. Es sensible al tamaño de las teselas (Mayor área implica mayor compacidad)	
Distancia media al fragmento más próximo	ENN_MN	Media de las distancias relativas entre fragmentos del mismo uso, (distancia euclídeana de cada fragmento al más próximo)	Proceso de Dispersión. Valores más bajos del ENN_MN y más altos del PROX_MN indicarán una mayor dispersión de los fragmentos en el territorio.
Índice de proximidad medio	PROX_MN	Valor medio para cada tipo de uso del índice de proximidad. Aporta información relativa a la proximidad entre las manchas de un uso. Sensible al tamaño de las teselas. Se ha calculado para una distancia de 500m	

3.3. Comparación respecto a la organización general del territorio

Un tercer procedimiento que serviría para cotejar el resultado alcanzado por los modelos de simulación, respecto a la situación real, podría lograrse si consideráramos la localización del crecimiento urbano acaecido en un territorio concreto, no de manera indiscriminada, sino clasificado de acuerdo con un modelo general representativo de las nuevas tendencias que caracterizan al desarrollo urbano de la ciudad actual. Se trataría de identificar, en primer lugar, los píxeles en donde habría habido cambios de suelo no urbano a suelo urbano, agrupándolos de acuerdo con algún patrón que facilitara la comparación.

Antonio Font (1997) define, en una obra de gran interés sobre el tema, las nuevas tendencias existentes en la construcción de la ciudad de Barcelona, que podrían servir de base para definir los rasgos del cambio de la estructura metropolitana clásica al modelo de ciudad disperso en nuestro país. Según este autor y de forma sintética, los procesos contemporáneos que podrían adivinarse en las nuevas morfologías urbanas de la ciudad actual se podrían agrupar en varios apartados:

La expansión del núcleo central y de los núcleos históricos de la región metropolitana, con caracteres de continuidad espacial y promiscuidad de usos (residencial, industrial, servicios, etc.). Este crecimiento se estaría produciendo en mancha de aceite, conurbado con los asentamientos más próximos, siguiendo la tendencia de una mayor densidad de ocupación cuanto menor sea la distancia a los centros urbanos de los mismos.

Los nuevos emplazamientos o lugares de las actividades de la innovación o de la centralidad dispersa, en enclaves de alta accesibilidad o exposición visual, o a lo largo de los elementos principales de la infraestructura vial y del transporte público. Podrían contemplarse las grandes superficies comerciales y equipamientos, las sedes representativas de las principales empresas del sector servicios o de la producción, junto a los nuevos espacios productivos innovadores (parques de actividad, tecnológicos, etc.).

Las formas del crecimiento disperso, fundamentalmente la edificación aislada de la segunda residencia, que consume importantes superficies de territorio, gracias a la accesibilidad de la nueva red viaria construida.

Simplificando, el desarrollo urbano disperso se realizaría, de acuerdo con tres patrones básicos de unión de las celdas representativas del desarrollo urbano disperso: crecimiento urbano compacto y continuo (cluster growth); crecimiento lineal (normalmente a lo largo de una arteria de tráfico llamado linear growth) y crecimiento en manchas urbanas discontinuas y separadas entre sí (leapfrog growth) (Harvey and Clark 1971), mostrados en la Figura 1-31.

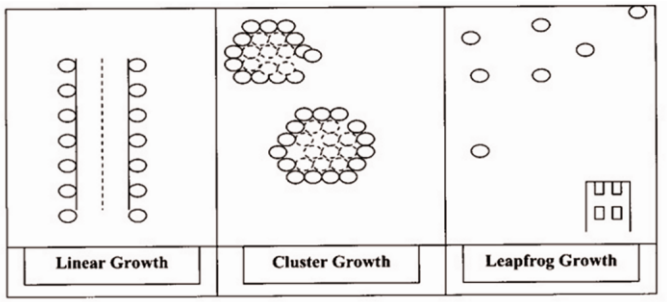


Figura 1-31. Principales patrones del crecimiento urbano disperso

Esta forma de actuar podría permitirnos definir una metodología específica, con la finalidad de organizar el nuevo crecimiento urbano de una ciudad determinada en una serie de unidades espaciales de carácter estructural:

El núcleo urbano fundamental, integrado por las celdas de este núcleo y las que se añadieran por contigüidad o proximidad en un entorno o radio determinado. En este sentido, podría aplicarse el modelo del gradiente de densidad, para poner de manifiesto la disminución progresiva de la ocupación del suelo respecto a la distancia al centro.

Los núcleos urbanos secundarios, integrados por las celdas de estos núcleos y las que se añadieran por contigüidad o proximidad en un entorno o radio determinado inferior. De igual manera, podrían considerarse los buffers de distancia a cada sub-centro.

El desarrollo urbano lineal, caracterizado por el nuevo crecimiento, situado en la proximidad de las vías básicas de tráfico. El desarrollo urbano nodal, caracterizado por el nuevo crecimiento, situado en la proximidad de los principales nodos viales de la región. El desarrollo urbano disperso, caracterizado por la baja densidad edificatoria y un alejamiento relativo respecto a otros píxeles ya existentes.

La comparación entre el crecimiento urbano real y el correspondiente a la aplicación de los modelos de simulación dispondría de un patrón de referencia, que facilitaría la medición de la adecuación de ambos. Se podría, por tanto, contrastar la acomodación del resultado de los modelos predictivos a la estructura real del territorio:

Bien por la verificación del tipo de patrón de crecimiento y posición relativa de los píxeles en los que la situación del crecimiento real y simulado coincide.

Bien por la medición del encaje de los puntos no coincidentes, respecto a la organización general del territorio, por la posición relativa que ocupan en los diferentes buffers de aproximación a los elementos estructuradores de la misma. Determinar qué porcentaje de los puntos simulados, aunque no concuerden con la situación real. Se amolda a este patrón espacial y permite aventurar la existencia de una aproximación entre realidad y simulación.

El estudio podría realizarse, además, analizando el desarrollo urbano por sectores urbanos. Este tipo de análisis estaría más que justificado en el caso de Madrid, ya que en determinados sectores (zona norte y sobre todo oeste) el desarrollo disperso ha tenido una presencia muy superior al resto, mientras que en la zona sur predomina una estructura mallada de núcleos urbanos bien definida, que continúan organizando el desarrollo urbano de carácter compacto en su alrededor, y en el sector este, donde el nuevo crecimiento urbano se halla estructurado de manera lineal a lo largo del eje del Henares.

Tabla 1-9. Valores de los índices de la ecología del paisaje para el uso productivo y para el uso urbano

	PROCESOS URBANOS	METRICAS	CRECIMIENTO				RESULTADO TOTAL			
			emc	real_emc	Ac	real_ac	emc	real_emc	ac	real_ac
Usos productivos	Agreg/	NP	64	164	396	165	120	184	373	167
	Frag	AREA_MN	123,04	48,02	19,50	48,75	119,68	78,05	38,20	87,26
	Elongación	GYRATE_MN	464,87	292,20	178,69	281,35	456,10	355,4647	231,56	362,33
		SHAPE_MN	2,33	1,53	1,25	1,31	1,9724	1,512	1,325	1,3489
	Dispersión	PROX_MN_500	39,25	11,02	0,78	0,52	80,62	34,42	2,18	2,62
		ENN_MN	801,52	1368,11	678,94	1541,54	1287,911	1299,87	899,69	1639,10
Usos residenciales	Agre/	NP	612	386	485	542	484	475	639	387
	Frag	AREA_MN	25,72	40,78	29,44	29,51	123,98	126,33	87,44	148,68
	Elongación	GYRATE_MN	164,93	271,57	210,94	215,92	320,77	353,99	273,44	378,81
		SHAPE_MN	1,59	1,65	1,29	1,2566	1,5936	1,4831	1,3203	1,3483
	Dispersión	PROX_MN_500	30,86	14,10	2,1705	1,1291	296,7227	198,8922	26,4199	5,7439
		ENN_MN	476,20	957,35	748,71	923,78	919,09	1091,03	1058,86	1474,93

Nota: Las cuatro primeras columnas de valor corresponden con los valores de superficie de crecimiento y las cuatro siguientes a superficie total. La notación "emc" y "ac" corresponde con los modelos de simulación, el "real_emc" a la realidad con resolución comparable a la EMC y el "real_ac" a la realidad de resolución comparable a AC.

4. Algunos resultados: aplicación de índices de Ecología del paisaje

Los índices obtenidos para las simulaciones de crecimiento urbano para los modelos AC y EMC, tanto para el crecimiento simulado (CRECIMIENTO) como para el resultado total de la simulación (RESULTADO TOTAL), han sido comparados con los índices obtenidos para los mapas de crecimiento real entre 90 y 00 y de la situación real en el año 2000, cada uno con un mapa de resolución comparable a la obtenida en la simulación1. La Tabla 1-9 recoge dichos valores. Para facilitar la interpretación de los resultados, puesto que cada modelo tiene que ser comparado con una mapa de resolución comparable, y eso altera los valores de las métricas para los mapas "reales", se ha recurrido a realizar una comparación mostrando el porcentaje de diferencia entre los valores de las métricas de cada modelo con respecto al mapa de referencia comparable (figura 1-32 y Figura 1-33).

En lo que respecta a los valores del crecimiento del suelo productivo simulado, recogidos en la Figura 1-32 (2 barras de la izquierda de la figura), se puede apreciar cómo el modelo basado en EMC presenta un valor del NP menor del real (-61%), así como unos valores superiores de AREA_MN (156%). Por el contrario, el modelo de AC presenta un número de fragmentos más elevado (140% NP), pero que son de menor tamaño (-60% AREA_MN). Por tanto, para los usos productivos, el modelo basado en EMC simula un proceso de crecimiento más agregado del que realmente tuvo lugar, mientras que modelo basado en AC simula un crecimiento más fragmentado.

En relación con la elongación de los crecimientos simulados, el modelo basado en EMC muestra unos crecimientos más enlongados de los reales (56% del GYRATE_MN y 53% del SHAPE_MN) potenciando así crecimientos más lineales. Por lo que respecta al modelo basado en AC, éste simula fragmentos levemente más compactos (36% disminución del GYRATE_MN), aunque más parecidos a la realidad que para el caso del modelo EMC.

En lo referente a la dispersión, ambos modelos muestran una mayor dispersión que la real, puesto que presentan una disminución de la distancia entre teselas del mismo uso (-41% ENN_MN para EMC y un -56% para AC), y un aumento del PROX_MN (256% para EMC y 51% para AC). En lo que respecta al resultado total simulado para los usos productivos en el año 2000 (barras de la derecha de la figura 1-32), y puesto que se adicionan las superficies existentes en 1990, los valores de diferencias de las métricas se atenúa con respecto a los anteriores. De manera pormenorizada, se puede señalar que el modelo EMC presenta un número menor de teselas (-35% NP) y una mayor área media (53% AREA_MN) mostrando una mayor agregación que la real. No obstante sus valores son más parecidos a la realidad que en el caso del modelo AC, que especialmente muestra un proceso de dispersión mucho mayor, con la disminución de los valores de ENN_MN.

El análisis del crecimiento de los usos residenciales simulados (barras izquierdas de la Figura 1-33) muestran como para el caso del modelo basado en AC se observa una gran similitud con el proceso de crecimiento real, experimentado por este uso entre las dos fechas (por ejemplo -10% NP y -0.2% AREA_MN). Este hecho implica que el modelo simula de forma adecuada la agregación de los usos residenciales. Por el contrario, el modelo basado en EMC presenta unos resultados mucho más alejados de la situación real (por ejemplo 59% NP y -37% AREA_MN). En cuanto al análisis de la superficie total resultante para el uso residencial (barras de la derecha de los índices de la Figura 1-33),

[1] Puesto que los resultados de los dos modelos tienen una resolución espacial diferente, tienen que ser comparados con los mapas "reales" de la misma resolución. Por ello se emplearán dos mapas reales, uno con la resolución del modelo basado en EMC, y otro con la del basado en AC.

el modelo basado en AC muestra ahora unos resultados con una agregación mucho menor de la real, con un mayor número de teselas (65% NP AC) y de tamaño más pequeño (-41% AREA_MN AC). Esto se debe a la presencia de múltiples fragmentos de pequeño tamaño, que igualmente condicionan unos valores más bajos de GYRATE_AM (-28%) (Por el menor tamaño de las teselas) y una distancia más cercana de unas manchas con respecto a otras (-28% de ENN_MN).

No ocurre así en el caso del modelo EMC, con valores mucho más similar con respecto a los reales en lo que respecta a la práctica totalidad de las métricas y que únicamente difieren un poco más en lo referente al SHAPE_MN.

Por tanto, a la vista de los valores comentados, se puede observar que los resultados, en términos de la estructura del paisaje, son más similares a la realidad para el modelo basado en AC en lo que respecta al análisis de los mapas de crecimiento y especialmente para los usos residenciales. Sin embargo, el modelo basado en EMC muestra, por su parte, unos valores más cercanos a la realidad para el análisis realizado a nivel de la estructura del paisaje total simulada para el año 2000. Este hecho sucede debido a que los nuevos fragmentos urbanos que aparecen en el período 90-00 en realidad aparecen agregados a teselas urbanas existentes en el año 90, lo que reduce el número total de teselas cuando se realiza un análisis completo para el paisaje en su totalidad para el año 2000. De esta forma, aunque el modelo basado en AC sea más ajustado en lo que respecta al tamaño y el número de teselas que van a crecer, falla a la hora de colocarlas de forma adyacente a las ya existentes en el año 90, lo que da lugar a un número de teselas (PN) mayor, de tamaño más pequeño (AREA_MN), y unas más cerca de otras (ENN_MN).

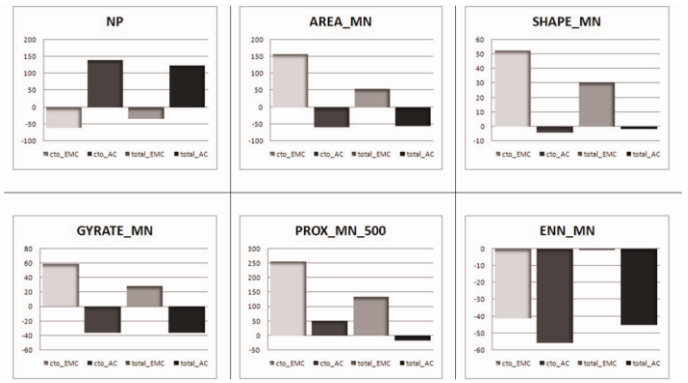


Figura 1-32: Diferencia en % para los valores de las métricas seleccionadas entre las simulaciones y la situación real para los usos productivos.

Nota: "cto_EMC" y "total_EMC" representan los valores para el crecimiento entre 1990 y 2000 y el resultado total para 2000 simulados con EMC. "cto_AC" y "total_AC" representan los valores para el crecimiento entre 1990 y 2000 y el resultado total para 2000 simulados con AC.

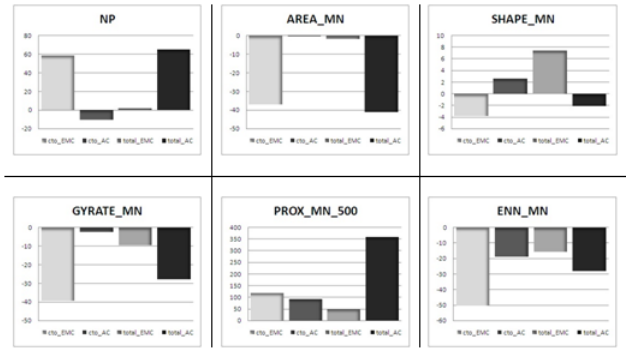


Figura 1-33: Diferencia en % para los valores de las métricas seleccionadas entre las simulaciones y la situación real para los usos residenciales.

Nota: "cto_EMC" y "total_EMC" representan los valores para el crecimiento entre 1990 y 2000 y el resultado total para 2000 simulados con EMC. "cto_AC" y "total_AC" representan los valores para el crecimiento entre 1990 y 2000 y el resultado total para 2000 simulados con AC.

5. Conclusiones

Una conclusión preliminar de este trabajo, es que la cuestión de comparar mapas de manera realista sigue siendo un problema complicado y difícil de resolver. No obstante, nuestra propuesta de separar este complejo tema en diversos aspectos creemos que es un avance en el desarrollo de métodos más completos y precisos. Los aspectos propuestos creemos que miden cuestiones diferentes en las que los mapas se pueden diferenciar y que deben ser tomados en cuenta en una correcta comparación, lo que no está totalmente resuelto es que todos los posibles aspectos que caracterizan a un mapa, y lo hacen similar o distinto de otro, estén recogidos totalmente con nuestra propuesta. Es una cuestión aún abierta a debate. En cualquier caso, un análisis de la estructura del paisaje como el presentado en este texto, puede permitir conocer y evaluar algunos detalles de la configuración espacial de los resultados de los modelos de simulación, no evaluables con otros métodos como aquellos de comparación píxel a píxel y que, por lo tanto, complementa la comparación entre los dos mapas.

La información recogida sobre las diferencias en la estructura formal del paisaje, que separa y diferencia a la realidad de la simulación, puede ser muy valiosa para la realización de las modificaciones oportunas en los modelos de simulación con el objetivo de generar paisajes más "realistas". De todas formas, conviene destacar que esta valoración de la estructura paisajística puede ser completada por otras valoraciones como las descritas anteriormente, tales como las aquí planteadas, la comparación geométrica o el análisis de la estructura del territorio.

Reconocimientos

Trabajo financiado por el proyecto SIMURBAN del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC España) a través de la convocatoria de 2006 de proyectos del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación 2004-2007, Programa Nacional de Ciencias Sociales, Económicas y Jurídicas (Referencia SEJ2007-66608-C04-00/ GEOG.

Referencias bibliográficas

Aguilera Benavente, F. (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. GeoFocus (Artículos) 6: 81-112.

Aguilera Benavente, F. 2008: Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la Aglomeración Urbana de Granada. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 303 pp.

Aguilera, F. (2010): Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Anales de Geografía, vol 30, pp 9-29.

Aguilera Benavente, F.; Gómez Delgado, M. y Cantergiani, C.C (2010). Instrumentos de simulación prospectiva del crecimiento urbano. Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales, Vol XLII, (N°165-166), pp. 481-495.

Aguilera, F., Valenzuela, L.M, and Botequilha-Leitao, A. (2011) Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. Landscape and Urban Planning. Vol 99, pp 226-238

Barredo, J.I., Kasanko, M., McCormick, N. y Lavalle, C. (2003): Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. Landscape and Urban Planning, vol 64, pp 145-160

Barrios I., Romero R., Montero-Serrano, J. (2008) Efecto de la dinámica territorial (1990-2000) sobre los espacios naturales protegidos de la Comunidad de Madrid. En: A. Galve, V. Pascual, V.M. Rodriguez (Editores), XI Coloquio Ibérico de Geografía: la perspectiva geográfica ante los retos de la sociedad y el medioambiente en el contexto ibérico. Universidad de Alcalá, España.

Berling-Wolf, S.,Wu, J. (2004) Modelling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. Urban Ecosystems, vol 7, pp 215–240.

Botequilha-Leitão, A.,Ahern,J. (2002). Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning. Landscape and Urban Planning. Vol 59, pp 65–93.

Botequilha-Leitão, A., Miller,J., Ahern,J., Mcgarigal,K. (2006) Measuring Landscapes. A Planner's Handbook. Island Press, Washington, DC.

Díaz-Varela, E.R; Marey-Pérez M.F y Álvarez-Álvarez, P (2009) Use of simulated and real data to identify heterogeneity domains in scale-divergent forest landscapes. Forest Ecology and Management, vol 258, pp 2490–2500

EEA (European Environment Agency) (2006): Urban sprawl in Europe, the ignored challenge. EEA Report No 10/2006

Font, A. (1997): Anatomía de una metrópoli discontinua: la Barcelona metropolitana, Papers, Región Metropolitana de Barcelona, n° 26, páginas 9-19. Barcelona.

Font, A. (Ed.) (2004). L'explosió de la ciutat. COAC I Fòrum Universal de les Cultures de Barcelona, Barcelona.

Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (2005): Sistemas de Información Geografía y Evaluación Multicriterio aplicados al ordenamiento del territorio. Ed. Ra-Ma. Madrid, 279pp.

Harvey, R.O. y Clark, W (1971): "The Nature and Economics of Urban Sprawl", en Internal Structure of City (Ed.: L.S. Bourne). Oxford University Press, New York.

Herold, M., Goldstein, N.C.,Clarke,K.C. (2003) The spatio-temporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. Remote Sensing.Environ, vol 86,pp 286–302.

Herold, M.,Couclelis,H.,Clarke,K.C (2005) The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Comput.Environ.Urban., vol 29,pp 369–39

Indovina, F. (2005). L'esplosione della città.Ed Compositori, Bologna.

Instituto Nacional de Estadística: [consultado el 17 de enero de 2011] www.ine.es

Li, X., Yang, Q., Liu, X. (2008) Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. Landscape and Urban Planning. Vol 86, pp 177–186.

McGarigal, K., S.A.Cushman, M.C.Neel, E.Ene. (2002) FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts, Amherst.www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html (consultado el 15 Marzo de 2010).

Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) (2008) Informe de Sostenibilidad en España – 2007 [consultado el 19 de junio de 2009] www.sostenibilidad-es.org/]

Pascual Rosa, V., Aguilera Benavente, F., Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010): Simulación de modelos de crecimiento urbano: métodos de comparación con los mapas reales. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.000-1.013. ISBN: 978-84-472-1294-1

Plata Rocha, W., Gómez Delgado M., y Bosque Sendra, J. (2008a): Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos y SIG. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 121-134. ISBN: 978-84-96971-53-0.

Plata Rocha W., Gómez Delgado M., y Bosque Sendra J. (2008b): Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid. Scripta Nova Vol. XIII, 293.

Plata Rocha W. (2010) Descripción, análisis y simulación del crecimiento urbano mediante Tecnologías de la Información Geográfica. El caso de la Comunidad de Madrid. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá.

White, R; Engelen, G. (1997): "Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling", Environment and Planning B: Planning and Design, 24, pp. 235-246.

White, R., Engelen, G., Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high resolution modeling of urban land use dynamics. Environment and Planning B, vol 24, pp 323–343.

GEOCOL: UNA PROPUESTA DE GEORREFERENCIACIÓN UNIVERSAL EN TÉRMINOS COLOQUIALES

Herman Guillermo Dolder

RESUMEN

En este trabajo se propone un sistema de georreferenciación simple y universal denominado "Georreferenciación Coloquial" (GEOCOL). Este sistema se basa en el potencial que tiene el lenguaje humano para construir una gran cantidad de palabras diferentes utilizando para ello una limitada cantidad de sonidos. Además, el sistema aprovecha la capacidad que tienen los seres humanos para mapear, memorizar y transmitir oralmente información en formato de nombres, lo que contrasta con la dificultad que implica la memorización y transmisión oral de información numérica o codificada, la cual es, sin embargo, la base de la mayoría de los sistemas de georreferenciación existentes en la actualidad. Para conseguir este objetivo GEOCOL es un sistema diseñado para utilizar sílabas en lugar de números

Palabras claves: Georreferenciación Coloquial GEOCOL sílabas

COLLOQUIAL GEOREFERENCING OR HOW TO NAME EVERY CORNER OF THE PLANET

ABSTRACT

In this paper I propose a simple, universal georeferencing system called "Colloquial Georeferencing" (GEOCOL). This system is based on the potential of human language to construct a large number of different words by using a limited number of sounds. In addition, the system takes advantage of the ability of humans to map, memorize and orally convey information in the form of names, which contrasts with the difficulty of memorization and oral transmission of numerical or coded information, which is, however, the basis of most existing georeferencing systems. To achieve this goal, GEOCOL arises as a system designed to use syllables instead of numbers.

Keywords: *Colloquial Georeferencing GEOCOL syllables.*

Departamento de Ingeniería e Infraestructura – IPV. Francisco Gonzales 651, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. hgdolder@gmail.com

1. Introducción:

Pese a todos los importantes avances que han acontecido en las ciencias de la tierra, nunca se ha implementado una forma simple y universal para denominar coloquialmente a cada parte del planeta. Las formas actuales de georreferenciación, surgidas de ámbitos técnicos o científicos, están generalmente basadas en el uso de coordenadas numéricas, por lo que son engorrosas y poco prácticas para la mayoría de los usos cotidianos.

El presente trabajo consiste en la propuesta de un sistema de georreferenciación coloquial, llamado GEOCOL, que consiste en una metodología simple y novedosa para asignar un nombre único a cada parte del planeta, utilizando para ello técnicas de anidación de celdas similares a las que se usan para definir los índices espaciales en los sistemas de información geográfica (del tipo "quad-tree").

Mediante esta metodología se pueden componer nombres para identificar áreas no mayores a los 61 km2 utilizando dos palabras de dos sílabas cada una ("deno pome"), siendo la primera palabra la latitud y la segunda, la longitud de la celda considerada. Luego, con dos palabras de tres sílabas ("denopi pomeno") se definen áreas menores a 1,7 Ha (hectáreas), y con dos palabras de cuatro sílabas ("denopilo pomenolo") áreas de superficie inferior a 4,7 m2, considerándose éste el límite práctico del sistema, aunque en teoría la cantidad de sílabas y el tamaño correspondiente de las áreas definidas no tienen límite. Para cada una de estas áreas el nombre GEOCOL será único en todo el planeta.

Las sílabas que se utilizan en GEOCOL están formadas por doce consonantes seleccionadas de tal manera que sus sonidos sean lo más diferenciables posible, independientemente de la lengua en que se las utilice, así como las cinco vocales elementales del español. Con la combinación de estas doce consonantes y cinco vocales se obtienen las sesenta sílabas básicas del sistema.

2. Objetivos y antecedentes

El diccionario Espasa-Calpe define: Coloquial: adj. [Voz, frase, lenguaje, etc.], propio de la conversación oral y cotidiana.

La presente propuesta de georreferenciación tiene como principal objetivo el que la misma pueda utilizarse en una conversación oral y cotidiana entre el común de la gente, sin dejar de ser un sistema de georreferenciación completo, universal, y no arbitrario.

Los sistemas de georreferenciación científicos utilizan denominaciones alfanuméricas para identificar biunívocamente puntos en el espacio, generalmente sobre la superficie de la Tierra. Posteriormente, utilizando esos puntos pueden definirse líneas, áreas, e incluso volúmenes. A estas abstracciones matemáticas de dimensiones 0, 1, 2 y 3, les son asociadas las entidades del mundo real, ya sean físicas, tales como ríos, costas, terrenos (en general de dimensiones no enteras según la geometría fractal) u otras definidas por convención, tales como límites, ejes, centros, etc. Dado que, como se dijo, en los sistemas de georreferenciación utilizados se parte de abstracciones matemáticas, es lógico que en estos sistemas la componente numérica tenga preponderancia, siendo la parte alfabética generalmente utilizada como fines de clasificación, indicando, por ejemplo, hemisferios ("N", "S", "E", "W", en sistema lat-lon), la celda en una grilla ("CF" en sistema GEOREF), o alguna clasificación arbitraria ("US.CA.SFO" en sistema WGRS). El "ajuste fino" que permite especificar el punto en cuestión, no obstante, siempre se realiza mediante el uso de números. En ninguno de los casos estudiados el uso de las letras cumple la función de facilitar su transmisión oral, siendo esta la única justificación del uso exclusivo de letras en GEOCOL.

En resumen, los sistemas de georreferenciación existentes adolecen de ciertas características que los hacen poco "amigables" para su utilización coloquial (oral y cotidiana), destacándose principalmente que utilizan números y definen entidades matemáticas abstractas.

La utilización de números en el ámbito cotidiano, tales como números de teléfono, códigos postales y documentos de identificación, es relativamente nueva en la Historia de la Humanidad, y surge, en general, de la necesidad de sistematizar y universalizar ciertas características de la información para proceder así a su organización, almacenamiento y recuperación por medios manuales o automáticos.
Sin embargo, la utilización de números de identificación en forma coloquial es muy limitada, ya que el cerebro humano no está preparado para mapear, organizar, almacenar ni recuperar información numérica de la misma manera en que lo está para la administración de información "nominal", o sea el manejo de los nombres. A modo de ejemplo podemos citar que para un ser humano es mucho más simple buscar un número de teléfono utilizando como índice el nombre de su dueño, mientras que para una computadora es más simple realizar la búsqueda en la dirección inversa. Por otra parte, la utilización de entidades matemáticas abstractas en la geografía es también relativamente reciente. En la antigüedad se definían entidades sin límites demasiado precisos, tales como "reino", "provincia", "valle", "bosque", "costa", "tierra", pasándose luego al nivel de "condado" ("shire"), "paraje", "pueblo", "parroquia", "barrio", "calle", etc. Cada denominación traía implícito un cierto nivel de detalle conocido por los interlocutores que intercambiaban esa información, el cual aportaba un significado extra en su utilización. La mayoría de los sistemas actuales de georreferenciación no contienen este elemento de "nivel de detalle" o "precisión", ya que por definición un punto matemático es a dimensional. Así, la "ubicación geográfica" de una ciudad muchas veces se sintetiza en un punto arbitrario incluido en ella.

Por lo expuesto se puede percibir que se produce una tensión entre los sistemas de georreferenciación, basados en la matemática, y las formas naturales de comunicación humana, que hasta el día de hoy no ha sido resuelta, a consecuencia de lo cual la mayoría de la gente no utiliza en su vida cotidiana formas de georreferenciación sistematizada: *"- Hola, Roberto, nos encontramos en cincuenta y cuatro grados cuarenta y ocho minutos treinta y siete coma treinta y tres segundos latitud sur sesenta y ocho grados diecinueve minutos treinta y ocho coma sesenta y cinco segundos longitud oeste."*

Si no más bien, métodos de georreferenciación informal, que deben ser definidas y adaptadas de acuerdo con el conocimiento previo del interlocutor: *"- Hola, Roberto, nos encontramos en la oficina de Área Técnica del IPV, en Francisco González Nº 651, yendo por Gobernador Paz, pasando dos cuadras la rotonda de la EPET, doblando a la derecha, un edificio verde de techo clarito... "*

En este trabajo se expone la metodología que permite armonizar ambos sistemas, escondiendo la complejidad matemática detrás de una denominación coloquial muy simple, y fácilmente utilizable: *"- Hola, Roberto, nos encontramos en denopilo pomenolo."*

Objetivos.

El principal objetivo de este trabajo es proponer un sistema de georreferenciación que pueda ser utilizado en forma coloquial para cualquier aplicación práctica, permitiendo de esta manera utilizar transmisión oral y escrita de información georreferenciada.

Para la definición del sistema se han adoptado las siguientes premisas básicas:

1. Que sea simple.
2. Que abarque todo el planeta ("completo").
3. Que minimice las definiciones arbitrarias.
4. Que no utilice números.
5. Que sea posible implementarle en la mayor cantidad posible de idiomas ("universal").
6. Que defina áreas de diferentes tamaños, y no puntos a dimensionales.
7. Que permita trabajar con niveles de detalle prácticos para la vida cotidiana.
8. Que el nivel de detalle de las áreas descriptas esté implícito en el nombre de dichas áreas.
9. Que permita determinar fácilmente relaciones espaciales entre áreas definidas.

2.2. Antecedentes.

Sistemas de georreferenciación.

Existen numerosos sistemas de georreferenciación utilizados en diferentes ámbitos, con diferentes objetivos y campos de aplicación. Mencionaremos brevemente algunos de estos sistemas, citando de la bibliografía un ejemplo de la aplicación de cada uno:
-Sistema: lat-lon. Descripción: Sistema básico de coordenadas esféricas que arbitrariamente toma como origen de coordenadas el cruce del ecuador con el meridiano de Greenwich. Ejemplo: 54° 50' 41,50" S 68° 33'41,77" W

-Sistema: UTM. Descripción: Estandarización del sistema de proyección "Transversal Mercator". Ejemplo: Zone 19 F 528152 3922384

-Sistema: c-squares. Descripción: Estandarización de un sistema de grillas anidadas, basado en la grilla de la "World Meteorological Organization". Ejemplo: 7311:249:248:132:456:486:226:498

-Sistema: British National Grid. Descripción: Sistema de grillas sólo definidas para las islas que componen el Reino Unido. Ejemplo: NZ3460013400

-Sistema: Irish National Grid. Descripción: Sistema de grillas sólo definidas para la isla de Irlanda.Ejemplo: O1600043000

-Sistema: WGRS (GEOREF). Descripción: Sistema alfanumérico de grillas utilizado por la aviación. Los primeros dos pares de letras definen una celda y subcelda dentro de una grilla mundial, mientras que los siguientes números definen la posición dentro de la subcelda. . Ejemplo: FJHA1516

-Sistema: Military Grid Reference (MGRS). Descripción: Sistema de grilla derivado del UTM, el cual es utilizado por el Ejército de los EEUU. Ejemplo: 14RPU2116149894

-Sistema: ECEF X, Y, Z. Descripción: Sistema de coordenadas ortogonales cuyo origen se encuentra en el "Centro de la Tierra". Ejemplo: X=-742507,1 Y=-5462738,5 Z=3196706,5.

Cada uno de estos posee sus virtudes y sus limitaciones. Sin embargo, todos tienen en común la gran dificultad que presenta su utilización en forma coloquial.

Haré mención más particular de uno de los intentos por reconciliar a los sistemas tradicionales con los de "uso cotidiano", que es el "Nuevo Sistema Mundial de Referencia Geográfica" ("New World Geographic Reference System") propuesto por Keith C. Clarke, Peter H. Dana, y Jordan T. Hastings. En palabras de los autores (traducción libre): "El Nuevo Sistema Mundial de Referencia Geográfica logra un compromiso entre el uso dominante de números en los sistemas científicos de coordenadas ya establecidos, y la preferencia coloquial en la vida cotidiana por nombres, particularmente nombres de unidades administrativas y lugares poblados."

Para lograrlo, los autores proponen la implementación de grillas cuadradas estandarizadas de 100 km de lado, las cuales deben estar vinculadas a entidades físicas o culturales reconocibles, las cuales son elegidas arbitrariamente. Posteriormente el nombre de esas entidades es convenientemente codificado para su utilización en el sistema. Cada una de esas grillas está compuesta por sub-grillas anidadas de 10 unidades por lado, sin límite de anidación establecido, definiéndose sucesivamente de esta manera celdas de lado 10 km, 1 km, 100 m, 10 m, 1 m, 10 cm, etc.

Uno de los importantes aportes de esta metodología consiste, justamente, en que la precisión de la ubicación se deduce de la longitud de su denominación codificada. De esta manera:

- US.DC.WAS define una celda de 10 km de lado (grilla máxima).
- US.DC.WAS.23 define una celda de 1 km de lado (ubicada en el cuadrante 2-3).
- US.DC.WAS.23.67 define una celda de 100 m de lado (ubicada en el sub-cuadrante 6-7 del cuadrante 2-3).

No obstante las evidentes ventajas de esta propuesta, la misma no ha logrado desprenderse de algunas de las limitaciones propias de los sistemas que intenta reemplazar. En particular identificaré como desventajas las siguientes:

- La selección de la ubicación de grillas es arbitraria, por lo que requiere la existencia un noménclator geográfico (gazetteer) internacional, con los consabidos problemas que generalmente acarrea el establecimiento de una "autoridad única".
- Utiliza el nombre de "entidades físicas o culturales reconocibles", pero codificado, atentando así contra su utilización coloquial.
- Utiliza números.

Creación y uso de nuevas palabras.

Dado que GEOCOL genera un nombre para cada área, siendo en teoría infinita la cantidad de nombres que pueden llegar a crearse, es importante tomar en consideración la capacidad de la mente humana para mapear y procesar esa información.

Si bien un estudio más profundo del tema excede los alcances de este trabajo, es interesante citar el antecedente que brinda el trabajo del psicólogo alemán Hermann Ebbinghaus (1850–1909), quien realizó experimentos de memorización de palabras formadas por la secuenciación aleatoria de alrededor de 2.300 sílabas diferentes. Como resultado de sus experiencias, Ebbinghaus estableció una correlación entre la cantidad de veces que debía repetir las palabras sin sentido, y la capacidad de retención de las mismas en la memoria. Podemos concluir, para los fines de GEOCOL, que la repetición de una nueva palabra es lo que genera el "cableado mental" que permite luego dotarla de significado.

Distintos casos de georreferenciación en la vida cotidiana.

A) Georreferenciación tradicional a nivel local planificada: Ciudad de Ushuaia, República Argentina.

A continuación se expondrá brevemente el caso de Ushuaia, en donde la Municipalidad de la ciudad está buscando darle utilidad cotidiana al sistema de georreferenciación tradicional "lat-lon".

Con esa finalidad se están incluyendo en todas las nuevas señalizaciones de calles las coordenadas correspondientes a esa ubicación, tal como se puede observar en la Figura 1-34.



Figura 1-34. Nueva señalización de calles en la ciudad de Ushuaia.

Sin embargo, la Municipalidad de Ushuaia no ha realizado ninguna comunicación oficial, campaña publicitaria, u otra forma de difusión de los objetivos y metodologías de esta implementación. Se presume que mediante la misma se intenta vincular el sistema de georreferenciación local (nombres de calles), el cual es desconocido para los turistas, a un sistema "universal", y de esta manera permitir a los visitantes intercambiar información con otras personas y facilitar así la ubicación de servicios o puntos de interés de la ciudad.

A los fines prácticos y cotidianos, esta medida ha pasado totalmente inadvertida para la población local, y hasta donde se pudo indagar, también para los turistas que visitan la ciudad. Es de destacar que esta medida podría ser mucho más eficaz si en lugar del sistema "lat-lon" se utilizara un sistema como el propuesto en el presente trabajo, en el que la esquina de la figura 1-34 se llamaría simplemente "denojutu pomeletu", siendo ese nombre único a nivel mundial.

B) Georreferenciación coloquial a nivel local no planificada: Ciudad de La Plata, República Argentina.

En forma contrapuesta al caso anterior, se presenta un caso de implementación "no planificada" de un sistema de georreferenciación coloquial a nivel local: El de la ciudad de La Plata. La ciudad de La Plata fue fundada en el año 1882 con la finalidad de convertirse en la capital de la Provincia de Buenos Aires, función que hasta ese momento cumplía la entonces Ciudad de Buenos Aires. Esta "nueva ciudad" fue diseñada siguiendo preceptos del Higienismo y el Racionalismo de la época. De esta manera se estableció básicamente una cuadrícula de calles ortogonales, con amplias avenidas separadas cada seis calles, y plazas en las intersecciones de esas avenidas. La traza urbana resultante puede observarse en la Figura 1-35. Para la designación de las calles se estableció un sistema mixto de números y nombres, tal cual se puede observar en las antiguas señales de calles que aún quedan en los sectores más antiguos de la ciudad (figura 1-36).

Con el tiempo, no obstante, los nombres de las calles fueron cayendo paulatinamente en desuso, llegando a utilizarse para identificarlas exclusivamente los números de las calles, tal como puede observarse en la Figura 1-37.

Debido a la regularidad de su traza, es fácil para una persona que ha vivido un cierto tiempo en el lugar, comenzar a establecer relaciones entre esquinas conocidas y otras desconocidas, del tipo "dos cuadras para allá, y tres cuadras para allá de la esquina del club…". Luego de pocos meses de interacción con la ciudad, cualquier persona puede fácilmente identificar cualquiera de las más de 1.500 esquinas de la ciudad. Es interesante que la ciudad de La Plata, a diferencia de otras ciudades de tamaño similar no tiene una fuerte estructura de "barrios", pues esta estructura cumple en general una función de georreferenciación intermedia entre ciudad y calle, que resulta innecesaria en este caso. En contraposición, la ciudad de Ushuaia, que ha crecido en forma anárquica y caótica tiene una estructura muy fuerte de barrios, en general de unas pocas hectáreas de superficie cada uno.

No obstante las claras ventajas para los pobladores de la ciudad de La Plata, el sistema suele ser sumamente confuso para quienes no viven habitualmente en ella, por la dificultad inherente de la "persona común" a utilizar números en lugar de nombres.

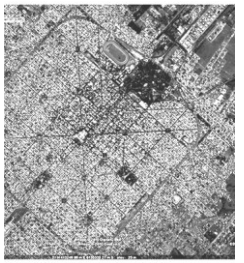


Figura 1-35. Trama urbana de la ciudad de La Plata.

Fuente: Google Earth.

Para la designación de las calles se estableció un sistema mixto de números y nombres, tal cual se puede observar en las antiguas señales de calles que aún quedan en los sectores más antiguos de la ciudad (figura 1-36).



Figura 1-36. Números y nombres originales de las calles ciudad de La Plata.

Fuente: "Las Calles de LA PLATA" (http://nomenclaturas.blogspot.com/)

Con el tiempo, no obstante, los nombres de las calles fueron cayendo paulatinamente en desuso, llegando a utilizarse para identificarlas exclusivamente los números de las calles, tal como puede observarse en la figura 1-37



Figura 1-37. Denominación coloquial de las calles en la ciudad de La Plata.

Fotografía: Arq. Rocío Salas Giorgio.

Debido a la regularidad de su traza, es fácil para una persona que ha vivido un cierto tiempo en el lugar, comenzar a establecer relaciones entre esquinas conocidas y otras desconocidas, del tipo "dos cuadras para allá, y tres cuadras para allá de la esquina del club…". Luego de pocos meses de interacción con la ciudad, cualquier persona puede fácilmente identificar cualquiera de las más de 1.500 esquinas de la ciudad. Es interesante que la ciudad de La Plata, a diferencia de otras ciudades de tamaño similar no tiene una fuerte estructura de "barrios", pues esta estructura cumple en general una función de georreferenciación intermedia entre ciudad y calle, que resulta innecesaria en este caso. En contraposición, la ciudad de Ushuaia, que ha crecido en forma anárquica y caótica tiene una estructura muy fuerte de barrios, en general de unas pocas hectáreas de superficie cada uno. No obstante las claras ventajas para los pobladores de la ciudad de La Plata, el sistema suele ser sumamente confuso para quienes no viven habitualmente en ella, por la dificultad inherente de la "persona común" a utilizar números en lugar de nombres.

B) La orientación georreferenciada: Tribu Guugu Yimithirr, Australia

Una de las características del sistema propuesto en este trabajo, es que los nombres de los puntos tienen incluida en forma implícita su posición cardinal relativa respecto a otros puntos, como se explicará más adelante. Es probable que la utilización recurrente del sistema en la vida cotidiana produzca como resultado, no solo una georreferenciación, sino una "orientación", que incluso puede llegar a percibirse como intuitiva para quienes la utilicen.

Existen pocos casos de "orientación" absoluta, siendo quizás el más conocido el de los integrantes de la tribu australiana "Guugu Yimithirr", quienes en su lenguaje utilizan orientaciones absolutas (norte, sur, este, oeste) en lugar de relativas (derecha, izquierda, adelante, atrás). De esta manera, en la lengua de esta tribu no se dice "el árbol que está a mi derecha", sino "el árbol que está a mi oeste"".

Hay varias teorías que intentan explicar cómo estas personas logran desarrollar esa capacidad, que parece ser independiente de hitos o referencias geográficas. A primera vista ese mecanismo no guardaría relación directa con el objeto de este trabajo, sin embargo, se cita este ejemplo para mostrar que quizás exista una capacidad de orientación latente en los seres humanos, y tal vez, mediante la utilización cotidiana de un sistema como el propuesto, dicha capacidad pueda llegar a desarrollarse.

3. Metodología propuesta

La base del sistema GEOCOL consiste en una grilla mundial de 60 unidades por lado, lo que define 3.600 (602) celdas. Esta grilla se denomina "1s". En cada una de las celdas así definidas se aplica una nueva grilla de 60 unidades por lado, denominada grilla "2s". La metodología se repite, definiendo cada vez celdas de superficie menor, sin límite teórico, pero con un alcance práctico, a los fines de la georreferenciación coloquial, en las grillas "4s". La elección del tamaño de lado de la grilla surge de establecer los siguientes niveles de detalle que se consideran de utilidad práctica:

- País pequeño – Provincia – Estado.
- Ciudad pequeña – Barrio.
- Manzana – Intersección de calles – Área en que dos personas pueden verse.
- Área de encuentro – Precisión de los GPS comerciales.

Dado que el "ancho" de las celdas está definido por meridianos, éste varía con la latitud. En la tabla 1-10 se ha calculado con fines ilustrativos la superficie de las celdas correspondientes a las grillas "1s", "2s", "3s", "4s", y "5s", ubicadas en una latitud de 30°, obteniéndose:

- Celda de grilla 1s: 192.450 km^2 (País – Provincia – Estado.)
- Celda de grilla 2s: 53,45 km^2 (Ciudad pequeña – Barrio.)
- Celda de grilla 3s: 1,48 Ha (Manzana – Intersección de calles – Área en que dos personas pueden verse.)
- Celda de grilla 4s: 4,1 m^2 (Área de encuentro – Precisión de los GPS comerciales.)
- Celda de grilla 5s: 11,45 cm^2 ("Punto", para la mayoría de los fines prácticos.)

La utilización de la base 60 también permite facilitar una correlación con el sistema "lat-lon", ya que las celdas GEOCOL tendrán las siguientes dimensiones medidas en grados "lat-lon":

- Celda de grilla 1s: 6° x 3°
- Celda de grilla 2s: 6' x 3'
- Celda de grilla 3s: 6" x 3"
- Celda de grilla 4s: 0,1" x 0,05"

Hasta este punto el sistema GEOCOL es un sistema de grillas anidadas que no se diferencia de otros sistemas existentes. Lo novedoso, sin embargo, es la forma en que se designa cada una de las celdas, utilizando "nombres coloquiales" en lugar de "números" o "códigos".
Para generar esos nombres coloquiales (o "coloquializables", valga el neologismo) se utilizan sesenta sílabas diferentes que se forman combinando doce consonantes convenientemente seleccionadas y las cinco vocales elementales del español. Para la elección de las doce consonantes a utilizar se descartaron aquellas cuyo sonido es similar o puede confundirse con el de otra consonante ("v", "c", "z", "q", etc.), quedando las siguientes: "b", "ch", "d", "f", "j", "k", "l", "m", "n", "p", "s", "t"

La descripción fonética de las doce consonantes seleccionadas y de las cinco vocales puede observarse en la tabla 1-11 y en la tabla 1-12, respectivamente. Las mismas se incluyen a fin de poder establecer la metodología en lenguajes no románicos.
Es fundamental para la metodología que se establezca una pronunciación única independiente del lenguaje de quien la utilice. Por ejemplo, las vocales elementales del español, "a", "e", "i", "o", y "u", deberían ser pronunciadas por los angloparlantes como si estuvieran escritas "ah", "eh", "ee", "oh", y "oo". En definitiva, las sesenta sílabas básicas que utiliza el sistema GEOCOL son:
"ba", "be", "bi", "bo", "bu", "cha", "che", "chi", "cho", "chu", "da", "de", "di", "do", "du",
"fa", "fe", "fi", "fo", "fu", "ja", "je", "ji", "jo", "ju", "ka", "ke", "ki", "ko", "ku",
"la", "le", "li", "lo", "lu", "ma", "me", "mi", "mo", "mu", "na", "ne", "ni", "no", "nu",
"pa", "pe", "pi", "po", "pu", "sa", "se", "si", "so", "su", "ta", "te", "ti", "to", "tu"

Con estas sílabas se nombra cada columna y fila de la grilla, por lo que cada celda queda así definida por dos sílabas. En la figura 1-38 puede observarse la grilla "1s" con sus nombres de fila y columna.

Tabla 1-10. Tamaño de las celdas correspondientes al paralelo 30°.

Grilla:	1s	2s	3s	4s	5s
Long. N-S:	333,33 km	5,55 km	92,59 m	1,54 m	**2,57 cm**
Long. E-O:	577,35 km	9,62 km	160,37 m	2,67 m	**4,45 cm**
Superficie:	**192.450 km²**	**53,45 km²**	**1,48 Ha**	**4,1 m²**	**11,45 cm²**

Tabla 1-11. Descripción fonética de las consonantes utilizadas.

[b] **Oclusiva bilabial sonora**	[ch] **Africada palatal sorda**	[d] **Oclusiva dental sonora**	[f] **Fricativa labiodental sorda**
[j] **Fricativa velar sorda**	**[k]** Oclusiva velar sorda	**[l]** Lateral alveolar sonora	[m] **Nasal bilabial sonora**
[n] **Nasal alveolar sonora**	[p] **Oclusiva bilabial sorda**	[s] **Fricativa alveolar sorda**	[t] **Oclusiva dental sorda**

Tabla 1-12. Descripción fonética de las vocales utilizadas.

[a] **Abierta [a]**	[e] **Semicerrada anterior no redondeada**	[i] **Cerrada anterior no redondeada**	[o] **Semicerrada posterior redondeada**	[u] **Cerrada posterior redondeada**

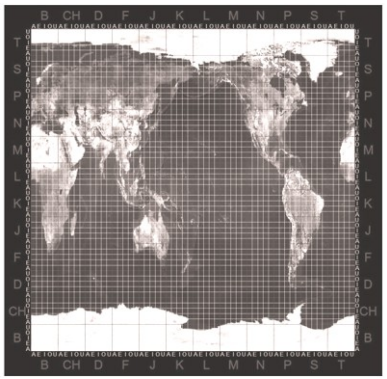


Figura 1-38. Grilla básica del sistema GEOCOL.

Se puede observar en la figura 1-39 la aplicación gráfica de la metodología propuesta y sus resultados, la cual se describe en forma teórica a continuación:

Etapa 1: Conversión de "lat-lon" a sistema decimal

Se establece el origen del "sistema decimal" ([0,1] [0,1]) en las coordenadas 90° S (polo sur) y 0° E (meridiano de Greenwich), y se adopta la siguiente convención que reemplaza a las letras que identifican a los hemisferios: N: 0° a 90°, S: -90° a 0°, E: 0° a 180°, y W: -180° a 0°.

La latitud decimal (Lat10) se calcula como: $$\mathrm{Lat}_{10} = \frac{(\mathrm{Lat} + 90^{\circ})}{180^{\circ}}$$

Mientras que la longitud decimal (Lon10) se calcula como:

Si Lon ≥ 0°: $\mathrm{Lon}_{10} = \frac{\mathrm{Lon}}{360^{\circ}}$ Si Lon < 0° $\mathrm{Lon}_{10} = \frac{(\mathrm{Lon} + 360^{\circ})}{360^{\circ}}$

Etapa 2: Conversión del sistema decimal al sexagesimal

En forma genérica: Tomando D0 = 0 y siendo X, Lat10 o Lon10 alternativamente,

$$D_i = \left\lfloor \left(X - \sum_{j=0}^{i-1} \left(\frac{Dj}{60^j} \right) \right) \times 60^i \right\rfloor$$

Notación: $\lfloor A \rfloor$ indica "parte entera de A"

Etapa 3: Asignación de sílabas del sistema GEOCOL

Finalmente se procede a asignar las sílabas correspondientes a cada Di (excluyendo D0), tanto para la latitud (primera palabra) como para la longitud (segunda palabra):

0: ba
1: be
2: bi
.
.
.
57: ti
58: to
59: tu

Se forma, de esta manera, el nombre correspondiente a un área que incluye el punto de partida "lat-lon". El tamaño de dicha área se define por la cantidad de sílabas que se adopten a priori. En el Apéndice I puede encontrarse un ejemplo práctico de aplicación de esta metodología.

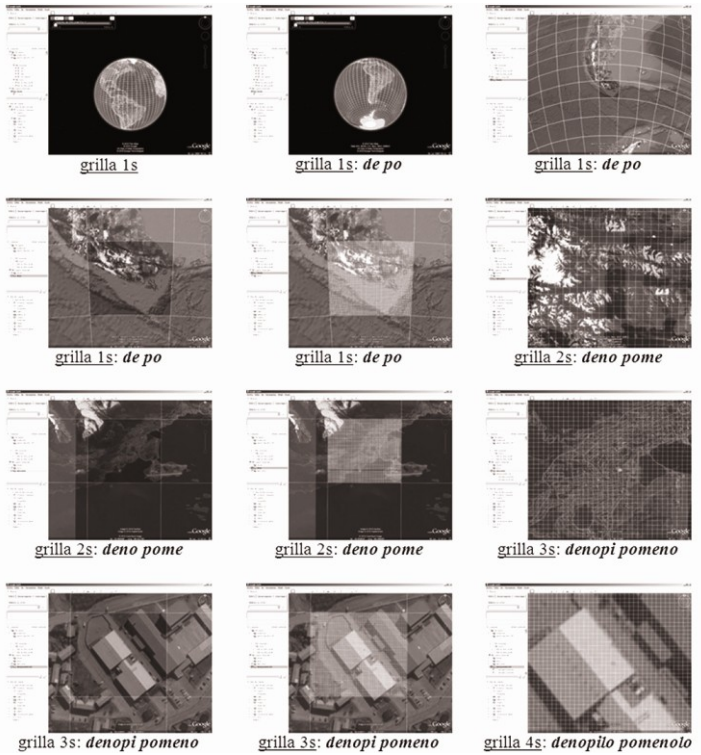


Figura 1-39. Aplicación secuencial de la metodología GEOCOL.
Fuente: Google Earth.



Figura 1-40. Comparación entre el tamaño de la grilla "3s" y la intersección de las calles, Ciudad de Ushuaia.

Fuentes: Imagen satelital tomada de Google Earth. Grilla generada por el autor.

4. Resultados

Puede observarse que el sistema propuesto cumple con todas las premisas básicas enumeradas en el apartado "Objetivos", restando solamente mostrar cómo se cumple aquella que dice: "Que permita determinar fácilmente relaciones espaciales entre áreas definidas".

La relación espacial de "posición relativa" entre dos celdas se obtiene ordenando las partes de su nombre alfabéticamente. Por ejemplo: Considerando las celdas "s4" "*denopilo pomenolo*" y "*denopidi pometuba*" puede deducirse que por ser "*denopidi"* alfabéticamente anterior a "*denopilo",* esa celda está más al sur que ésta, y que siendo "pometuba" alfabéticamente posterior a "*pomenolo",* aquella se encuentra más al este que ésta. En resumen, se deduce que la celda "*denopidi pometuba*" está más al sur y más al este que la celda "*denopilo pomenolo*".

Por su parte, la relación de "inclusión" entre dos celdas de diferente nivel jerárquico se verifica al comparar el comienzo de ambas palabras que forman los nombres de las celdas en consideración: P. Ej. La celda "s4" llamada "*denopilo pomenolo*" está incluida en las celdas "3s" llamada "*denopi pomeno*", la "2s" llamada "deno pome", y la "1s" llamada "de po

5. Discusión y valoración de hallazgos

A continuación se compara la georreferenciación mediante el sistema GEOCOL con la obtenida mediante varios de los sistemas de georreferenciación existentes:

Ubicación: Cascada del Río Lapataia, Tierra del Fuego, Argentina
Coordenadas: 54° 50' 41,50" S 68° 33'41,77" W
Denominación lat-lon: **54° 50' 41,50" S 68° 33'41,77" W**
Denominación UTM: ***Zone 19 F 528152 3922384***
Denominación GEOCOL: ***denocheda polujobi***

Ubicación: Centro del Monumento a Washington, Washington DC, EEUU
Coordenadas: 38° 53' 22,08" N 77° 2' 6,86" W
Denominación newWGRS: ***US.DC.WAS.54.18.28.83.11***
Denominación GEOCOL: ***nitipije pichumose***

Ubicación: Middleton St. George, Reino Unido
Coordenadas: 54° 30' 52,55" N 1° 27' 55,75" W
Denominación British National Grid: ***NZ3460013400***
Denominación GEOCOL: ***podafile tupajani***

Ubicación: Aeropuerto de Dublín, Irlanda
Coordenadas: 53° 25' 27,66" N 6° 15' 17,46" W
Denominación Irish National Grid: ***O1600043000***
Denominación GEOCOL: ***pipokudo totikicha***

Son evidentes las ventajas que este nuevo sistema tiene para su utilización en forma coloquial, no obstante, quedan pendientes de análisis algunos aspectos que podrían permitir perfeccionar el sistema propuesto, enumerándose, entre otros, los siguientes:

- ¿Es acertada la selección de las vocales y consonantes, considerando la implementación del sistema en otros idiomas?
- ¿Es conveniente que existan pocos niveles de detalle y mantener así los nombres de celda cortos, o permitir mayor cantidad de niveles y utilizar nombres de celda más largos?
- ¿Es conveniente utilizar un formato que conserve la separación entre latitud longitud en los diferentes niveles ("A-E", "AB-EF", "ABC-EFG", "ABCD-EFGH") favoreciendo la identificación intuitiva de la posición relativa entre celdas, o adoptar un formato en que las latitudes y longitudes se intercalen en cada nivel ("AE", "AEBF", "AEBFCG", "AEBFCGDH"), favoreciendo de esta manera la relación intuitiva de inclusión jerárquica entre celdas?

6. Conclusiones

El sistema GEOCOL presentado en este trabajo promete hacer un aporte para cerrar esa brecha, haciendo que la georreferenciación coloquial pueda utilizarse en ámbitos novedosos. Es evidente que la implementación de este sistema requerirá su incorporación en las herramientas electrónicas e informáticas, existentes y futuras, como ser receptores GPS, aplicaciones en redes sociales, artículos de enciclopedias on-line, programas del tipo "Google Earth" y otros servidores de mapas y cartografía en general. No obstante, mucho puede lograrse en esta dirección simplemente si se comenzara a incluir las grillas GEOCOL en la cartografía impresa, como ser cartas de navegación, planos de calles, mapas de rutas, así como su inclusión en la señalización urbana.

Las aplicaciones potenciales del sistema GEOCOL son innumerables. Como se dijo, el principal objetivo es su utilización para los usos cotidianos de la gente común, y en ese sentido el sistema podría ser utilizado en forma inmediata para identificar intersecciones de calles, ubicación de viviendas, comercios, infraestructura de transporte, etc. En principio podría complementarse con los sistemas actuales, sin demasiada dificultad, para ir reemplazándolos naturalmente con el paso del tiempo. Sería verosímil, incluso, que algunas personas decidieran utilizar las ubicaciones de sus negocios directamente como nombre del mismo: "Zapatería Mekomasi Nokonule"

Sería de esperar que este sistema sufra adaptaciones para su utilización acotada, ya que seguramente se truncarían las primeras consonantes para su uso dentro de un sector determinado. Así, para todos los que viven en "meko noko" (México D.F.), sería muy fácil identificar la ubicación de la "Zapatería Masi Nule". Además de estas aplicaciones cotidianas, el sistema podría ser igualmente utilizado para actividades recreativas de toda clase, como ser navegación marítima, trekking, o geocaching. Sin embargo, el sistema no estaría limitado a estas aplicaciones "no técnicas", sino que perfectamente podría ser utilizado con finalidades científicas, especialmente en ámbitos en los que la Matemática de la georreferenciación resulta un "mal necesario", como ser la Arqueología, la Biología, y las Ciencias de la Tierra en general.

Otros sistemas de georreferenciación de fines específicos también pueden convivir con el GEOCOL. Las Fuerzas Armadas pueden verse beneficiadas por usar un sistema que permitirá transmitir información georreferenciada en condiciones poco favorables, válido tanto para ser usado por medios digitales, analógicos, escritos, u orales. La aeronáutica por su parte también podría reemplazar su sistema actual por GEOCOL, siendo para la mayoría de las finalidades prácticas necesario un nivel de grilla "3s". Uno de los aspectos interesantes de GEOCOL es su independencia del idioma de quien lo utiliza. De esta manera se convierte en una especie de "esperanto geográfico" que podría resultar sumamente útil en el manejo de emergencias y catástrofes, especialmente en aquellas de tal magnitud que requieren asistencia internacional.

Este sistema también podría servir de ayuda a personas con discapacidades físicas. Por ejemplo, podría ser implementado en un navegador satelital para personas invidentes que le notificara verbalmente al usuario su ubicación instantánea, ya sea a demanda de éste o en forma automática al pasar de una celda a otra. Finalmente, y llevando las cosas al extremo, no sería del todo ilógico pensar que con el transcurso del tiempo, y la popularización de GEOCOL, esta metodología podría llegar a invadir el terreno de la toponimia. De ocurrir esto, en un futuro nos enteraríamos por las noticias de que ciertos escaladores hicieron cima en el monte "Mufupa Dukuke".

En conclusión, la incorporación de un sistema de georreferenciación coloquial en la vida cotidiana de las personas generará una nueva forma de pensar en términos geográficos, lo que seguramente abrirá las puertas para encontrar soluciones a problemas que aún no hemos reconocido.

Referencias bibliográficas

Burger, J. (2009): Fundamentals Human Memory Modeled with Standard Analog and Digital Circuits: Inspiration for Man-made Computers. USA, John Wiley and Sons.

Clarke, K., Dana, P. y Hastings, J. (2002): "A New World Geographic Reference System", Cartography and Geographic Information Science Vol. 29, N° 4, pp. 355-362.

Dana, P. (1999): Coordinate Systems Overview. Department of Geography, University of Texas, Austin. Disponible en http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/coordsys/coordsys.html

Kuipers, B. (1978) "Modeling Spatial Knowledge". Cognitive Science 2, pp. 129-153

Haviland, J. (1998): "Guugu Yimithirr Cardinal Directions" Ethos 26 1, pp. 25-47. Disponible en http://www.anthro.ucsd.edu/~jhaviland/Publications/ETHOSw.Diags.pdf

Hill, L. (2006): Georeferencing: The Geographic Associations of Information. Cambridge, Mass.The MIT Press.

Hong, J., Egenhofer, M. y Frank, A. (1995). "On the Robustness of Qualitative Distance- and

Direction-Reasoning", Proceedings of Auto-Carto 12, pp. 301-310. Disponible en http://www.mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-12/pdf/on-the-robustness-of-qualitative-distance-and-direction-reasoning.pdf

Laurini, R. Y Thompson, D. (1992): Fundamentals of Spatial Information Systems. Londres, Academic Press.

Vigliocco, M. (1995): Urbanización y planeamiento. Buenos Aires, Civilidad.

Apéndice I. Ejemplo de aplicación de la metodología

Etapa 1: Conversión de lat-lon a sistema decimal

Dadas las coordenadas de un punto en el sur del Pacífico: Lat: 45° 17' 26,43" S y Lon: 128° 23' 53,12" W

Latitud: 45° 17' 26.43" S => -45° 17' 26.43" => -45.29065° $\text{Lat}_{10} = \frac{(-45.29065° + 90°)}{180°} = 0.248385278$

Longitud: 128° 23' 53.12" W => -128° 23' 53.12" => -128.398089° Lon < 0° $\text{Lon}_{10} = \frac{(-128.398089° + 360°)}{360°} = 0.643338642$

Etapa 2: Conversión del sistema decimal al sexagesimal $X = \text{Lat}_{10} = 0.248385278$

$$D_0 = 0$$
$$D_1 = \left\lfloor \left(0.248385278 - \frac{0}{60^0}\right) \times 60^1 \right\rfloor = 14$$
$$D_2 = \left\lfloor \left(0.248385278 - \left(\frac{0}{60^0} + \frac{14}{60^1}\right)\right) \times 60^2 \right\rfloor = 54$$
$$D_3 = \left\lfloor \left(0.248385278 - \left(\frac{0}{60^0} + \frac{14}{60^1} + \frac{54}{60^2}\right)\right) \times 60^3 \right\rfloor = 11$$
$$D_4 = \left\lfloor \left(0.248385278 - \left(\frac{0}{60^0} + \frac{14}{60^1} + \frac{54}{60^2} + \frac{11}{60^2}\right)\right) \times 60^4 \right\rfloor = 13$$

Luego, haciendo los cálculos correspondientes a la longitud $X = \text{Lon}_{10} = 0.643338642$
Obtenemos: $D_0 = 0$, $D_1 = 38$, $D_2 = 36$, $D_3 = 1$ y $D_4 = 8$

Etapa 3: Asignación de sílabas del sistema GEOCOL

Lat:	Lon:
14: du	38: mo
54: su	36: me
11: de	1: be
13: do	8: cho

En conclusión: El punto de coordenadas Lat: 45° 17' 26,43" S Lon: 128° 23' 53,12" W estaría dentro de la celda "s4" llamada "dusudedo momebecho"

RECUPERACIÓN SEMÁNTICA DE INFORMACIÓN BASADA EN PERFILES DE USUARIO APLICADO A SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN

Ivan Ruiz Salazar[1]; Marco A. Moreno Ibarra[2]; José G. Guzmán Lugo[3]

RESUMEN

Los Servicios Basados en Localización (LBS) utilizan la posición geográfica para proporcionar información sobre una región. Sin embargo, los usuarios no siempre reciben resultados relevantes de acuerdo con sus preferencias. La metodología se compone de 3 etapas: 1) Conceptualización, consiste en construir una ontología donde se identifican propiedades, relaciones y las entidades involucradas, con lo que se realiza la descripción del domino, 2) Caracterización del usuario, se basa en identificar la información contextual que define las preferencias del usuario sobre la ontología, con lo que se define el perfil y 3) Recuperación, tiene como propósito encontrar los datos geográficos que son relevantes para el usuario con base en mediciones de similitud semántica, aplicadas entre el perfil y los datos disponibles en el área de interés. El caso de estudio incluye un fragmento de la Ciudad de México, la modelación de los perfiles de usuario para diversos servicios de emergencia involucrados en la mitigación de los efectos de un terremoto.

Palabras clave: Recuperación de Información, Perfil de Usuario, Ontología.

SEMANTIC INFORMATION RETRIEVAL BASED ON USER PROFILES FOR LOCATION BASED SERVICES

ABSTRACT

Location Based Services (LBS) are basedon the location to retrieve specific information about a geographic area. We are proposing a method to retrieve relevant information for a specific user, because frequently they not always receive relevant results according to their preferences. The methodology consists of 3 stages: 1) Conceptualization, it is oriented to build an ontology which identifies properties, relations and entities involved, in order to describe the domain, 2) Characterization of the user, it is based on identifying contextual information that to define the user's preferences on ontology, which defines the profile and 3) Retrieval, it is focused to find the geographic data that are relevant to the user based on a measurement of semantic similarity, applied between the profile and available data in the area of interest. The case study includes a fragment of Mexico City and the modeling of user profiles for various emergency services, which are involved in mitigating the effects of an earthquake

.***Keywords**: Information Retrieval, User Profile, Ontology.*

Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional. C.P. 07738, México D.F.1 rsalazara10@sagitario.cic.ipn.mx, 2 marcomoreno@cic.ipn.mx, 3 jguzmanl@cic.ipn.mx

1. Introducción:

Hoy en día, los Servicios Basados en Localización (Location Based Services, LBS), se encuentran en auge [Junglas y Watson, 2008], con esto surgen cada vez más necesidades dentro del desarrollo de esta geotecnología, como dar al usuario un servicio especializado considerando prioritariamente sus preferencias [Alsubaiee, 2010]. Las cuales se consideran para ponderar a los objetos geográficos, además de considerar la ubicación. En este trabajo propone una metodología enfocada hacia la incorporación de las preferencias del usuario para la recuperación semántica de información en un LBS, la cual se compone de 3 etapas: Conceptualización, Caracterización del usuario y la Recuperación. Con lo que se pretende llevar a cabo una recuperación personalizada en función del perfil de usuario. La metodología está enfocada principalmente en las actividades relacionadas con servicios de emergencia, por otra parte, se da pie para que su funcionamiento se pueda llevar de manera general al ámbito de los servicios publicitarios, juegos, turismo, ocio, comercio, seguridad, etc. El caso de estudio incluye un fragmento de la delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México.

El resto del artículo se organiza como sigue, el estado del arte y antecedentes se presentan en la sección 2. Mientras que la metodología y sus etapas se describen en la sección 3, los resultados preliminares aparecen en la sección 4 y las conclusiones se muestran en la sección 4.

2. Estado del arte

Dentro de las áreas relacionadas con este trabajo se encuentran la modelación del Perfil de Usuario (UP), la Recuperación de la Información (IR), los Servicios Basados en Localización (LBS) y la herramienta de las Ontologías. A continuación se expondrán algunos de los fundamentos de cada una de las áreas involucradas.

2.1 Servicios Basados en Localización

Los LBS son cualquier servicio que tome en cuenta la localización geográfica de una entidad [Junglas y Watson, 2008], se originan a partir de la intersección de tres tecnologías (figura 1-41), las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC) como el sistema de telecomunicaciones móviles y dispositivos de mano, de Internet y de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) con bases de datos espaciales [Shiode, 2004].

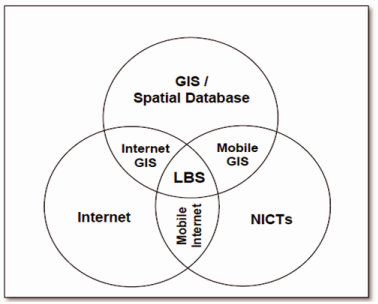


Figura 1-41. LBS como una intersección de tecnologías [Brimicombe 2002].

2.2 Recuperación de Información

La Recuperación de Información (RI) es "el conjunto de tareas mediante las cuales el usuario localiza y accede a los recursos de información que son pertinentes para la resolución del problema planteado" [CROFT, 1987].

Korfhage [KORFHAGE, 1997] definió la RI como "la localización y presentación a un usuario de información relevante a una necesidad de información expresada como una pregunta".

Los LBS ofrecen un servicio contestando preguntas como: *¿Dónde estoy?, ¿Qué está cerca?, ¿Cómo puedo ir?*

Se puede distinguir entre dos tipos de servicios de localización en función del la interacción del usuario con la información, los servicios Pull y los servicios Push.

Los servicios Pull ofrecen información requerida directamente del usuario, esto es similar a llamar a un sitio web en Internet *al* introducir la dirección en el campo de direcciones del navegador web, por otro lado se pueden ver como servicios funcionales, como pedir una ambulancia con sólo pulsar un botón en el dispositivo, o la información servicios, como la búsqueda de un hospital, clínica, módulos de atención ciudadana cercanos [Virrantaus, 2001].

Por otra parte, los servicios Push ofrecen información que está o no indirectamente solicitada por parte del usuario, estos servicios son activados por un evento, supongamos que nos encontramos de viaje y nos encontramos en una ciudad que no conocemos donde ocurre un terremoto, el servicio indirecto no solicitado podría brindar a partir del evento "terremoto" y en función de la localización del usuario, zonas

de seguridad cercanas, hospitales, albergues, etc., a diferencia de los servicios indirectos solicitados, donde por medio de una subscripción o una petición de servicios (puntos de interés, servicios de salud, oficinas federales) se despliegan en base a la localización del usuario.

Los LBS trabajan principalmente en base a la localización del usuario, tomando en cuenta los objetivos para los cuales se requiere brindar algún servicio, día a día se vuelven más robustos debido al crecimiento de las tecnologías de posicionamiento, las telecomunicaciones y de la Geotecnología, mostrando un panorama prometedor en el ámbito del desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica.

2.2 Recuperación de Información

La Recuperación de Información (RI) es "el conjunto de tareas mediante las cuales el usuario localiza y accede a los recursos de información que son pertinentes para la resolución del problema planteado" [CROFT, 1987]. Korfhage [KORFHAGE, 1997] definió la RI como "la localización y presentación a un usuario de información relevante a una necesidad de información expresada como una pregunta".

El proceso de RI se conforma de manera genérica por las siguientes fases [BELKIN y CROFT, 1987] resumidas en la figura 1-42:

1. Definición de las necesidades informativas del usuario.
2. Selección y ordenación de las fuentes a utilizar.
3. Traslación de las necesidades del usuario al lenguaje documental propio de la fuente a utilizar en cada caso. Es posible, además, encontrar fuentes en las que no se utilice ningún tipo de vocabulario controlado, en cuyo caso resultará necesario afinar el trabajo terminológico.
4. Traducción de la expresión de lenguaje documental al lenguaje de interrogación propio de cada sistema.
5. Ejecución de las expresiones del lenguaje de interrogación obtenidas.
6. Consulta de las respuestas obtenidas, para analizar su pertinencia o no a la cuestión planteada.
7. Replanteamiento, si procede, de las expresiones utilizadas, si los resultados obtenidos no son pertinentes.
8. Selección y obtención de los documentos que respondan a las necesidades manifestadas por el usuario.
9. Transmisión del resultado, preparado adecuadamente, al usuario.

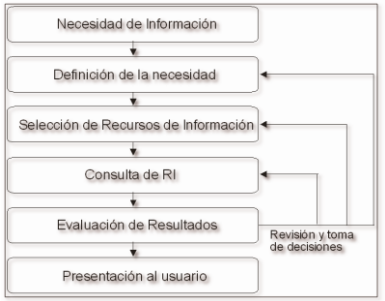


Figura 1-42. Proceso genérico de Recuperación de Información.

Existe una gran diferencia entre la Recuperación de Datos (DR) y la Recuperación de información (IR), Blair [BLAIR, 1990] quien ha resumido las diferencias utilizando como criterios las siguientes cuestiones:

1. Según la forma de responder a la pregunta: en DR se utilizan preguntas altamente formalizadas, cuya respuesta es directamente la información deseada. En RI las preguntas resultan difíciles de trasladar a un lenguaje normalizado, y la respuesta es un conjunto de documentos que pueden contener, sólo probablemente, lo deseado, con un evidente factor de indeterminación.
2. Según la relación entre el requerimiento al sistema y la satisfacción de usuario: en DR la relación es determinística entre la pregunta y la satisfacción. En IR es probabilística, a causa del nivel de incertidumbre presente en la respuesta.
3. Según el criterio de éxito: en DR el criterio a emplear es la corrección y la exactitud, mientras que en IR el único criterio de valor es la satisfacción del usuario, basada en un criterio personal de utilidad.
4. Según la rapidez de respuesta: en DR depende del soporte físico y de la perfección del algoritmo de búsqueda y de los índices. En IR depende de las decisiones y acciones del usuario durante el proceso de interrogación.

Para los propósitos de este trabajo, la IR se concentra en el contenido de la Base de Datos Espacial, donde en ella se encuentran acotados los objetos, teniendo definidos sus atributos por medio de la Conceptualización que se desarrolla en la primer fase, para que posteriormente sean analizados en base a las preferencias del usuario, depurando la información no relevante ofreciendo así la información requerida, relacionando los datos geográficos que son relevantes para el usuario con base en mediciones de similitud semántica, aplicadas entre el perfil y los datos disponibles en el área de interés.

2.3 Perfil de Usuario y Análisis de Funciones del Usuario

Usualmente, los Perfiles de Usuario se basan en el conocimiento o en el comportamiento. Enfoques basados en el conocimiento, generan modelos estáticos de los usuarios de forma dinámica, donde los usuarios coinciden con el modelo más cercano; para obtener el conocimiento de los usuarios con frecuencia se aplican entrevistas y cuestionarios.

El enfoque basado en el comportamiento utiliza el comportamiento del usuario como un modelo. Comúnmente se aplica el uso de técnicas de máquinas de aprendizaje para descubrir patrones útiles en el comportamiento. El registro del comportamiento se emplea para obtener los datos necesarios para poder extraer los patrones, Kobsa [Kobsa, 1993] proporciona un resumen de las técnicas de modelado de usuario.

Por otra parte el Análisis de Funciones del Usuario (UTA) tiene como objetivo producir un profundo conocimiento de las metas y planteamientos de los usuarios con sus tareas asociadas, la influencia de los conocimientos previos y experiencia en sus pensamientos y acciones, la influencia del entorno físico y las cualidades que más valora [Hackos y Redish 1998]. De esta forma, la fase UTA para la evaluación de usuario fue diseñada para aumentar el perfil de usuario, centrándose en la información geoespacial dadas las necesidades del usuario.

Para el Caso de Estudio nos enfocaremos a hacer un Análisis de Funciones del Usuario en el cual pondremos énfasis en las labores de el cuerpo de protección civil son instancia en el cuerpo de bomberos, realizando cuestionarios en función de el evento terremoto, obteniendo las necesidades especificas de información, construyendo un perfil útil para dicho evento que tendrá aplicación para la Recuperación de la Información dentro del sistema de Servicios Basados en Localización.

2.4 Ontología

Una ontología es una especificación explícita de una conceptualización [Gruber 1994]. Guarino y Giaretta nos dicen que es una conceptualización de un dominio dentro de la concepción humana, pero en un formato legible por la máquina, que consiste de entidades, atributos, relaciones y axiomas [Guarino y Giaretta 1995]. Las ontologías pueden proporcionar una rica conceptualización del dominio de trabajo de una organización, en representación de los principales conceptos y relaciones de las actividades de trabajo. Utilizamos el término ontología para hacer referencia a la estructura de clasificación y las instancias dentro de una base de conocimientos.

Una clasificación breve distingue entre ontologías de dos dimensiones, "la cantidad y el tipo de estructura de la conceptualización, y el tema de la conceptualización". Las Ontologías de Aplicación se encuentran dentro de la clasificación de segunda dimensión: en función del tema de la conceptualización. La noción de ontologías de aplicación se ha introducido en [Gennari 1994], con el fin de, la reducción de las brechas entre ontologías método y de dominio, y permitiendo que el experto del dominio utilice el mismo lenguaje adoptado en la aplicación, que puede ser diferente del lenguaje utilizado en la biblioteca de la ontología.

Dentro de la Caracterización del usuario se desarrollara una Ontología de Aplicación basada en la información contextual que dará la semántica y que se definió por medio de las preferencias del usuario (UP),para poder posteriormente ser procesada por la maquina y optimizar la Recuperación de la Información.

3. Metodología

La metodología propuesta se origina a partir de la necesidad de personalizar la información requerida por el usuario, esta se compone de 3 etapas (figura 1-43):

1. Conceptualización: consiste en construir una ontología donde se identifican propiedades, relaciones y las entidades involucradas, con lo que se realiza la descripción del domino.
2. Caracterización del usuario: se basa en identificar la información contextual que define las preferencias del usuario sobre la ontología, con lo que se define el perfil.
3. Recuperación: tiene como propósito encontrar los datos geográficos que son relevantes para el usuario con base en mediciones de similitud semántica, aplicadas entre el perfil y los datos disponibles en el área de interés.

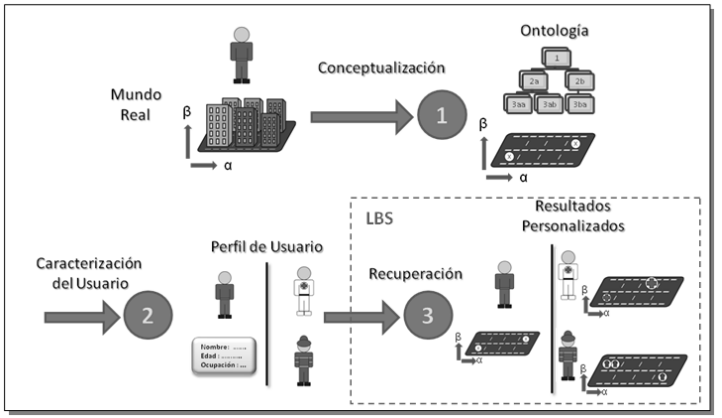


Figura 1-43. Etapas de la Metodología propuesta.

3.1 Caso de Estudio

El caso de estudio incluye un fragmento de la Ciudad de México, en el cual al ocurrir el evento terremoto, se tendrá una zona o perímetro de afectación, dando paso a la modelación de los perfiles de usuario para diversos servicios de emergencia involucrados en la mitigación de los efectos del terremoto, tomando dos perfiles: Cuerpo de Bomberos y Paramédicos, teniendo en cuenta que la metodología puede aplicarse a distintos perfiles y a diferentes eventos.

Delimitación espacial.

El Caso de Estudio se encuentra delimitado por la delegación Gustavo A. Madero (figura 1-44), en la cual se presentará el evento terremoto y se establecerá un perímetro de afectación, donde operaran los servicios de emergencia.



Figura 1-44. Delegación Gustavo A. Madero.

3.2 Los datos.

Se obtuvieron datos del Instituto Federal Electoral de la delegación Gustavo A. Madero para ser trabajados con una proyección UTM Zona 14N, en donde se acentúa solo la zona de afectación para el caso de uso. Las capas temáticas utilizadas dentro de las pruebas constan de la vialidad, calles con nombre, manzanas, secciones, colonias y CP. Además de una capa de los sitios (edificios servicios, etc.) que se utilizaran para la recuperación de información.

Al aplicar la metodología descrita en este trabajo tomando ejemplos ilustrativos, enseguida se describen los resultados por etapa:

1) Conceptualización: Dentro de esta etapa se encuentra la concepción del mundo real, transportado a una realidad procesable para la maquina, lo que nos lleva a desarrollar nuestra ontología para nuestro escenario de prueba teniendo en consideración el evento terremoto, como se muestra en la figura 1-45.



Figura 1-45. Ontología de aplicación para el evento terremoto

1) Al poblar la Ontología, cada instancia de manera explícita, tendrá sus respectivos atributos descriptivos y espaciales, con los cuales se efectuará una comparación con las preferencias del usuario y su localización en la etapa de Recuperación. Para poblar la ontología se utilizará como referencia la información almacenada en una base de datos espacial. La conceptualización del dominio se realiza considerando la metodología GEONTOMET [Torres *et al.* 2011].

2) Caracterización del usuario: Para el propósito del caso de estudio, se tienen 3 usuarios, definimos como Usuario 1 a los Bomberos, Usuario 2 a los Paramédicos, y como Usuario 3 a un Ciudadano sin función dentro de los servicios de emergencia (posible afectado), tomando en cuenta el evento terremoto, en el Análisis de Funciones del Usuario se generan perfiles genéricos para los usuarios, tomando en cuenta la conceptualización de los objetos geográficos en la ontología de aplicación (véase Tabla 1-13).

Tabla 1-13. Caracterización de los usuarios en función al evento terremoto

Perfil de Usuario
Tipo de Usuario
Zona de Trabajo
Objetos Relevantes

Nota: Datos exclusivamente ilustrativos para el Caso de Estudio.

Para ejemplificar los datos que describen el perfil de usuario, se definen 3 clases usuarios, los cuales se muestran en la Tabla 1-14. Los objetos relevantes se utilizan para identificar las prioridades durante la etapa de recuperación de información y se describen en dependencia a la importancia que tienen para el tipo de usuario que caracteriza cada perfil.

Tabla 1-14. Perfiles de Usuario para la Simulación en el Escenario.

Perfiles de Usuario		
Usuario 1 - Bombero	**Usuario 2 - Paramédico**	**Usuario 3 -Ciudadano**
13	13	13
Toma de Agua, Salidas de Emergencia.	**Hospitales, Clínicas, Sanatorios.**	**Albergue, Hospital, Farmacia.**

3) Recuperación: Teniendo el resultado de la conceptualización y la caracterización del perfil de Usuario, el trabajo de recuperación se da de la siguiente manera para posteriormente desplegarlos como un LBS de servicio PUSH: en primera instancia se reconocen los objetos geográficos del área delimitada, posteriormente en función del resultado de las etapas 1 y 2 de la metodología, se filtran los objetos geográficos relevantes para cada usuario, a diferencia de un modelo de recuperación donde solo se extrae información alusiva a un solo parámetro, u objeto explicito de búsqueda, donde se encuentra organizada la información por capas temáticas limitando los servicios por

consulta. Desde el punto de vista espacial, la Recuperación de la Información integra la Conceptualización y la Caracterización del Usuario por medio de una comparación de los objetos geográficos dentro de dichas etapas y a la localización del usuario, donde se devuelven los objetos geográficos que cumplan las preferencias del usuario, en caso de no encontrar de manera específica tales preferencias, dentro de la Conceptualización se analiza la relevancia de objetos y la distancia que existe entre los objetos de la preferencia y los objetos disponibles dentro de un rango geográfico (similitud semántica), de esta manera al implementar la recuperación dentro del LBS se visualizaran los objetos que cumplan los criterios del Perfil de Usuario (figura 1-46):

4)

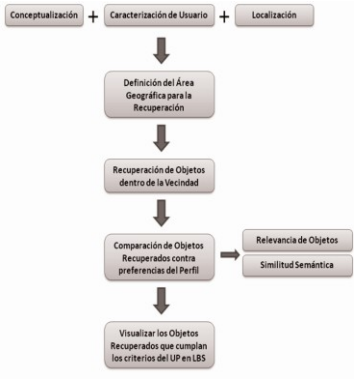


Figura 1-46. Etapa de Recuperación.

Expresando los resultados de la Recuperación (figura 1-47) Se muestra en a) la zona de riesgo, con los objetos geográficos generados por la conceptualización y la caracterización de los usuarios, b), c), y d) recuperan la información en base a las etapas anteriores de la metodología, dando origen a resultados relevantes correspondientes a las necesidades especificas de información de cada usuario.

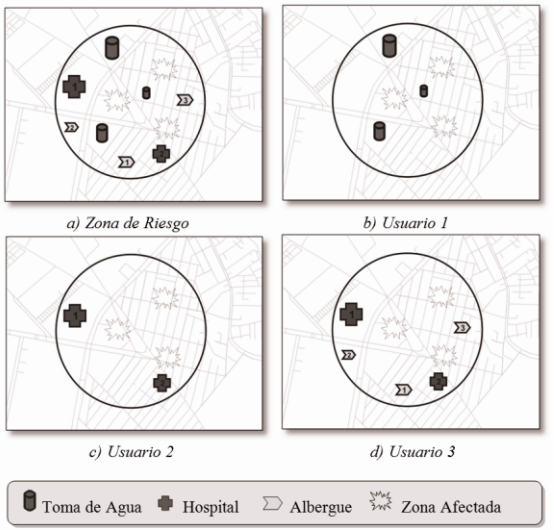


Figura 1-47. Resultados preliminares de la etapa final de la Metodología.

Como se puede ver en la figura 1-47 la recuperación de información en donde cada usuario recibe los datos que son relevantes. La ventaja de este enfoque contra enfoques tradicionales de los GIS que únicamente utilizan recuperación exacta. Con este enfoque se permite graduar la precisión con la que se pueden recuperar los datos, además de evitar recuperar datos que no son relevantes para el usuario y resultados vacíos.

En resumen, la metodología propuesta refleja el uso de los Perfiles de usuario y la importancia de conceptualizar y caracterizar en base a la aplicación, dando resultados concretos en base a las necesidades del usuario, dando énfasis a una mejora dentro de la Recuperación de la Información, la cual esta aplicada dentro de los Servicios Basados en Localización.

5. Discusión y valoración de hallazgos

Dentro del enfoque de los LBS donde se considera primordialmente la ubicación del usuario, para que en función a esta, se puedan ofrecer los servicios con respecto a una área de interés, donde inclusive algunos de estos LBS tienen la capacidad de tener un perfil del usuario para obtener información sobre sus preferencias y así brindar un mejor servicio, esta metodología propone desarrollar de manera más funcional un perfil de usuario, donde este caracterizado por medio de una conceptualización, en la cual se toma en cuenta el propósito de la aplicación por medio de una base de conocimiento que es generado a partir de la ontología de aplicación, aunado a que la consulta final se origina a partir de una Recuperación de la Información que está directamente relacionada con la conceptualización y el perfil de usuario, brindando una RI relevante para el usuario, destacando que la unión del perfil de usuario con la conceptualización ofrece un dominio de búsqueda más efectivo que con un simple perfil de usuario aplicado directamente.

6. Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal por el soporte para la realización de este capítulo.

7. Conclusiones

Se muestran algunos aspectos dentro de un modelado de perfiles en base a una conceptualización, en relación a la aplicación que se desea efectuar, originándose una recuperación de la información basada en las necesidades específicas de grupos de usuarios. Con lo que se brinda un servicio especializado, además de poder representar los datos obtenidos de una manera adecuada al usuario.

Se encuentran grandes desafíos dentro del la implementación de esta metodología, uno de ellos es el acoplamiento de la conceptualización con el perfil de usuario, siendo este un reto desde generar la conceptualización indicada para la aplicación, hasta caracterizar el perfil del usuario de manera efectiva para su propósito, tomando en cuenta que ambas etapas están relacionadas entre sí. Por otro lado, el enfoque propuesto aplica dos áreas tecnológicas, los Servicios Basados en Localización y la Recuperación de la Información, con esto dando un soporte más robusto a los servicios. Con esta aplicación se integra el conocimiento sobre el dominio de interés, el cual es estructurado semánticamente por medio de una ontología de aplicación, dando pie a un sistema que posee información sobre el contexto de problema, lo que resulta más efectivo para la recuperación de información.

Este trabajo se encuentra en desarrollo y requiere de la definición detallada de ciertos aspectos que permitan realizar la integración de las etapas, la implementación parcial o total de la metodología, entre otras cosas. En la actualidad se busca integrar distintas ramas del conocimiento para mejorar o desarrollar sistemas, tratando de cubrir las necesidades de los usuarios de una manera óptima y adaptando los nuevos avances tecnológicos.

Referencias bibliográficas

Alsubaiee, S, Behm, A., Li, C. (2010): "Supporting location-based approximate-keyword queries", ACM GIS '10: 61-70.
Belkin, N., Croft, W.B. (1987): "Retrieval Techniques", ARIST, 22, pp. 109-145.
Blair, D.C. (1990): "Language and Representation in Information Retrieval", Amsterdam: Elsevier.
Brimicombe, A. J. (2002): "GIS - Where are the frontiers now?" Proceedings GIS 2002, 33-45.
Croft, W. B. (1987): "Approaches to intelligent information retrieval", Information Processing & Management, 23(4): 249-254.
Gennari, J. H., Tu, S. W., Rothenfluh, T. E., and Musen, M. A. (1994): "Mapping Domains to Methods in Support of Reuse", IJHCS, 41: 399-424.
Gruber, T. (1994): "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing", IJHCS, 43(5/6): 907-928.
Guarino, N. and Giaretta, P. (1995): "Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification", Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing 1995, 25-32.
Hackos J. T. and Redish J. C. (1998), "User and Task Analysis for Interface Design", John Wiley and Sons.
Junglas, I. and Watson, R. (2008): "Location based services". Communications of The ACM, 51(3):65–69.
Kobsa, A. (1993): "User Modeling: Recent work, prospects and Hazards", SCHNEIDER-HUFSCHMIDT.
Korfhage, R. R. (1997), "Information storage and retrieval", Wiley Computer Publishing, New York.
Shiode, N., Li, C., Batty, M., Longley, P., Maguire, D. (2004): "The impact and penetration of Location Based Services", Karimi, H. A., Hammad, A., ed. Telegeoinformatics. CRC Press, 349-366.
Torres, M., Quintero, R., Moreno-Ibarra, Guzmán, G. y Menchaca-Méndez, R. (2011): "GEONTO-MET: An Approach to Conceptualizing the Geographic Domain", accepted to the International Journal of Geographical Information Science, Taylor & Francis, Por aparecer.
Virrantaus, K., Markkula, J., Garmash, A., Terziyan, Y.V., (2001): "Developing GIS-Supported
Location-Based Services", Proc. of WGIS'2001-First International Workshop on Web Geographical Information Systems, 423-432.

GESTIÓN DE DATOS LIDAR A TRAVÉS DE SIG Y BASE DE DATOS GEOESPACIAL

Javier Arellano Sánchez; Sandra Yazmín Betts Gómez; Olivia Ramírez Rodríguez

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo describirla propuesta en el uso de herramientas SIG para la organización y disposición de datos LiDAR y el desarrollo de una base de datos para su gestión. El método de trabajo en el uso de SIG se basa en la concatenación cíclica de tres metodologías de trabajo: Plan de Cobertura, Control de Calidad In Situ y Ajuste de Datos LiDAR; por su parte la generación de la Base de Datos Geoespacial aplicó una metodología consistente en siete etapas: 1. Identificación y análisis de requerimientos, 2. Diseño conceptual, 3. Elección de un Sistema Manejador de Base de Datos (SMBD), 4. Aplicar reglas de transformación, 5. Asignación de parámetros de almacenamiento, 6. Diseño de esquema de consulta (SQL), índices, restricciones y triggers, 7. Esquema implementado.

Palabras clave: LiDAR, SIG, Base de Datos

LIDAR DATA MANAGEMENT USING GIS AND A SPATIAL DATA BASE

ABSTRACT

The objective of this paper is to describe a proposal of GIS tool use for LiDAR Data Organization and availability, and also the database development for its management. The working method for the use of GIS is based on the cyclical concatenation of three working methodologies: Coverage plan, In situ quality control and Lidar data adjustment. The generation of the geospatial database was performed applying a seven step methodology: 1. Requirement identification and analysis, 2. Conceptual design, 3. Selection of a database management system, 4. Transformation rule application, 5. Storage parameter determination, 6. Design of a query, indexes, restrictions and triggers scheme (SQL), and 7. Scheme implementation.

***Keywords**: LiDAR, GIS, Database*

Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Av. Héroe de Nacozari 2301, Fracc. Jardines del Parque, C.P. 20276, Aguascalientes, México
Javier.arellano@inegi.org.mx; sandra.betts@inegi.org.mx; olivia.ramirezr@inegi.org.mx

1. Introducción

Considerando la importancia de los datos de relieve en el mundo para el modelado del terreno que demandan mayor exactitud y oportunidad en su disponibilidad se han venido adoptando las mejores prácticas y estándares internacionales que involucran el uso de tecnología de punta, entre las que se destaca el uso de la percepción remota aerotransportada para la georreferencia espacial de fenómenos naturales y culturales.

Entre los sensores aerotransportados para la percepción remota activa se encuentra el denominado LiDAR como método para detectar objetos a distancia y determinar su posición tridimensional de una forma rápida, precisa y con calidad.

La tecnología exige el manejo de grandes volúmenes de información en formatos binarios y ASCII, entre los tipos de datos que se manejan y administran están los geodésicos y láser, así como información para la planeación y la derivada de la captación de datos que se organiza en tablas, capas, imágenes e informes, a su vez todo contenido en bases de datos para la producción y explotación de la información.

El presente trabajo describe, por una parte, el aprovechamiento de la tecnología LiDAR en México por parte del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como la utilidad de la gestión de datos mediante SIG y BDG para planear y controlar la producción, la organización y la gestión de datos láser como insumo para obtener datos de relieve, clasificados como información de interés nacional en el contexto de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) http://www.snieg.mx/.

Se muestra la importancia y papel que desempeñan el uso de los SIG y las BDG en la estructuración de contenedores de datos para análisis espacial y obtención de información para orientar la mejor toma de decisiones, en el estudio, mitigación y ordenamiento de aspectos ambientales, desastres naturales, demografía, riesgos hidrometeorológicos, entre otros.

2. Estado del Arte y Marco Teórico

El INEGI inició en el año 2004 la aplicación tecnológica que integra tres subsistemas: GPS, Unidad de Medición Inercial y sensor láser que se utiliza para la colecta de datos de altitud utilizando una plataforma aérea (figura 1-48).

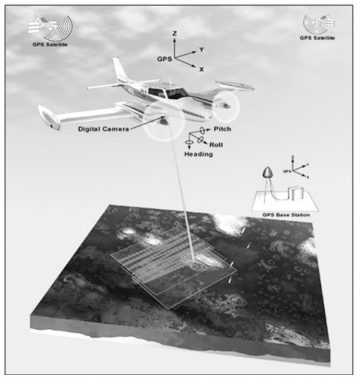


Figura 1-48. Subsistemas LiDAR
Fuente http://gulfsci.usgs.gov/tampabay/data/1mapping/lidar/

LiDAR es un sensor activo que consta de un telémetro emisor de luz láser y de un espejo que desvía el haz perpendicularmente a la trayectoria del avión, generando una serie de pulsos de luz que al entrar en contacto con los objetos o el terreno refleja al sensor parte de la energía del pulso emitido (figura 1-49). Una característica distintiva de los retornos en zonas de vegetación es que éstos se pueden producir a diferentes niveles, siendo posible que el último retorno se produzca al nivel del terreno.

Los datos captados con LiDAR permiten generar Modelo Digitales de Elevación (MDE), este método tiene ventajas sobre los métodos fotogramétricos convencionales ya que requiere de mínimo control geodésico en tierra, los datos tienen una mayor densidad y una mayor precisión.

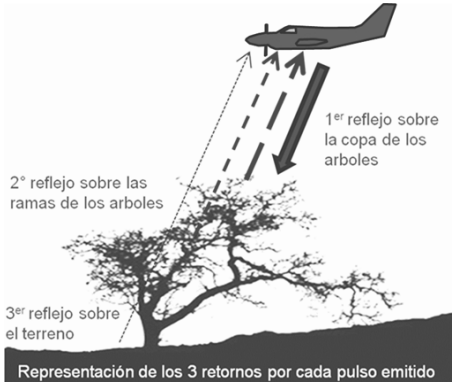


Figura 1-49. Comportamiento del reflejo de los pulsos LiDAR

Los datos colectados se agrupan en nubes de puntos dentro de archivos binarios en formato LAS, que corresponde a un estándar abierto para el intercambio de datos de LiDAR entre generadores y usuarios; su uso es alternativo a formatos de sistemas propietarios y genéricos tipo ASCII (Arellano 2010). La nube de puntos contiene información tridimensional de cada punto captado, así como de atributos tales como intensidad, número de retorno y tiempo de captura GPS, entre otros.

En la generación de cada nube de puntos, se eliminan los retornos que presentan anomalías altimétricas (puntos altos y bajos); enseguida los puntos de la nube se comparan con puntos de control terrestre con el objeto de reducir errores sistemáticos en altura; finalmente, se aplica un proceso de ajuste entre líneas que permite reducir otros errores asociados a los componentes tecnológicos del sistema para asegurar continuidad geográfica. El proceso de trabajo involucra la coordinación de las áreas de Operaciones Aéreas, Geodesia y Modelado Topográfico (figura 1-50) y de tres etapas grandes etapas: planeación, control de calidad en sitio y ajuste de datos, a partir de las cuales se generan los insumos esenciales para elaborar MDE.

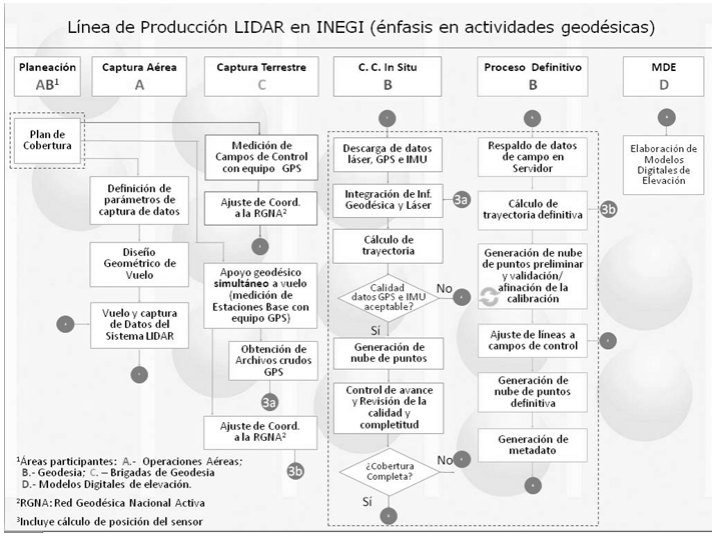


Figura 1-50. Proceso de trabajo LiDAR

Los MDE generados a partir de la nube de puntos son una expresión visual y matemática de los datos de relieve para contribuir a caracterizar las formas del terreno, como fundamento en la planeación del desarrollo y ordenación del territorio, además de la prevención y mitigación de desastres naturales, entre otros.

Los MDE se clasifican en:

Modelos Digitales de Superficie (MDS): contienen todos los detalles además de los elementos existentes sobre el terreno, ya sea naturales como la vegetación, o artificiales que son las obras hechas por el hombre (figura 1-51).



Figura 1-51. Modelo Digital de Superficie (MDS), detalle del Centro de la Ciudad de México

Los Modelos Digitales del Terreno (MDT): sólo representan la forma del terreno, lo que se logra mediante un proceso de filtrado de los MDS (figura 1-52).

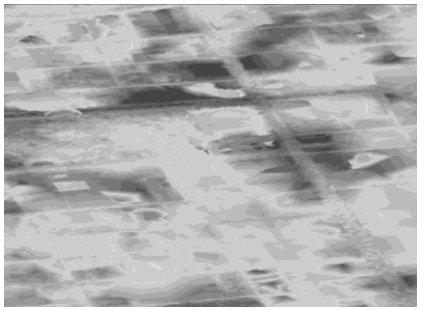


Figura 1-52. Modelo Digital del Terreno (MDT), detalle de la Ciudad de México

Los MDE generados con la nube de puntos LIDAR son útiles, entre otras aplicaciones para: modelación altimétrica (mapas de pendientes, secciones, desniveles), prevención y atención de desastres naturales, definición de áreas sujetas a inundación, generación de curvas de nivel, estudios hidráulicos e hidrológicos; trazo de cauces de agua (hidrografía), diseños de ingeniería civil, y animaciones dinámicas en 3D.

Conceptos Generales de SIG y de Base de Datos Geoespacial

Un SIG consiste en información de naturaleza diversa sobre una determinada área, almacenada en un conjunto de bases de datos, tanto gráficas como alfanuméricas, cuya relación con el territorio se realiza a través de un sistema de referencia geográfico y se gestiona a través de uno o varias aplicaciones informáticas, lo anterior soportado por un equipo de cómputo y por personal especializado.

Mientras que una Base de datos Geoespacial es un conjunto de datos espaciales que cuentan con un modelo de datos que abstrae la complejidad del mundo real y permite almacenarlos con una representación simplificada (puntos, líneas, polígonos) en un Sistema Manejador de Base de Datos, el cual provee un lenguaje de consulta, soporta tipos de datos espaciales y proporciona mecanismos para realizar operaciones de análisis espacial.

Por su parte un Sistema Manejador de Base de Datos (SMBD) consiste en una colección de archivos interrelacionados y un conjunto de programas que permiten a los usuarios acceder y modificar dichos archivos; su propósito principal es proporcionar a esos usuarios una visión abstracta de los datos. La arquitectura de un SMBD se compone de:

- *Base de datos*. La conforma una colección de datos almacenados y utilizados por los sistemas de aplicación de una empresa (Date, 2001).
- Hardware. Es un compuesto por volúmenes de almacenamiento secundario donde reside la base de datos junto con dispositivos asociados a su control.
- *Software*. Proporciona la interface entre los datos de bajo nivel almacenados en la base de datos y los programas de aplicación y consultas hechas al SMBD
- *Usuarios.* Dado que el objetivo principal de un sistema de base de datos es proporcionar un entorno para recuperar información y almacenar nueva, existen tres tipos de usuarios, dependiendo de la forma en la que interactúan con el sistema.

Tipos de Usuarios

Programador de Aplicaciones. Encargados de escribir los programas que utilizan la base de datos en todas las maneras usuales como recuperación de información, creación o introducción de nuevos datos, suprimir o cambiar información existente.

Usuario Final. Tienen la función de acceder a la base de datos por medio de una terminal, utiliza un leguaje de consulta o recurre a un programa de aplicación que acepte órdenes y formule solicitudes al SMBD de recuperación, creación o modificación de información.

Administrador de Base de datos. Coordina las funciones de recopilación de información acerca de los datos; servicio a los usuarios; protección del recurso llamado datos; control de estructuras de datos y acceso a los mismos.

3. Materiales, datos y métodos

3.1. Caso de estudio

Diseño, planeación y control de proyectos asociados al uso y aprovechamiento de la tecnología LiDAR desarrollando e implementando metodologías de trabajo con soporte en herramientas SIG y BDG con el fin de administrar de una manera normalizada, eficiente y eficaz los procedimientos de acopio, tratamiento, generación de productos e integración de datos para su explotación.

Delimitación Espacial

El diseño y aplicación es nacional debido a que son datos de relieve considerados información de interés nacional en el contexto de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

Delimitación Temporal

Información LiDAR disponible en el periodo 2004-2010 para su normalización y puesta a disposición para su explotación mediante una base de datos geoespacial.

3.2 Datos

Los datos esenciales del proyecto utilizados fueron capas en formato SHAPE y archivos tabulares, informes de avance de proyectos, así como los formatos de análisis de requerimientos y gráficos de la estructura de la BDG, previos a su diseño e implementación. A continuación se describen los métodos empleados para aprovechamiento de herramientas SIG y BDG:

3.3. Desarrollo

SIG

La tecnología LiDAR aprovecha algunas capacidades de los SIG para la construcción de modelos que representen al mundo real a partir de las bases de datos geográficas, aplicando una serie de funciones específicas (captura, almacenamiento, manipulación, análisis y extracción) que generan más información para su análisis. Las etapas generales del proceso LiDAR desarrolladas con herramientas SIG son la Planeación, el Control de calidad en sitio y el Ajuste de Nube de Puntos (Arellano 2010) y consisten en:

Planeación

Con cada requerimiento se genera un proyecto de trabajo, realizándose la planeación de la cobertura a partir de un determinado polígono de interés (INEGI, 2010). Según sea necesario, cada polígono se delimita por división política, región fisiográfica, región costera, entre otros.
En primer lugar se cargan las capas de índices cartográficos en las escalas en que se representarán la planeación, el control y los productos entregables. Hasta 2010 se aplicó como unidad promedio de planeación un conjunto de cuatro claves cartográficas con escala 1:50 000. En algunas partes del territorio nacional las unidades se conforman de dos claves y hasta de seis considerando la delimitación con fronteras internacionales o zonas costeras. Las unidades de planeación toman en cuenta las características tecnológicas de un sistema LiDAR.

Para el establecimiento de control geodésico (campos de control) en el polígono del proyecto se cargaron en SIG las capas de: Catálogo de Integración General de Localidades (CIGEL), vías de comunicación, cuerpos de agua, entre otras. Con las capas cargadas se realiza una operación de selección de localidades con población mayor a 1000 habitantes y se establece la posición de control geodésico asegurándose cercanía con vías de comunicación.

Con la capa activa de campos de control se crea una nueva capa (líneas transversales) en la que se unen pares de campos de control dentro de cada unidad de planeación (bloques), ambas capas son esenciales en el control de calidad en sitio y fundamentales para realizar posteriormente el ajuste de datos al terreno. Dentro de la definición de las líneas transversales se evitan cuerpos de agua, debido a que los cuerpos de agua presentan un valor bajo de reflectancia ocasionando una aparente falta de información (huecos), lo cual limita el ajuste de líneas. La figura 1-53 ejemplifica la integración de capas en SIG para la planeación.

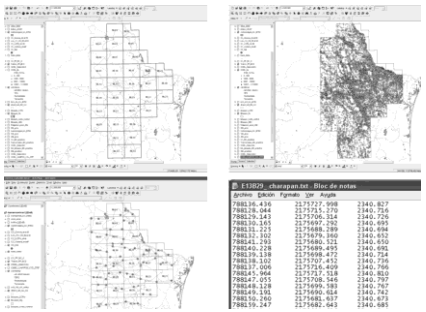


Figura 1-53. Integración de capas en SIG para planeación de proyectos LiDAR

La planeación se complementa con la distribución de control geodésico por lo que se carga la capa de estaciones base GPS que trabajarán simultáneamente durante la colecta de datos con el sensor aerotransportado para corregir diferencialmente las posiciones de la antena GPS en la aeronave que permita obtener la trayectoria y posición de los datos colectados.

Al obtenerse el control geodésico (campos de control y estaciones base) se actualizan las tablas con las coordenadas definitivas (archivo de texto en figura 1-53) para su aplicación en la etapa de Control de Calidad en sitio. En general, todas las capas en formato *shape* que se cargan y se actualizan desde la planeación, facilitarán el análisis espacial para proveer de información oportuna sobre la marcha de cualquier proyecto, rendir informes y facilitar la toma de decisiones.

Control de Calidad en Sitio

En el control de calidad en sitio se realiza el proceso y análisis de los datos LiDAR de acuerdo con las especificaciones de calidad establecidos con una configuración previa de parámetros (INEGI, 2010).

Como parte del control se obtiene la distribución geométrica de la nube de puntos, generándose un reporte (figura1-54), el cual es enviado por medios electrónicos junto con las capas de índice de cobertura, se incluye información de faltantes de datos denominados huecos (en caso de que se presenten) que pueden ser por relieve, nubes, humo, entre otros; y las imágenes n*o data*, que son aquellas que aun cuando no contiene información útil para los procesos de calidad, permiten detectar presencia de huecos. Los huecos son incluidos en el entorno SIG para retroalimentar la planeación diaria y asignar prioridad a las coberturas cuando se realizan nuevas misiones aéreas.

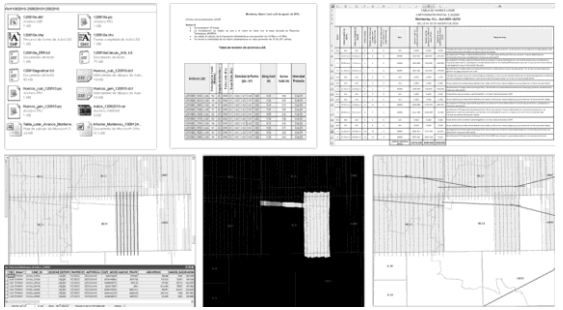


Figura 1-54. Preparación del reporte de Control de Calidad en Sitio

Una vez verificada y validada la información se actualizan las capas para registrar los avances en el levantamiento de datos, cargándose en SIG las capas de: índices cartográficos, estaciones base, huecos, líneas transversales y la cobertura de bloques, cuerpos de agua, entre otras.

Todas las capas que se cargan y se actualizan facilitan el proceso de respaldo en servidor local de la información capturada y procesada, así como la de control geodésico (Estaciones Base)

Ajuste de Datos LiDAR

El ajuste de datos LiDAR se realiza primeramente a campos de control, en este ajuste se corrigen errores sistemáticos en los datos (INEGI, 2010). Posteriormente, se realiza un segundo ajuste cuya finalidad es la disminución de residuales en errores sistemáticos.

Conforme se completan las unidades de producción cartográficas, se cargan en SIG las capas de: índice de cobertura, división política y el polígono de interés (bloques). Se seleccionan las líneas ajustadas que conforman un bloque para realizar el corte a los límites de la unidad de producción asegurando la continuidad geográfica de los datos entre líneas y bloques (figura 1-55).

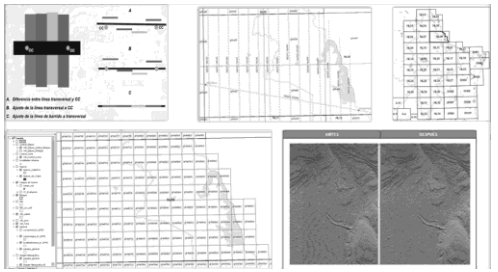


Figura 1-55. Ajustes de datos LiDAR y control de avance en SIG

Como parte de la entrega de los datos se generan los metadatos para la nube de puntos LiDAR (figura 1-56), conforme a la norma mexicana vigente. Con las capas cargadas en el SIG se realiza una extracción de información que describe la cobertura de los datos.

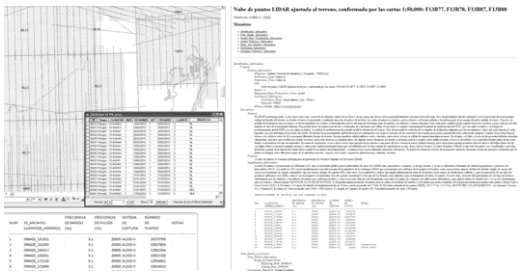


Figura 1-56. Elaboración de Metadatos con apoyo de SIG

Actualización de avances de producción en IRISWEB

De forma complementaria a las metodologías de trabajo se generan avances en la generación de nube de puntos y se realizan reportes de productos entregables y sus unidades de medida; para el caso de la nube de puntos ajustada al terreno las unidades reportables equivalen a formatos cartográficos en la escala 1:10 000. Para disponer con oportunidad de información sobre la operación y la producción se generó la herramienta denominada IRIS web (figura1-57), que además de permitir el control de proyectos LiDAR es utilizado en otros procesos cartográficos. IRIS web es un visualizador de información geográfica que permite integrar proyectos de SIG desarrollados en la plataforma de IRIS local. Está desarrollado en plataformas libres lo que permite su adopción sin inconvenientes. Está centrado en el uso de información geográfica obtenida en varios formatos como *shape, iris*, o bases de datos.

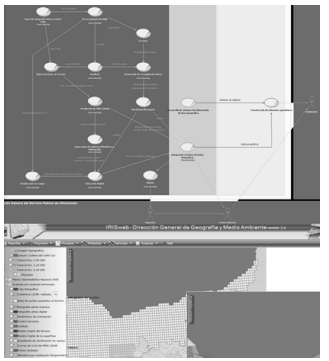


Figura 1-57. IRISWEB para control ejecutivo de proyectos

Diseño de la base de datos LiDAR

A medida que se fue adquiriendo mayor experiencia en el uso de la tecnología, fue creciendo el número de datos, así como la necesidad de controlar los procesos para la generación de nube de puntos ajustados al terreno, para facilitar la toma de decisiones en la planeación, los análisis espaciales, dar seguimiento a proyectos, elaborar reportes, entre otros. Derivado de lo anterior se planteó como objetivo diseñar una base de datos geoespacial para administrar la obtención, proceso y puesta a disposición de nube de puntos además de ofrecer pronta respuesta a los diferentes requerimientos de usuarios internos y externos.

Partiendo del conocimiento del proceso de la línea de producción, se realizó el diseño de la base de datos LiDAR (tabla 1-15) en siete etapas (Betts, 2011) que se describen a continuación.

Tabla 1-15. Etapas del diseño de base de datos LiDAR

1	**Análisis de Documentación asociada al tema entregada por el usuario**
	- Metodologías
	- Capas de información geográfica
	- Informes de avance
	- Información asociada al levantamiento
2	Generación de documentación para estandarizar requerimientos
	- Elaboración del diagrama general de actividades
	- Elaboración de diagramas de proceso por fase
	- Obtención de los productos por fase
	- Descripción de la estructura Digital de la información geográfica
	- Descripción de la estructura de los informes
	- Descripción de la información asociada al levantamiento
	- Identificar entidades
	- Identificar atributos por entidad para establecer el tipo de dato de almacenamiento y sus restricciones
	*Verificar la opcionalidad del campo
	*Consideraciones para definir el tipo de dato de acuerdo al requerimiento
	- Elaboración del diseño preliminar del modelo de base de datos
3	Entrevistas con el usuario para aclaración y verificación de requerimientos
	Replantear el diseño del modelo si es necesario de acuerdo al resultado obtenido de las citas del usuario
4	Elaboración del Modelo definitivo de acuerdo a requerimientos del tema
	Definición e identificación de usuario para implementación del modelo en software de diseño
	Verificar entidades de apoyo para compartir con otros modelos
5	Generar estrategia de carga
	Generar un plan de carga de acuerdo a la estructura de la información digital y el modelo propuesto
	Completar el modelo con entidades y relaciones de acuerdo a la estrategia de carga
	Solicitar la asignación de espacio en BD para carga del modelo (usuario)
6	Implementación del Modelo para Carga
	Solicitar parámetros de creación de Layers
	Generación de Script de carga
	Correr algoritmos automatizados para generar por primera vez
	- Secuencias
	- Triggers (procedimiento que se ejecuta cuando se cumple una condición establecida al realizar una operación)
	- Cargador de catálogos
	- Creación de Layers
	Elabora metodología de lanzamiento
	- Lanzar la herramienta de asignación de usuario para la carga
	- Bateador de control
	- Bateador de explotación
	- Verificar orden de carga
7	Cargar modelo

Se recopilaron archivos digitales con muestras de datos relacionados con las metodologías de trabajo y demás documentación; se analizaron para comprender con detalle la naturaleza de los datos involucrados en el sistema y su interrelación. A partir de lo anterior se generó un diagrama general de actividades donde se identificaron las tres principales etapas del proceso: planeación, control de calidad en sitio y ajuste de datos (figura 1-58).

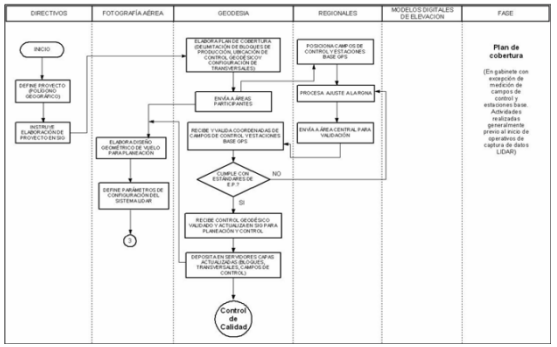


Figura 1-58. Fragmento del diagrama de actividades de la fase de planeación

Posteriormente, se generaron los diagramas de procesos por cada una de las fases para identificar las entradas y los principales productos, en la figura 1-59 se muestra un fragmento de la fase de planeación. Como resultado se obtuvieron productos por cada fase (tabla 1-16)

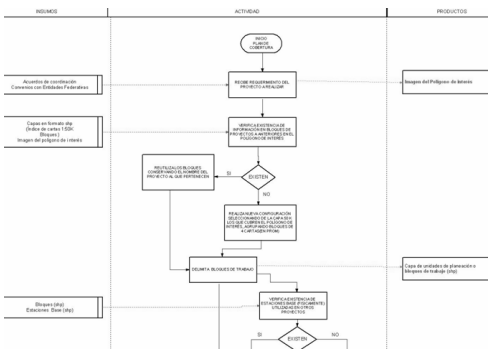


Figura 1-59. Segmento del diagrama de procesos de la fase de planeación

Tabla 1-16. Productos por fase

Fase	Productos
Planeación	Polígono de interés (jpg)
	Bloques de trabajo (shp)
	Estaciones base (shp)
	Campos de control (shp)
	Líneas transversales (shp)
Control de calidad en sitio	CheckListmes_año (docx)
	Oficio de autorización (docx)
	Bitácora de vuelo (docx)
	Índice de vuelo (shp)
	Índice de avance en la comisión (png)
	Archivos de calidad de la trayectoria (jpg)
	No data de Líneas de vuelo (TIFF)
	Tablas de avances en comisión (xlsx)
	Archivo con huecos (DGN)
	Informe de control de calidad de la sesión (docx)
	Tabla de parámetros de calibración del sensor (xlsx)
Ajuste de datos	Archivo de parámetros de orientación (docx)
	Archivos ajustados (BIN)
	Reporte de control de ajuste (docx)
	Control en capa 10k de edición (shp)
	Archivos LAS ajustados y cortados
	Metadato de los datos ajustados del bloque (HTML)
	Tabla de priorización (ppt)

Para cada uno de estos productos (tabla 1-16), se documentó la estructura manejada en los archivos digitales utilizando un formato de descripción de funciones. Como complemento se recolectó información sobre los datos de cada producto, en un formato especial que incluye la estructura de datos y su descripción (nombre del campo, tipos de dato, longitud, valores permitidos, serie de rangos entre otros).

Una vez analizada la información se elaboró un modelo entidad-relación para el cual se identificaron las entidades y sus atributos, para evitar redundancia en almacenamiento.

Se hizo una descripción detallada de los atributos de tipo, tamaño, dominio de valores, restricciones, etcétera, lo cual facilitó el establecimiento de llaves primarias y foráneas, para asegurar una eficiente interrelación entre las entidades. Con base en lo anterior se realizó la representación gráfica del modelo entidad relación (figura 1-60) de datos LiDAR.

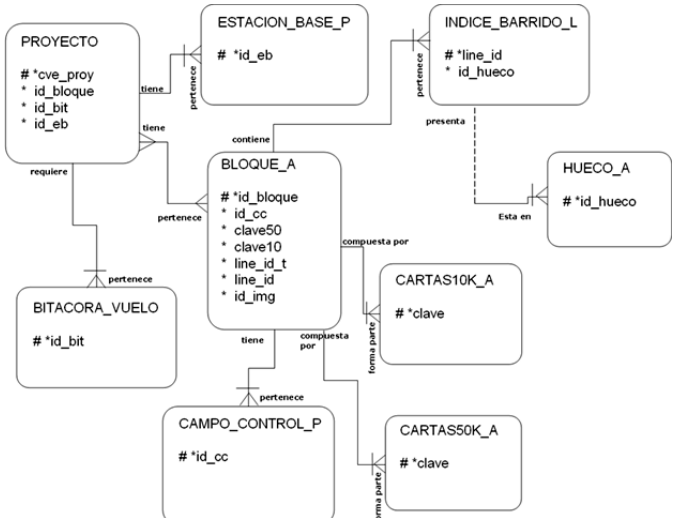


Figura 1-60. Modelo Entidad-Relación

Se utilizó Oracle Designer para la elaboración del modelo conceptual definitivo y la creación de algoritmos automatizados para realizar la carga de información LiDAR a la base de datos. Además se crearon de manera automatizada los generadores de secuencias, triggers, cargadores de catálogos y creación de layers en el espacio físico asignado para la base de datos.

La figura 1-61 muestra mediante un mapa mental el resumen de la metodología desarrollada para el diseño de la Base de Datos LiDAR.

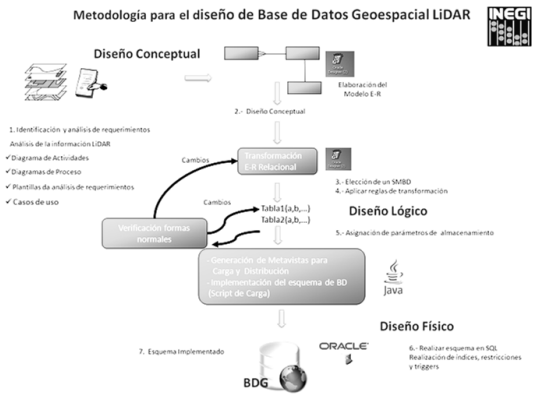


Figura 1-61. Mapa mental del diseño de la Base de Datos LiDAR

4. Descripción y análisis de resultados

Se consolidó el uso de tres metodologías de trabajo para la planeación, la operación y ajuste de los datos LiDAR aplicando herramientas SIG y se implementó una Base de Datos Geoespacial para el control de la producción y explotación de datos e información LiDAR de manera eficiente. De esta forma se obtienen las siguientes ventajas:

- Control centralizado de la información LiDAR, siguiendo las normas estandarizadas de las bases de datos, accediendo a ella mediante un único programa denominado administrador de bases de datos.
- Disminución de la redundancia e inconsistencias, agrupando los datos en un mismo objeto sin repetir información lo cual hace a la base de datos más eficiente.
- Posibilidad de compartir datos, por medio del administrador de base de datos y la aplicación que se seleccione, como un SIG.
- Aplicación de controles y restricciones que verifican que los datos introducidos sean correctos para mantener su integridad, utilizando catálogos, y validaciones de rango y dominio de valores.
- Independencia de datos, mediante separación entre programas y datos desde una perspectiva física y lógica, de tal forma que cualquier cambio en las estructuras de datos no afecta a los programas de aplicación y explotación.

5. Discusión y valoración de hallazgos

El uso de SIG para la gestión de datos LiDAR conlleva la optimización de recursos aplicando herramientas de análisis espacial y permitiendo de manera visual contar con el estado de cualquier proyecto, extrayendo información tabular sobre atributos de interés para una mejor toma de decisiones y seguimiento.

En el modelado de Base de Datos Geoespacial uno de los pasos cruciales en su construcción, es sin duda, su diseño conceptual ya que si las relaciones entre entidades no son definidas apropiadamente, se puede tener muchos problemas al momento de ejecutar consultas para tratar de obtener algún tipo de información. Independientemente del tamaño de la BDG es importante asegurar su correcto diseño para su manejo y explotación con éxito continuo.

6. Conclusiones

El uso interdisciplinario de los Sistemas de Información Geográfica, la tecnología LiDAR y las Bases de Datos Geoespaciales proporcionan un eficiente manejo de grandes volúmenes de información para la toma correcta de decisiones en la línea de producción que garantizan la adecuada y oportuna respuesta a los requerimientos de usuarios internos y externos. La sinergia en el uso de SIG y BDG para la planeación, operación, control, integración y disposición de datos LiDAR es aplicable tanto en Unidades del Estado como Instituciones Académicas y empresas particulares ya sea que produzcan, usen, integren y exploten la información proveniente de la Percepción Remota Activa.

Es evidente que en México y el mundo cada vez tendrá una mayor aceptación y penetración la tecnología LiDAR para el modelado del territorio y su aplicación en la planeación nacional, la prevención y mitigación de desastres naturales, entre muchos aspectos más.

Tomando como referencia el éxito en el uso de SIG y BDG se podrán definir y adoptar de manera natural especificaciones mínimas para la normalización e integración de datos de relieve comparables y compartibles y aportarán a la investigación sobre diversos fenómenos en el tiempo sobre el comportamiento del territorio en ámbitos locales, regionales o globales.

Referencias bibliográficas

Arellano Sánchez Javier, 2010: Tesis "Calibración de datos LiDAR", UNAM-INEGI

Arellano Sánchez Javier, 2010: "Metodologías para el procesamiento de datos LiDAR", 11° Congreso Nacional e Internacional de Ingeniería Topográfica, Geodésica y Geomática, Colegio de Ingenieros Topógrafos, Asociación Civil (CITAC). Zacatecas, México, 2010

Betts Gómez Sandra Yazmín, 2011: Tesis "Gestión de Información LiDAR a través de una Base de Datos Geoespacial como componente base para los Sistemas de Información Geográfica", UNAM-INEGI

Date C.J., 2001: "Introducción a los sistemas de bases de datos", Pearson Educación. ISBN 968-444-419-2.

INEGI, 2010: "Guía para elaborar anteproyectos LiDAR", Dirección del Marco Geodésico, Aguascalientes, México

INEGI, 2010: "Guía para el control de calidad y generación de nubes de puntos LiDAR", Dirección del Marco Geodésico, Aguascalientes, México

INEGI, 2010: "Guía para el ajuste y generación de metadatos de datos LiDAR", Dirección del Marco Geodésico, Aguascalientes, México

SECCION II.

EDUCACIÓN Y ENSEÑANZA

ASPECTOS TEÓRICOS EN LA ENSEÑANZA DE LOS SIG, RELACIONADOS A SU ORIGEN Y EVOLUCIÓN

CECILIA GUTIÉRREZ NIETO[1]

RESUMEN

El presente trabajo pone de manifiesto los aspectos teóricos relevantes al origen y evolución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)que pocas veces se incluyen en los programas relacionados a la enseñanza de éstos; los aspectos aquí planteados expresan contribuciones de la Geografía Cuantitativa cuya manifestación se traduce en el uso de las matemáticas y la estadística; así como también el enfoque de la Teoría de Sistemas que plantea premisas que sostienen que todo sistema tiene un propósito y funciones específicas que dependen de su estructura; al mismo tiempo se destaca la relación de disciplinas como la Geografía, las Matemáticas y la Computación cuyos aportes se manifiestan a través de la Teoría de Gráficas, la Topología ola Estadística espacial. Estos aportes conforman un cuerpo de conocimiento que converge en el origen y evolución de los SIG, por lo que el objetivo central de este trabajo sugiere la necesidad de incorporar estos aspectos a los programas académicos que contienen materias de SIG en disciplinas como Geografía, Geomática o Ingeniería.

Palabras clave: Topología, Geomática, SIG.

THEORETICAL ASPECTS IN THE TEACHING OF GIS RELATED TO THEIR ORIGIN AND EVOLUTION

ABSTRACT

This paper highlights theoretical aspects relevant to the origin and evolution of Geographic Information Systems (GIS), which are rarely included in programs related to their teaching. The issues raised here express contributions of quantitative geography that are demonstrated with the use of mathematics and statistics, and also the systems theory approach that pose premises holding that any system has a purpose and specific functions, depending on its structure. Relationship between GIS and disciplines such as Geography, Mathematics and Computer whose contributions are manifested through the graph theory, topology or spatial statistics, are also highlighted. These contributions constitute a body of knowledge that converges on the origin and evolution of GIS, so that the central objective of this study suggests the need to incorporate these aspects of academic programs that contain materials of GIS in disciplines such as Geography, Geomatics and Engineering.

Key words: *Topology, Geomatics, GIS.*

Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C. Contoy # 137 Col. Lomas de Padierna Tlalpan, D.F. México. 1 ceciliag@centrogeo.org.mx

1. Introducción

En el contexto de las ciencias espaciales, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han mantenido una continua evolución a partir de su origen, tanto en el ámbito de sus metodologías, conceptos y capacidades de análisis, así como en el tratamiento de sus bases de datos e interfaces de usuario. No es de sorprenderse que debido a ello las capacidades de uso de los SIG son cada vez más robustas e incluyen una gama de usuarios no expertos que día con día se hace más diversa.

Sin embargo la evolución de los SIG también se refiere a la gran riqueza de expresiones intelectuales cuya profundidad se traduce en un conocimiento científico y multidisciplinario, no solo desde el punto de vista espacial, sino desde el ámbito social e incluso filosófico. La emergencia de debates en torno a la práctica de los SIG ha tenido un fuerte impacto teórico que se ha vertido en un cambio de paradigma con sus propios contextos, discursos y prácticas. Prueba de este impacto, es la introducción de conceptos como Ciencias de Información Espacial en cuyo campo de acción convergen disciplinas como la Estadística, la Geografía, las Matemáticas, la Cartografía, la Geodesia, e incluso las Ciencias Cognitivas, la Filosofía o el quehacer del Análisis Cualitativo.

Bajo este contexto, el propósito es poner de manifiesto aquellas contribuciones que conforman un marco de conocimiento relativo al origen y evolución de los SIG y relevante en los programas de materias de SIG, cuyo principal objetivo generalmente se orienta al manejo de metodologías, herramientas y bases de datos en donde la componente tecnológica prevalece en la relación teoría-práctica.

En este orden de ideas, el trabajo plantea primero los aportes de algunas teorías geográficas cuyo principal interés se centra en la necesidad de analizar el espacio desde un punto de vista de planeación a través del estudio de la población y sus actividades económicas, posteriormente se resume el enfoque integral que aborda la Teoría de Sistemas así como la necesidad de incorporar a las Ciencias Sociales en el planteamiento de unidad de la ciencia y finalmente se marca el punto de convergencia, resultado de la asociación entre los avances tecnológicos y el conocimiento, que dio como resultado la necesidad de aplicaciones específicas. En una segunda parte se señalan los aportes de las matemáticas y la computación que hacen explícita la gama de aplicaciones que contienen diversas herramientas en el contexto de los SIG.

2. Antecedentes

Uno de los factores relevantes al surgimiento de los SIG se asocia a la convergencia de tres aspectos: La Geografía Cuantitativa, La Teoría de Sistemas y los avances Teórico-metodológicos, ligados estos últimos al desarrollo tecnológico, el punto de convergencia de estos factores dio origen a los Sistemas de Información Geográfica.

La Geografía Cuantitativa, cuyo principal interés era convertir a la Geografía tradicional en una disciplina científica, planteó la necesidad de abordar el espacio de una manera diferente, es decir desde un punto de vista de planeación e incorporó a la sociedad de una manera más organizada; así, con las teorías de la localización y del lugar central se da explicación a la distribución espacial y las leyes del movimiento; con el modelo nodal, se intentó explicar los patrones de asentamiento y jerarquías. Estas leyes y teorías explicaban lo que acontecía en el espacio en relación a la actividad humana y fueron posibles gracias a los lenguajes de las Matemáticas y la Estadística, así como a sus marcos teóricos

de investigación, creando modelos que pretendían establecer leyes de distribución y comportamiento espacial a partir del análisis de diferentes datos que surgen de las estructuras urbanas, regionales y económicas de su momento.

La Teoría General de los Sistemas, por su parte, que surge con los trabajos de Bertalanffy, busca la formulación de teorías y conceptos, construyendo premisas que van más allá de un simple concepto, afirma que en todo sistema existe un orden dinámico de partes y procesos que están en continua interacción y que cada sistema tiene bien identificadas sus funciones. Vale la pena resaltar que los aportes de su creador, no se circunscriben al contexto biológico, aun cuando los primeros planteamientos provienen de un enfoque de la Biología.

En términos de los avances tecnológicos, es importante destacar que existe una estrecha relación entre el conocimiento y el desarrollo tecnológico cuya evolución hubiera sido prácticamente imposible sin los adelantos de la ciencia; en este caso la ciencia computacional, geográfica o matemática en donde la demanda de aplicaciones fue cada vez más evidente.

Por lo anterior, lo que a continuación se plantea es parte de un contexto teórico que conforma el temario para el módulo de SIG en el diplomado de Geomática que se imparte en Centro Geo, cuyo objetivo es comprender la evolución y los alcances de los SIG a fin de elaborar un marco teórico-metodológico que bajo un enfoque integral se inserte en la Geomática.

Aspectos relevantes a la evolución de los SIG

Teorías Geográficas

La Teoría de los lugares centrales de Walter Christaller cuyo impacto e influencia en Geografía fue relevante, planteó la necesidad de establecer sistemas de asentamiento tanto de manera jerárquica como organizada a través de la siguiente hipótesis: la localización de una empresa que presta servicios a cierta población, obtendrá mayores beneficios económicos en razón de servir solo a esa población sin que ésta tenga que desplazarse para obtener dichos beneficios, a menos que la demanda de esa población sea tal que permita el establecimiento de otras empresas que presten sus servicios para satisfacer estas demandas(Haggett 1966).

Con este planteamiento, Christaller establece un sistema de jerarquías. El primero es un nodo central como núcleo de concentración de población que ofrece bienes y servicios con cierto grado de especialización y cuya área de influencia es mayor que el que ocupa la población misma; el segundo es el establecimiento del bien o servicio con un nivel de especialización propio de ese lugar central; y el tercero es una región o área de influencia, que abastece un lugar central de bienes y servicios centrales. Así entonces los asentamientos de ésta, fungen como centros que proveen de servicios en menor medida a la población. En este contexto también se clasifica a los servicios de acuerdo al tipo de servicio y a la cantidad.

Con esta teoría, Christaller postula 7 niveles de jerarquías que van desde la aldea hasta la ciudad y sin lugar a dudas hace evidente un modelo de estructuras que es el inicio de lo que más tarde sería un análisis de redes con sus respectivos nodos y relaciones espaciales. Aunque el modelo fue criticado más tarde por geógrafos y economistas hoy en día representa un aporte al análisis espacial pues sentó las bases para la identificación de patrones de asentamiento (Hagget 1966).

La Teoría de la Localización de Von Thünen por su parte planteó la inquietud de saber porqué las tierras utilizadas para cultivo con iguales condiciones, tenían diferentes usos; su hipótesis sugirió que se debía a la distancia entre el producto y su mercado. Para ello imaginó una población aislada que producía ciertos productos para su consumo y un cierto tipo de productos que diferían en rendimiento por hectárea y costo de traslado y que Thünen consideró que debían ser cultivados con diferente intensidad. Con ello, se planteó 2 preguntas: ¿cómo repartir la Tierra de los alrededores de estos núcleos para minimizar los costos de producción y traslado? Y ¿cómo sería la repartición de la tierra si no hubiera un acuerdo entre agricultores y terratenientes? (Haggett 1966). Esto evidentemente se traducía en una oferta y demanda entre la tierra y el producto y en este sentido el agricultor tendría que decidir entre pagar más por el transporte de sus productos o pagar más al terrateniente por el valor de su tierra. El resultado fue una gráfica de anillos concéntricos en dónde identifica los usos de las tierras en función de los diferentes cultivos (figura 2-1).

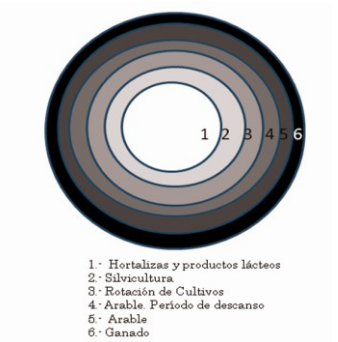


Figura 2-1. Modelo de Von Thünen

Fuente: Modificado de: Mc Canty Harold (1970)

Al igual que la teoría de los lugares centrales, este modelo fue muy cuestionado, por asumir que estas regiones se comportaban y ubicaban en el espacio de manera homogénea; sin embargo, el gran aporte de Thünen dio la pauta a los patrones de zonificación económica no solo en los países desarrollados sino en aquellos con menor grado de desarrollo, a su vez que incorporó variables como: movilidad, mercado y uso del suelo (Janet 1971).

Algunas décadas más tarde Hägerstrand, geógrafo sueco cuyos aportes a la Geografía Humana giran en torno a sus modelos de difusión, sostiene que tanto la innovación como los conocimientos se expanden a lo largo del tiempo y del espacio a través de canales y su dinámica depende de condiciones como vecindad, vínculos locales, así como todos aquellos procesos jerárquicos asociados al orden urbano pero también depende del costo relacionado al proceso de transición de una tecnología a otra. Su hipótesis principal sostiene que la distancia reduce el ritmo de la difusión, así como la velocidad para adoptar las innovaciones (Tulla 1985).

Este modelo se aplicó algunos años después a fenómenos de diversa índole con la premisa de que es recomendable definir los siguientes elementos: el objeto de difusión, el elemento propagador, el elemento receptor, la localización del punto de origen de la difusión y se encuentra vinculado a la teoría de los lugares centrales, en donde la escala jerárquica determina la distancia entre el centro propagador y el receptor. A Hägerstrand se le reconoce como el Padre de los Modelos de Difusión (Lenntrop, 2008).

Con estos modelos y teorías se demuestra que algunas preocupaciones de la Geografía Cuantitativa eran una organización espacial de la sociedad, así como convertir a la Geografía tradicional en una disciplina científica, mediante una revolución teórica que retoma técnicas y métodos geográficos. (Véase Fig. 2). Dicha revolución fue posible gracias a los lenguajes de la estadística y las matemáticas, particularmente se insistió en la introducción de métodos estadísticos avanzados y en el uso de la tecnología cibernética, hasta entonces prácticamente desconocidos por la Geografía.

Pero también estos modelos se desarrollan en un contexto de Geografía Económica como la Teoría de la localización industrial de Alfred Weber, economista alemán cuyo principal planteamiento apunta a la establecimiento de la industria en relación a la ubicación de los recursos naturales y con ello las materias primas, su hipótesis inicial equipara dos industrias: la industria del papel y la industria cervecera, donde las variables para calcular el coste mínimo son el mercado, la distancia como variable dominante y los costes de transporte. A través de la asignación de pesos Weber afirma que aquellas industrias que se ubican lejos de su mercado pierden peso respecto a aquellas que se encuentran cerca de sus materias primas que ganan peso; su aporte, al igual que las teorías y modelos anteriores va en razón del cálculo de costes de movimiento y son el reflejo de un intento por abordar a la Geografía desde un punto de vista de la industria, los negocios, el comercio y la administración (Hamilton 1971).

Así mismo estos modelos desprenden posteriormente premisas como la del coste mínimo, máximo beneficio, nivel de competencia o las economías de escala, en una necesidad de llevar a cabo un análisis muy cuantitativo estas premisas se vinculan al surgimiento de los SIG que más tarde determinan el estudio específico de las relaciones y diferencias una región, un país o un grupo de localidades.

Teoría de Sistemas

La Teoría General de los Sistemas que surge con los trabajos del biólogo Ludwig Von Bertalanffy plantea el establecimiento de teorías más que buscar soluciones a cualquier problema, para ello se basa en tres premisas básicas:

- Las funciones de un sistema dependen de su estructura.
- Los sistemas son abiertos.
- Existen subsistemas dentro de cada sistema.

Un sistema queda definido como un conjunto de elementos dinámicamente relacionados que forman una actividad para alcanzar un objetivo (Bertalanffy 1976). O bien, *"un conjunto de objetos asociados a un conjunto de estados alternativos, donde el estado actual de cualquier objeto seleccionado, depende en parte o completamente de los miembros del sistema"* [(Rothstein ,1958) Citado en Jonhston 1997].

- Así entonces, lo que le suceda a alguna parte del sistema, tiene repercusiones en sus demás componentes. Por lo que:
- Cada sistema existe dentro de otro más grande.
- Los sistemas son abiertos y lo que suceda en un sistema afecta al otro (s).

- Existe un proceso de cambio infinito con su entorno, cuando este cesa, se desintegra el sistema.
- Todo sistema tiene uno o varios propósitos.
- Los sistemas tienen una tendencia al equilibrio (adaptación frente a cambios bruscos)
- Pueden ser concretos (elementos físicos) o abstractos (conceptos, hipótesis, ideas).

En este sentido las funciones de un sistema dependen de su estructura.Tiempo después la ingeniería de sistemas emplea la metodología de la cibernética, la teoría de la información, el análisis de redes.

Y aunque la Teoría General de Sistemas plantea una tendencia hacia la integración de las ciencias sociales y naturales, también incorpora otras teorías como la de la Cibernética cuyo planteamiento *"se basa en la comunicación (transferencia de información) entre sistemas y medio circundante y dentro del sistema y en el control (retroalimentación) del funcionamiento del sistema en consideración al medio"* (Bertalanffy 1976).

Los adelantos que la TGS condujeron a la teoría de los sistemas abiertos, así como a plantear un nuevo enfoque a la teoría física, la termodinámica o la cinética, pero también aportó un punto de vista diferente a otras disciplinas.

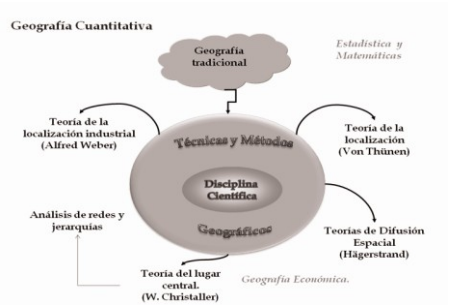


Figura 2-2. Teorías en Geografía Humana

Avances Teórico-metodológicos

Uuno de los mayores intentos en el desarrollo tecnològico de los SIG tiene que ver con la conjunción de dos aspectos: por un lado el conocimiento, que representa la convergencia de disciplinas como la Geografía, Matemáticas o las Ciencias de la Computación, a través de lo cual se suscitaron aplicaciones específicas en infraestructura, planeación urbana o recursos naturales y por otro lado los avances tecnológicos cuyos desarrollos mejoraron las herramientas, interfaces de usuario, velocidad de procesamiento y capacidades de almacenamiento (véase figura 2-3). Por ello es importante reconocer que sin estos avances hubiera sido prácticamente imposible avanzar en términos de la ciencia hay que reconocer también que el internet ha sido el medio de comunicación más aceptado en la historia de la humanidad, a diferencia del teléfono, la radio o la televisión.

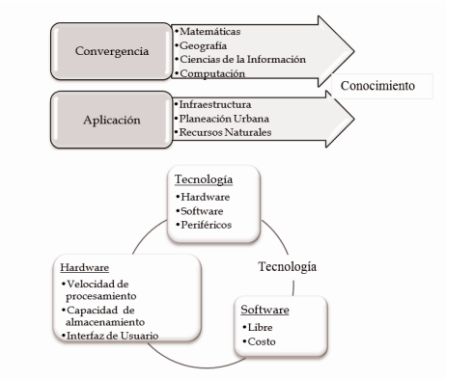


Figura 2-3. Convergencia ciencia-tecnología

Otros aportes

Hasta aquí se ha hecho mención a algunas contribuciones que de manera integral e indiscutible contribuyeron al surgimiento de los SIG, en una evidente necesidad por estudiar el espacio desde un punto de vista de planeación e incorporando a la sociedad a partir de modelos cuyos lenguajes fueron gracias a la estadística y las matemáticas; pero el proceso evolutivo de los Sistemas de Información Geográfica, se relaciona estrechamente a los aportes en las ciencias de la computación como la Geometría Computacional cuya característica esencial es estudiar las formas de los objetos, así como su diseño y comportamiento, de ahí que algoritmos como el vecino más próximo, la intersección o la pertenencia entre objetos, sea el principal objeto de estudio de esta rama de la Computación, contribución que se suma al desarrollo de las Bases de datos, con un sinnúmero de teorías que tienden a un adecuado y óptimo intercambio de datos, no solo de bases de datos espaciales, sino en un sentido más genérico en donde se ponen de manifiesto protocolos, lenguajes y esquemas para hacer más eficiente este intercambio.

Estos esfuerzos se traducen en el argumento de Almacenamiento de Datos Espaciales (*Spatial Data Warehousing),* Procesamiento Analítico en línea Espacial (OLAP) y Minería de Datos (*Spatial Data Mining*) (Méndez Roldán, 2009).

Las matemáticas por su parte, han sido un pilar importante en lo que a génesis y evolución de los SIG se refiere, algunos aportes relacionados a esta ciencia están estrechamente vinculados a la Geometría como una de las más antiguas ciencias en la historia de la humanidad cuyo cuerpo de conocimiento determina el cálculo de áreas, volúmenes o distancias y que aporta grandemente a la Cartografía en términos de representar el espacio a través de un plano. Descartes contribuye grandemente en esta rama de las matemáticas al sugerir el manejo del Plano cartesiano, su método contribuye fuertemente a la Cartografía.

La Estadística Espacial, como su nombre lo indica contextualiza todo análisis que utiliza la estadística y que tiene una dimensión espacial ya sea en términos de las variables que utiliza, o bien del objeto de análisis; esto significa que como entidad podemos referirnos a una región, ciudad o alguna otra cuyas variables pueden estar referidas a características como población, actividad económica, uso de suelo, etc.; algunas mediciones referidas a estadística espacial son: la correlación espacial o el variograma y permiten no sólo el análisis de variables cuantitativas, sino cualitativas y hoy en día también forman parte de las aplicaciones desarrolladas en el contexto de los SIG (véase figura 2-4).

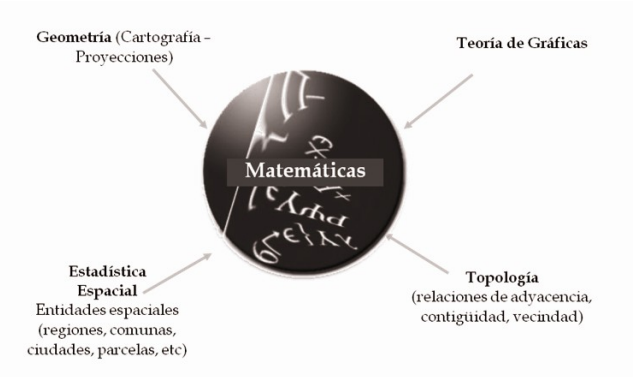


Figura 2-4. Aporte de las matemáticas

Finalmente, y no de menor importancia, la Topología, cuyos planteamientos se encuentran estrechamente vinculados a la Geometría, que como rama de las matemáticas, estudia las propiedades de los cuerpos geométricos así como las relaciones espaciales entre éstos, por lo que su principal interés es hacia conceptos como proximidad, conectividad, inclusión o exclusión, relaciones de los objetos espaciales. En la literatura algunas veces se le atribuyen sus orígenes a Leonard Eulerquien a través de la Teoría de Gráficas plantea el principio de lo que sería el análisis de redes, también se le reconoce como uno de los mejores matemáticos de toda la historia. Con su aporte de la Teoría de Gráficas se lograron resolver muchos problemas sencillos y complejos, relacionados al análisis de redes y distribución de mercancías y en diversas áreas entre las que figuran las ciencias sociales, la lingüística, ingeniería de comunicación y otras (Hernández 1998).Estos aportes representan hoy en día lo que se conoce como el corazón de los SIG: el análisis espacial.

Método y Materiales

Caso de Estudio

El caso de estudio corresponde al módulo de Sistemas de Información Geográfica que forma parte del Diplomado en Geomática y que actualmente imparte el CentroGeo, tiene un total de 40 horas que se encuentran distribuidas aproximadamente en 17 de teoría y 23 de laboratorio. Debido a que este tipo de módulos causa expectativa entre los participantes, al inicio del mismo se les solicita den a conocer su interés y perspectiva acerca del mismo, con la idea de poner en claro el objetivo central del módulo, que por un lado plantea conocer los fundamentos teóricos, elementos y metodología para el diseño e implementación de un SIG y por otro pretende comprender la evolución y los alcances de éstos a fin de elaborar un marco teórico-metodológico que bajo un enfoque integral se inserte en el contexto de la Geomática.

Materiales

Una vez que se conocen las expectativas de los participantes, se hace énfasis en la herramienta a utilizar cuyo objetivo de aprendizaje no es contar con el *expertise* del *software* al término del módulo, sino resaltar la complementariedad de todas aquellas disciplinas pertinentes a la solución de problemáticas geo-espaciales a través del análisis espacial.

El módulo inicia con el esbozo de las teorías geográficas, seguido del enfoque sistémico y resalta la importancia de los avances teórico-metodológicos, a través de los cuáles se aprecia la evolución de los SIG. Previo al inicio del curso, los participantes revisan documentos acordes con los temas iniciales, mismos que se disponen en la plataforma de ambiente virtual (conocida como *Moodle*) así como también todo el material útil al módulo: presentaciones, ejercicios y bibliografía en general.

El uso de esta tecnología ofrece la ventaja de contar con una herramienta de apoyo virtual que permita al alumno ofrecerle los elementos teóricos básicos pertinentes a los objetivos del módulo, así como establecer un proceso de retroalimentación; bajo esta dinámica se programan foros de discusión, módulos de consulta y actividades como ejercicios y tareas. Cabe agregar que esta dinámica facilita poner al alcance de los alumnos, temas que la mayoría de las veces son desconocidos por ellos y que se refieren a la revolución cuantitativa, la teoría de sistemas, la Geometría computacional o la Teoría de Gráficas. Es importante resaltar que ésta plataforma virtual resulta útil a las sesiones teóricas que se refieren al origen y evolución de los SIG motivo de este trabajo, y no está de más precisar que las sesiones prácticas por su parte, requieren el uso del laboratorio con todo lo que ello implica: *software*, bases de datos, *hardware* y métodos.

3. Análisis de Resultados

Los aspectos teóricos hasta aquí propuestos actualmente forman parte del temario del módulo de SIG con dos propósitos específicos: uno que el alumno comprenda el origen y evolución de los SIG, que en el ámbito de sus metodologías y modelos representan la base del análisis espacial; y dos, incentivar la inclusión de un cuerpo de conocimiento relativo a los temas aquí expuestos como la base para comprender el cambio de paradigma en el contexto de los Sistema de Información Geográfica.

El uso de plataformas virtuales como el *Moodle* ha reflejado una sensibilización a la comprensión de temas como los propuestos, fortaleciendo a su vez el aprendizaje en línea con la salvedad de fungir únicamente como herramienta de apoyo, ya que ésta modalidad no sustituye las sesiones presenciales ni del módulo, ni del diplomado por ahora.

Por otro lado, la interacción con la herramienta no ha sido un proceso accesible a todos los participantes, pues aun cuando continuamente se les estimula a que realicen las lecturas, participen en los foros de discusión o hagan preguntas pertinentes a los temas planteados, sólo un 50% del grupo lo logra. Una hipótesis es que se debe a la heterogeneidad misma de cada grupo y a las diversas actividades laborales de cada alumno, pero también a que si nos posicionamos como una comunidad de aprendizaje en línea, aún no estamos familiarizados con el uso de estas tecnologías.

Finalmente esta combinación de aprendizaje colaborativo e introducción de conceptos relativos a éste cuerpo teórico, pretende concebir al SIG más allá de una simple herramienta, concepción que por muchos años ha perdurado en éste contexto.

4. Discusión

Desde hace algunos años, la Geomática como disciplina emergente ha sido motivo de la renovación de diversos planes de estudio en nuestro país, principalmente a nivel licenciatura. Ciertas universidades han consolidado un proceso de transformación que va de la Ingeniería Topográfica a la Ingeniería Geomática, para lo cual se han incluido materias como Percepción Remota, Sistemas de Información Geográfica, Diseño de bases de datos, por mencionar solo algunas y en las que sería valioso introducir la teoría relativa a los temas antes planteados. En el mejor de los casos, otras universidades han impulsado sus programas de posgrado hacia la Geomática, por lo que sus planes de estudio también incluyen materias relativas a los SIG; en ambos casos se sugiere introducir un cuerpo de conocimiento teórico y científico, que refleje la gran riqueza de expresiones intelectuales pertinente o solo a la evolución de éstos sino al contexto de las Ciencias de Información Geográfica.

5. Conclusión

La revisión de programas académicos relacionados a la enseñanza de los SIG en algunas Instituciones, demanda la incorporación de conceptos, métodos, herramientas y procesos que rebase la limitada perspectiva del alumno al concebir el SIG como sinónimo de Software. Este proceso debe contemplarlas materias incluidas en los nuevos planes de estudio principalmente en aquellas instituciones académicas dedicadas a la enseñanza de la Geografía.

La propuesta alude también a todos los campos de acción en los que las Ciencias Geo-espaciales han incursionado para la redefinición de conceptos, métodos y modelos no solo bajo un enfoque científico sino filosófico y multidisciplinario en todas aquellas problemáticas que aquejan a la sociedad.

Referencias bibliográficas

Bertalanffy L V. (1976) Teoría General de los Sistemas, fundamentos, desarrollos y aplicaciones. Primera edición en español. FCE México 311p.

Bo Lenntrop (2008). Innovation Diffusion as Spatial Process (1953): Törsten Hägerstrand. In: Kitchin R. & Hubbard P. Key Concepts in Human Geography. London, Sage editors pp 1-8.

Haggett, P. (1966): Locational Analysis in Human Geography. London, Edward Arnold Publishers.

Haggett Peter. (1972). Geography: A Modern Synthesis. New Yorkharper and Row editions.

Hamilton Ian F.E. (1971). Modelos de Localización Industrial. En: Chorley R.J and Haggett P.(Editors). Modelos, Paradigmas y la Nueva Geografía. Madrid. Ferrari Alfaro Editores. Pp 325-400

Harold M.C, Lindberge James. (1970). Introducción a la geografía Económica. Fondo de Cultura México.

Hernández Bohne C. Aplicaciones de la Teoría de Graficas (1998) Tesis de Licenciatura en Matemáticas aplicadas. ENEP Acatlán UNAM.

Janet D. H. (1971). Modelos de Actividad Agrícola. En: Chorley R.J and Haggett P.(Editors). Modelos, Paradigmas y la Nueva Geografía. Madrid. Ferrari Alfaro Editores. Pp 413-426

Jonhston R.J. (1997). Geography and Geographers. 5th edition Arnold Editors London.

Méndez Roldán I., Báez Ramos G. (2009): Las Bases de Datos Espaciales como nueva componente de los SIG. Departamento de Ingeniería y Gestión de Software y Práctica profesional. Facultad 9 Universidad de las Ciencias Informáticas, Ciudad de la Habana. Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1614

Puyol R. (1987): El uso de los modelos de difusión espacial de innovaciones en el estudio geográfico de la fecundidad. En: Anales de la Universidad Complutense, núm. 7 Ed. Complutense [Consulta: 22-01-2011]. Disponible en http://revistas.ucm.es/ghi/02119803/articulos/AGUC8787110185A.PDF

Tulla F. Anthony. (1985): El Modelo de Difusión de T. Hägerstrand. Una aplicación a la Ganadería del Pirineo. [Consulta: 15-01-2011]. Disponible en http://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/viewFile/41297/52133

LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES EN EL DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Cruz-Solís, Heriberto[1]; Jiménez-Huerta, Edith Rosario[1]; Corona-Medina, Juan Pablo[1]; Palomar-Anguas, María Del Pilar[2]; Anaya-Corona, Margarita[1]; Fausto-Brito, Adriana[1]; Preciado-Gómez, Mayra Paola[1]

RESUMEN

En los últimos años, el ámbito de la Información Geográfica (IG) ha experimentado un importante cambio de paradigma: desde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha evolucionado a la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Este nuevo término se refiere al conjunto de bases de datos, servicios, metodologías, normas y estándares que hacen posible, por un lado, la producción de datos espaciales y, por otro lado, proveer servicios geográficos que nos permiten visualizar, sobreponer, consultar y analizar la información geográfica a través de Internet en un formato accesible para el usuario. En esta comunicación se presentan diversos aspectos de la IDE en el Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, proyecto coordinado por la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), como una iniciativa colectiva con la cooperación de equipos de la empresa *SUN MicroSystems*. Trataremos entonces la arquitectura propuesta, los componentes que la integran, el estado actual de desarrollo y las perspectivas futuras.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Infraestructura de Datos Espaciales, Servicios de Información Geográfica.

BUILDING SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE AT THE DEPARTMENT OF GEOGRAPHY, UNIVERSITY OF GUADALAJARA

ABSTRACT

During the current decade, Technologies of Geographical Information have undergone an important change of paradigm, as Geographical Information Systems have developed into the Spatial Data Infrastructures (SDI). This new term refers to a set of data bases, services, methodologies, norms and standards, which make it possible for both producers of spatial data and those who provide geographical services, to visualize, superimpose, consult and analyze geographical information published on the internet, following clearly defined procedures.
In this paper we present certain features of the SDI at the Department of Geography and Territorial Ordinance (Departamento de Geografía y Ordenación Territorial), a project co-ordinated by the University Internet Development Corporation, (CorporaciónUniversitariapara el Desarrollo de Internet, CUDI), which is being run jointly with teams from Sun Microsystems. In particular, we shall explain the architecture proposed as well as the components it is made up of, showing the current state of development and future prospects.

Keywords: *Geographic Information Systems, Infrastructure of Spatial Data, Geographic Information Services.*

1Universidad de Guadalajara, CUCSH. Avenida de los Maestros y Mariano Bárcenas, C. P. 44260, Guadalajara, Jalisco, México, 2 Universidad Rey Juan Carlos, Campus Móstoles,Madrid, España, E mail: hpk99@cencar.udg.mx, edith.ejimenez@gmail.com, autlann@live.com.mx, palomang@hotmail.com, acmargarita@gmail.com,adrianafb@hotmail.com.

1. Introducción

En el entorno de numerosas disciplinas relacionadas con el espacio geográfico, la información geográfica resulta ser insumo importante para la generación del conocimiento. Toda esta información necesita unos medios físicos para poder transmitirse, y como parte integradora de estos medios están las tecnologías informáticas, para las cuales la información es un elemento base. Nuestra universidad necesita compartir datos geográficos no solamente entre departamentos y centros universitarios, sino también con otras instituciones.

Actualmente, los flujos de información geográfica entre investigadores, docentes y alumnos se realizan teniendo en cuenta, entre otros aspectos, los canales por los que circula y, sobre todo, las arquitecturas que entran en juego durante el intercambio. Esta circunstancia, ha sido una traba importante a la hora de compartir datos geográficos, ya que nos obliga a tener tecnologías semejantes en nuestro entorno, o como mínimo métodos para pasar de unas tecnologías a otras y más si se tiene en cuenta el número de soluciones posibles que surgen de combinar sistemas operativos, bases de datos, protocolos de red, etc.

De esta manera, el laboratorio remoto de información geográfica tiene como objetivo implementar una arquitectura adecuada en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), lo que nos permitirá a través de la tecnología de la *Web* e Internet 2, reducir el tiempo y costo en la extracción y visualización de datos, cartografía temática e imágenes espaciales. Comprobaremos si la utilización de las nuevas tecnologías que conforman la infraestructura de datos espaciales nos facilita la gestión y utilización de la información geográfica.

De esta forma esperamos que una adecuada IDE a través de la *Web* nos permita inter-operar entre sistemas basados en tecnologías distintas o entre los centros universitarios que se encuentran alejados físicamente, acortando sensiblemente los tiempos de adquisición de la información geográfica entre el grupo de investigadores y alumnos.

En esta comunicación se presentan diversos aspectos de la IDE en el departamento de Geografía y Ordenación Territorial, proyecto coordinado por la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), como una iniciativa colectiva con la cooperación de equipos de la empresa *SUN Microsystems*. Trataremos entonces la arquitectura propuesta, los componentes que la integran, los lineamientos al acceso, el estado actual de desarrollo y las perspectivas futuras.

2. Infraestructura de Datos Espaciales: un proyecto con visión multidisciplinaria

De acuerdo con Longley et al (2005), el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se refiere a la descripción, interpretación y predicción de los modelos y procesos a escalas Geográficas. El SIG se convierte en una ciencia, una tecnología, una disciplina, y una aplicación para resolver problemas de manera metodológica. La Ciencia de la Información Geográfica, término acuñado por Michael Goodchild en 1992, se encarga del estudio de los procesos fundamentales para la producción de la información geográfica, dentro de un orden bien definido de la información en general. Otros términos tienen el mismo significado: Geomática, Geoinformática, Ciencia de la Información Espacial e Ingeniería de la Geoinformación.

Internet ha permitido el acceso a los usuarios de SIG a gran cantidad de información proveniente de sitios remotos donde se han realizado la mayoría de los análisis especializados y funciones de interpretación ya han sido ejecutadas. Algunas organizaciones, que poseen grandes bases de datos han empezado a desarrollar infraestructuras de datos públicos, especialmente, en aquellos lugares donde existen grandes inversiones para proporcionar servicios públicos (Peng, 2003).

A los Servicios de Información Geográfica (*GIServices)* se le conocen en España y en algunos países de habla hispana como la Infraestructura de datos espaciales (IDE). Debido al vertiginoso progreso tecnológico de la red informática, la IDE incluye herramientas para la gestión de la información, facilita el acceso, los procesos, las interpretaciones, así como las presentaciones e intercambio. Permite acceder a gran cantidad de información geográfica dentro de un amplio rango de aplicaciones y servicios geoespaciales en línea, incluyendo librerías digitales, gobiernos digitales, Tierra digital, cartografía en línea, bancos de datos, herramientas de soporte para la toma de decisiones en tiempo real, modelados hidrológicos dinámicos, módulos de enseñanza a distancia, etc. (Zhong-Ren and Ming-Hsiang, 2003).

El SIG a través de Internet no necesariamente es sinónimo de los SIG basados en la *Web*. Los primeros utilizan el Internet como un medio para intercambiar datos y realizar análisis espaciales, además de presentar resultados. Mientras que los segundos, basados en la *Web,* utilizan la *WWW* como el medio fundamental. Tanto el SIG a través de Internet y el SIGI basado en la *Web* utilizan el modelo informático cliente/servidor.

De esta forma, el nuevo concepto de Infraestructura de Datos Espaciales incluye un conjunto de datos, servicios, metodologías, normas, estándares y acuerdos, que permiten visualizar, superponer, consultar y analizar la información geográfica publicada en Internet, según estándares bien definidos, por instituciones generadoras de datos y servicios geográficos. Se logra así compartir recursos y, al mismo tiempo, la interoperabilidad[1] entre los diversos sistemas implementados por los agentes implicados.

En el entorno de numerosas disciplinas relacionadas con el espacio geográfico, la información geográfica resulta ser insumo importante para la generación del conocimiento. Esta información necesita unos medios físicos para poder transmitirse, y como parte integradora de estos medios están las tecnologías informáticas.

Nuestra universidad necesita compartir datos no solamente entre departamentos y centros universitarios, también con otras instituciones y empresas. Actualmente, los flujos de información geográfica entre investigadores, docentes y alumnos precisan arquitecturas comunes, o como mínimo semejantes. Esta circunstancia, ha sido una traba importante a la hora de compartir datos geográficos, ya que nos obliga a tener tecnologías semejantes en nuestro entorno, o como mínimo métodos para pasar de unas tecnologías a otras.

[1]El concepto de interoperabilidad es definido por Rodríguez (2006) como la capacidad para comunicar, ejecutar o transferir datos entre varias unidades funcionales de tal manera que el usuario no necesite tener ningún conocimiento o muy poco sobre las características particulares de tales unidades.

De esta forma, nuestro objetivo se centra en diseñar y poner en operación la arquitectura de un nodo de Infraestructura de Datos Espaciales a través del *Web Service* que nos permita inter-operar entre sistemas basados en tecnologías distintas o entre los centros universitarios que se encuentran alejados físicamente, acortando sensiblemente los tiempos de adquisición de la información geográfica entre el grupo de investigadores y alumnos y, por lo tanto, ahorrando costes al recortar los tiempos de recuperación.

Partimos de la hipótesis de que una arquitectura adecuada en la IDE nos permitirá a través de la tecnología de la *Web* e Internet 2, reducir el tiempo y costo en la extracción y visualización de datos, cartografía temática e imágenes espaciales. Comprobaremos que la utilización de las nuevas tecnologías que han aportado la infraestructura de datos espaciales ha producido un gran cambio en la gestión y utilización de la información geográfica.

En esta comunicación se presentan diversos aspectos de la IDE en el departamento de Geografía y Ordenación Territorial, proyecto coordinado por la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), como una iniciativa colectiva con la cooperación de equipos de la empresa *SUN Microsystems*. Trataremos entonces la arquitectura propuesta, los componentes que la integran, el estado actual de desarrollo y las perspectivas futuras.

3. La organización de la IDE a través del Laboratorio Remoto de Información Geográfica

El nuevo paradigma de la información espacial en el campo de la Geografía se convierte en un amplio concepto que incluye todo lo que comprende la gestión de la Información Geográfica (IG), de esta manera, supone una transformación sustancial en los métodos de trabajo, así como la difusión y utilización de los resultados.

La globalización ha llegado acompañada de avances en las tecnologías de las telecomunicaciones y, especialmente, Internet; ha logrado intercomunicar con eficacia muchos rincones de nuestro planeta. De esta forma, la incorporación de procedimientos computacionales se ha vuelto imprescindible para la enseñanza y el estudio de la ciencia y tecnología. En nuestro ambiente universitario ha transformado radicalmente las esferas de la actividad docente y de investigación de nuestro departamento de Geografía y, en particular, la gestión de la IG.

Así, la Geografía en general y todas las disciplinas que comienzan a incorporar la dimensión espacial en sus estudios se han visto altamente beneficiadas con este proceso.

El proyecto "laboratorio remoto de información geográfica" en la actualidad está en proceso de construcción. Pretendemos que el geoportal IDE del laboratorio remoto ofrezca los tres servicios básicos de una IDE: servicios de mapas en la *Web*, nomenclátor y servicios de catálogo en la web, integrados en un visualizador que permita su encadenamiento de modo transparente para el usuario.

En el proceso metodológico trazado para obtener la IDE podemos mencionar los aspectos que se señalan a continuación. El programa base utilizado es el *AlovMap*. Asimismo estamos utilizando el programa *WampServer* que contiene el servidor apache 2.2, el lenguaje php 5.2 y el servidor de datos *MySQL* 5.0; mediante el cual gestionamos la información geográfica y, de esta manera, se pueda tener acceso al servidor de mapas. El diseño del geoportal se está construyendo a través de los lenguajes HTML y *JavaScript*, tanto para obtener la interfaz del usuario como su validación. De esta forma, el usuario podrá hacer el enlace de la base de datos desde la página principal, y visualizará los resultados obtenidos mediante el lenguaje php.

3.1. La arquitectura del nodo de IDE en el Laboratorio de Nuevas Tecnologías, con el apoyo de la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI) y la empresa SUNMicrosystems

La Infraestructura de Datos Espaciales del Departamento de Geografía es un proyecto coordinado por el Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet y la empresa *SUNMicrosystems*. Para cumplir con el objetivo del proyecto necesitamos disponer de un servidor para brindar la consulta de la información geográfica digital con que cuentan los laboratorios a través de terminales SunRay™ 2 *SUN Microsystems.*

Partimos del supuesto que ya no tiene tanto sentido el recopilar y atesorar datos espaciales como algo valioso, de uso restringido y también calidad poco comprobada. En un entorno de especialistas expertos en el uso de las tecnologías de la información geográfica interesa abrir los sistemas, compartir el acceso a la información geográfica con la comunidad universitaria a través de Internet2, (por el rendimiento que ofrece esta red, necesario para el traslado de los datos e imágenes generadas). En definitiva, permitir al usuario acceder a un conjunto creciente de funcionalidades sin exigirle un alto grado de especialización. Todo ello con la finalidad de dar respuesta a uno de los supuestos de la considerada por Buzai (2008), la geografía global basada en el paradigma geotecnológico.

De esta manera, aprovechando la visión de la geografía automatizada, producto de los adelantos tecnológicos, planteamos establecer un laboratorio remoto de información geográfica a través de Internet2. Como ya lo indicamos, el objetivo es generar la plataforma para que, en el mediano plazo, se pueda compartir la información geográfica digital del laboratorio de cartografía, así como la generada en el laboratorio de nuevas tecnologías a través del proyecto denominado "Atlas de producción de suelo urbano del área metropolitana de Guadalajara" en el que hemos venido trabajando desde finales de 1999.

Laboratorio remoto de información geográfica

La sociedad universitaria actual cada vez más demanda información referenciada espacialmente para el conocimiento del entorno y, técnicamente, a través de las IDE las posibilidades existentes son muy amplias.

De esta forma, el concepto central, alrededor del que se estructura toda la tecnología, ya no son los datos, núcleo de los SIG que consumían la mayor parte de los recursos invertidos, sino los servicios que permiten que la sociedad en su conjunto amortice las inversiones realizadas en la generación de datos y en el establecimiento de sistemas de información.

Las metas que deberá atender la implementación de la IDE en el Departamento de Geografía se pueden definir en torno a cuatro puntos:

a) Facilitar que los alumnos, profesores e investigadores de los centros universitarios compartan de manera eficaz la IG que gestionan para evitar duplicidades de esfuerzos, reducir las inversiones realizadas y garantizar que todos los productos cartográficos utilicen un estándar de datos geográficos básicos, los llamados datos de referencia.

b) Contribuir a la administración de la información geográfica a través de Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet2, de manera que toda gestión en la que intervenga un plano o un documento cartográfico cualquiera pueda ser automatizado de manera sencilla.

c) Poner a la disposición de los estudiantes e investigadores de nuestros centros universitarios toda la IG gestionada por los laboratorios de Cartografía y Nuevas Tecnologías a través de servicios IDE libres, abiertos y gratuitos, por lo menos en cuanto a búsqueda por catálogo y visualización.

d) Una última meta es ampliar la IDE, en la medida de lo posible, al sector privado y al público en general, brindándoles la posibilidad de publicar sus datos espaciales, y sus servicios si así lo desean.

La dimensión temporal del Laboratorio Remoto de IG

En ese tenor, a partir de 2000, con la conformación de los laboratorios de Nuevas Tecnologías en Geografía y el de Cartografía, pusimos énfasis en la información geoespacial. Hemos sido testigos de cómo el mapa, que se ha considerado tradicionalmente el lenguaje de la geografía, ha evolucionado en flexibilidad y dinamismo a través de la incorporación de la tecnología de los SIG. Como lo expresa Buzai (2008), en el ámbito de la geografía como ciencia los SIG están produciendo, al mismo tiempo, una revolución teórica y una revolución intelectual.

A partir de esa fecha, trabajando bajo la nueva perspectiva basada en la automatización digital de los procedimientos geográficos, hemos recopilado gran cantidad de información, tanto del estado de Jalisco como del área metropolitana de Guadalajara, provenientes de diferentes fuentes almacenadas en nuestras bases de datos cartográficas.

Actualmente, gracias a la actividad de estos laboratorios, estamos en proceso de cambio desde los SIG, considerado como una tecnología que nos permite construir modelos del mundo real para satisfacer unas demandas de información muy concretas y específicas con fines de investigación y docencia, a las IDE, como sistemas basados en la apertura de servicios estandarizados, accesibles a través de la red, que proporcionan una infraestructura libre, que tiendan a la máxima difusión, aprovechable por todo tipo de usuarios para sus fines particulares.

3.2. Datos disponibles para el Laboratorio Remoto de IG

A través del servicio de mapas en la *Web* fácilmente integrable en la IDE, será posible acceder a la visualización y consulta de una gran cantidad de datos de distinta procedencia, temática y resolución que se encuentran disponibles en el Laboratorio de Cartografía. Esta información será de gran utilidad, en principio, a nuestro centro universitario en donde se imparten diferentes cursos relacionados con las Tecnologías de la Información Geográfica, en la Licenciatura en Geografía y en la Maestría en Desarrollo Local y Territorio.

El Laboratorio de cartografía desde sus inicios cuenta con un acervo cartográfico analógico de todo el país, producto de un convenio que se llevó a cabo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), institución responsable de generar la cartografía en México. Dicha información comprende mapas de diferentes temas: edafología, topografía, usos del suelo, geología, uso potencial, hidrología, y climas, a escalas 1: 50,000 y 1: 250,000, principalmente. Además de mapas antiguos de la ciudad de Guadalajara, del estado de Jalisco, planos de haciendas, entre otros; éstos han sido donados por algunas instituciones públicas y por particulares.

La base de datos espacial del laboratorio se empezó a conformar con la digitalización del acervo cartográfico analógico, teniendo hasta el momento terminado todo el Estado de Jalisco (cuya extensión es de 80,137 km^2).

Durante los últimos años la base de datos geográfica se ha visto incrementada, al grado de que actualmente se cuenta, para el estado de Jalisco, con las imágenes del satélite *Landsat* de 1970, 1990, 2000 y 2003, imágenes del satélite *Spot* de 2005 (para la costa del estado), Modelos Digitales de Elevación, Ortofotos, Topónimos, vectoriales de curvas de nivel, hidrografía, vías de comunicación, límites municipales, trazas urbanas de las cabeceras municipales, información estadística de población de 2000 y 2005.

El incremento de la información espacial se ha debido, en gran medida, al apoyo recibido por parte de las autoridades universitarias para la compra de datos, por los convenios que se han realizado con Instituciones públicas generadoras de información, como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI),el Instituto de Información Territorial del estado de Jalisco (IIT) y recientemente con la Secretaría de Marina, la cual cuenta con una antena receptora de imágenes de los satélites *Spot* 2, 4 y 5. Cabe señalar que los investigadores de nuestra comunidad universitaria, también han venido aportando datos geográficos.

De esta manera contaremos a nivel estatal con la información de las bases cartográficas numéricas del INEGI, así como los modelos digitales de Terreno (MDT), datos complementarios (división administrativa, vértices geodésicos), datos temáticos de algunas investigaciones y una buena parte del Atlas de Producción de suelo urbano del AMG (actualmente se puede consultar en el portal http://www.udg.mx/atlasdesuelourbanodegauadalajara). En este proyecto se encuentra información en unidades espaciales por debajo del ámbito municipal (áreas geo-estadísticas básicas) definidas por el INEGI.

3.3. Elementos básicos del Laboratorio Remoto basado en Internet SIG y su entorno

El SIG normalmente contiene el lado cliente y el lado servidor. El servidor comúnmente puede ser utilizado como un servidor *Web* para el almacenamiento de los datos requeridos.

- El Internet SIG tiene cuatro componentes principales que debemos tomar en consideración para la arquitectura del nodo, que mencionamos a continuación:
- El cliente. Servidor de interfaz de usuario para los usuarios a interactuar con programas de Internet SIG.
- Servidor *Web* con servidor de aplicaciones. Recibe las peticiones del cliente, servicio de páginas *Web* estáticas, invoca al servidor de aplicaciones.
- Servidor de mapas. Procesa peticiones del cliente y genera resultados.
- Servidor de datos. Sirve para datos geoespaciales y no espaciales y proporciona acceso a los datos y la gestión a través de un lenguaje de consulta estructurado (SQL).

El segundo componente en *Internet SIG* está compuesto del servidor *Web* y el servidor de aplicaciones. El servidor *Web* es también llamado servidor *HTTP* siendo su principal función responder a las peticiones desde el navegador *Web* a través de *HTTP*.

Existen varias maneras para que el servidor *Web* responda a las peticiones del cliente:

- Mediante el envío de documentos HTML o hacer imágenes de mapas del cliente.
- Mediante el envío de Java applets en la Web del cliente.
- Mediante la aprobación de solicitud para programas e invocando otros programas tal como CGI a estos procesos de consulta.

Cuando el servidor *Web* pasa la petición del cliente a otros programas, solicita los servicios de los servidores de aplicación. Un servidor de aplicación puede ser un programa de cola o *middleware* que conecta el servidor *Web* con las aplicaciones del lado del servidor, tal como el servidor de mapas. De esta manera actúa como un conector entre el servidor *Web* y el servidor de mapas. De esta forma, éste último llega a ser uno de los principales componentes que cumple las funciones de realizar las consultas espaciales, la elaboración del análisis espacial, además que genera y entrega la cartografía de acuerdo con las peticiones de los usuarios.

El siguiente aspecto a considerar es que el *Web* está basado en tres componentes tecnológicos de carácter estándar básico.

- El lenguaje de etiquetado de hipertexto (HTML, HypertextMarkupLanguaje). Es un lenguaje para especificar el contenido y el diseño de las páginas que son mostradas por los navegadores.
- Localizadores Uniformes de Recursos (URL, UniformResourceLocator). Identifican documentos y otros recursos almacenados como parte del Web.
- Una arquitectura del sistemas cliente-servidor, con reglas estándar para interacción (El protocolo de transferencia de hipertexto- HTTP, Hypertext Transfer Protocol) mediante la cual los navegadores y otros clientes obtienen documentos y otros recursos de los servidores Web.

Finalmente, para hacer la petición a un servicio desde un *web service* debe ser mediante la llamada al servidor y la ejecución de la consulta hecha por el usuario; la respuesta se dará de la misma forma mediante otro mensaje.

Así, para que la comunicación entre los distintos elementos sea posible, es necesario un lenguaje estándar común como lo es *XML*. El lenguaje *XML* (e*Xtensible**M**arkup**L**anguaje*) tiene una gran importancia en el *web service*. Este lenguaje surgió como una derivación del lenguaje *SGML* (*Standard Generalized**M**arkup**L**anguaje),* mismo que se diseñó con el propósito de ser utilizado como estándar en el ámbito internacional para la definición de contenidos y estructuras en documentos electrónicos.

4. Construcción del nodo IDE para el Laboratorio Remoto de IG

Para la creación de la estructura jerárquica de acuerdo a la arquitectura del nodo IDE, se utilizó el lenguaje *XML* debido a la facilidad que da al momento de mostrar las imágenes en formato *.shp* (*Shapefile*) y la forma de cómo se estructuran las etiquetas, por el mismo motivo que se le puede llamar de cualquier forma, siempre y cuando, conserve el significado.

A continuación se mostrará una parte del código realizado en *XML* en donde se puede apreciar la forma jerárquica de la estructura en que se visualiza la IDE.

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<layer name="Manzanas 2000" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="2"  >
<dataseturl="municipios/manzanas2000.zip" />
<renderer charttype="bar">
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
```

En este código se observa la estructura jerárquica del código *XML* en donde el resultado mostrará la cartografía y las imágenes geo-referenciadas en el explorador *Web*. Para la visualización de nuestra IDE hicimos uso de los *applets,* ya que contienen un parámetro denominado *archive,* mismo que nos permite obtener un archivo .mar en el que se incluyen las clases necesarias para que el *applets* pueda realizar su función.

El *AlovMap* trabaja bajo el lenguaje Java, ésta es una característica muy importante al momento de ejecutar cartografía avanzada. Este *software* es de uso libre y tiene características especiales para mostrar cartografía tanto vectorial como *ráster*, en formato independiente o *standalone* y para su publicación por Internet en Navegadores *Web*. Se basa en una arquitectura de representación por temas con información geoespacial. La navegación a través de diferentes escalas y medios, permite trabajar con información múltiple, como documentos, geotextos y portales hipervinculados con características más cualitativas.

De esta forma, el *AlovMap* llega a ser una herramienta de gran utilidad al momento de mostrar información cartográfica. Esta aplicación tiene propiedades esenciales que nos permitió visualizar la información cartográfica a través de la *Web* con el apoyo de los *applets* utilizando *XML*. De esta forma, a través del navegador *Web* podemos visualizar nuestra cartografía y el vínculo de los elementos con la base de datos correspondiente, mostrando los elementos significativos y/o límites de cada área cartográfica.

La utilización de *AlovMap* fue de gran utilidad pues nos proporcionó una múltiple plataforma y la visualización de datos, cartografía temática, imágenes de satélite, acceso a base de datos y una interfaz gráfica en donde podemos gestionar de acuerdo a las características antes mencionadas. A continuación mostramos la imagen de lo que representa nuestra IDE para el crecimiento del área metropolitana de Guadalajara (figura 2-5), con la sobreposición de la imagen de satélite de la metrópoli, así mismo, se presenta el código generado para la realización de este proyecto.

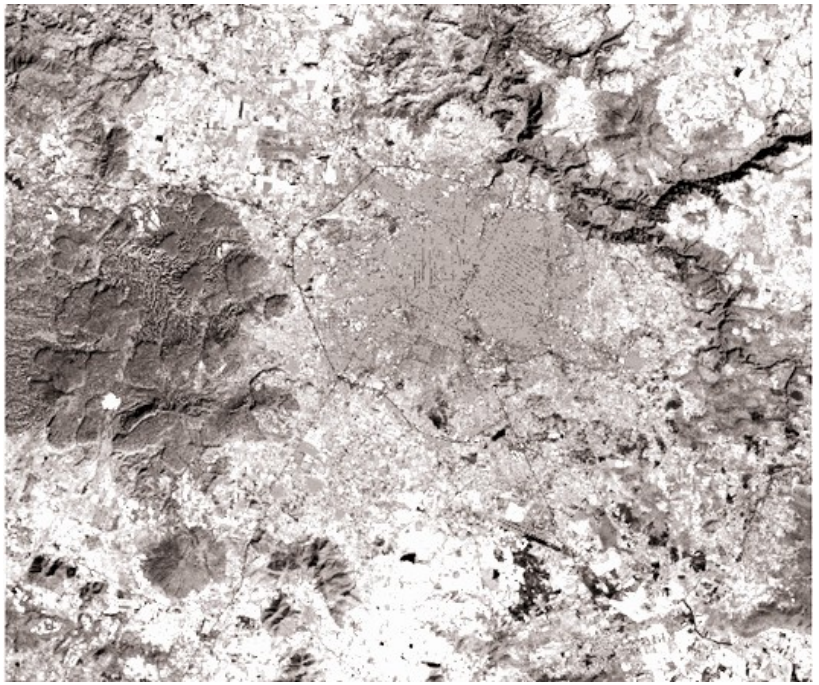


Figura 2-5. Imagen de Satélite con sobreposición de la cartografía del área metropolitana de Guadalajara (2000)

Fuente: Laboratorio de Nuevas Tecnologías en Geografía de la Universidad de Guadalajara

Código para la visualización de la cartografía del crecimiento de área metropolitana de Guadalajara

```
<! DOCTYPE HTML PUBLIC "- 1,0 //W3C//DTD XHTML Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd ">
<html xmlns= " http://www.w3.org/1999/xhtml " >
<head>
<meta http-equiv= " Content-Type " content= " text/HTML; charset=utf-8 "/>
<title>Webmapping</title>

<style type="text/css">
<!--
.style1 {font-family: Georgia, "Times New Roman", Times, serif}
.style3 {font-family: Georgia, "Times New Roman", Times, serif;
                color: #FF33CC;
                font-size: 16px;} -->
</style> </head> <body>
<applet codebase =""
code= "org.alov.viewer.SarApplet"
archive= "alov_applet.jar "
width= 100% height= 100% name="mapApplet" align="center" >
<param name="pid" value="gdl_1.xml">
</applet>
</body>
</html>
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<project zoomunits="meters" mapunits="meters" compact="yes">
<layer name="Manzanas 2004 - 2005" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" >
<datasetурl="amg/manzanas2004-2005.shp"/>
<renderer>
<symbol fill="255:64:159" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 2000" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="2" >
<datasetурl="municipios/manzanas2000.zip" />
<renderer charttype="bar">
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1993" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="3" >
<datasetурl="municipios/manzanas93.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1984 - 1985" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="4">
<datasetурl="municipios/manzanas84-85.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1971 - 1972" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="5" >
<datasetурl="municipios/manzana71-72.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1942" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="6" >
<datasetурl="municipios/1942 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1935" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="7">
<datasetурl="municipios/1935 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1920" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="8">
<datasetурl="municipios/1920 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1916" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="9">
<datasetурl="municipios/1916 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1902" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="10">
<datasetурl="municipios/1902 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1821" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="11">
<datasetурl="municipios/1821 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1753" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="12">
<datasetурl="municipios/1753 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1745" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="13">
<datasetурl="municipios/1745 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
<layer name="Manzanas 1741" visible="no" showlegend="yes" keymap="yes" order="14">
<datasetурl="municipios/1741 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:0:128" outlined="no" />
</renderer>
</layer>

<layer name="Manzanas 1732" visible="yes" showlegend="yes" keymap="yes" order="15">
<datasetурl="municipios/1732 manzanas.zip" />
<renderer>
<symbol fill="255:23:139" outlined="no" />
</renderer>
</layer>
</project>
```

5. Discusión y valoración de hallazgos

De acuerdo con los diversos autores, las nuevas Tecnologías de la Información representan la columna vertebral de la IDE y muestran una influencia significativa sobre la utilización de los sistemas de base de datos y la tecnología de portales *Web* a través de Internet 2.

La utilización de las nuevas tecnologías garantiza la disponibilidad y evaluación de la información para los investigadores, ayuda en la toma de decisiones para solucionar algunas de las necesidades del área metropolitana de Guadalajara de acuerdo a la información cartográfica e imágenes de satélite mostradas en el portal.

Una arquitectura adecuada del nodo en la IDE nos permitió, de manera eficiente, reducir el tiempo y costo en la extracción y visualización de datos, cartografía temática e imágenes espaciales. Asimismo, hemos comprobado que la utilización de las nuevas tecnologías que ha aportado la infraestructura de datos espaciales ha hecho un gran cambio en la gestión y utilización de la información geográfica.

La realización de este trabajo inició con las necesidades de un grupo de investigadores para dar a conocer información recabada en los últimos años a través de varios proyectos de investigación, por tal motivo, se realizó una introducción a los servicios de información geográfica comúnmente denominado "Internet SIG". Hemos constatado que trabajar con la información geográfica y las tecnologías de información dentro de una red simplifican y garantizan la seguridad de los datos con un sistema de base de datos donde toda la información obtenida sea capturada en el sistema y mostrada en una página *Web* a través de internet 2.

Es por esto la importancia que juega la informática y las ciencias computacionales en la IDE para mostrar que es necesario implementar procesos que mejoren el trabajo de las instituciones y, por consiguiente, la toma de decisiones de los proyectos. Así mismo, la Geografía juega un papel importante en el ámbito de la informática por el cual es necesario que varios procesos sean emigrados a la tecnología para garantizar el futuro de la información geográfica en nuestra ciudad. Debemos tener en cuenta que hoy en día estamos viviendo un importante aumento en las tecnologías de la información, por este motivo, es indispensable proyectar los datos a través de la informática. En nuestra IDE se refleja una mejora considerable en la utilización de las ciencias de la computación por el cual estamos garantizando la forma correcta de transmitir los datos e imágenes a través de las tecnologías y servicios informáticos. Además debemos tener claro que la información geográfica contienen un gran volumen de datos tanto como numerosos mapas, sin duda alguna es necesario contar con un proceso, una infraestructura en donde podamos alojar los datos, mostrarlos y mantener una actualización significativa en el ámbito de la computación y la información geografía.

Por lo tanto, cualquier rama de la investigación o del sector privado tiene la necesidad de apoyarse en las tecnologías y las ciencias computacionales ya que en algún momento el futuro de estas tecnologías de la información será el comienzo de las nuevas generaciones.

6. Conclusiones

La tecnología que aportan las infraestructuras de Datos Espaciales y, en particular, el establecimiento de una IDE a través del laboratorio remoto de información geográfica, supone una utilidad en la gestión de la información geográfica, que deberá permitir alcanzar el libre acceso para el uso de este tipo de información, para una adecuada toma de decisiones encaminada a la ordenación territorial.

El objetivo de trabajar con información geográfica dentro de Internet que establece la arquitectura de la IDE, nos permitió simplificar los procedimientos para localizar, acceder y utilizar la información geográfica producida por los laboratorios de cartografía y nuevas tecnologías de nuestro centro universitario. Se logró entonces, además de la disminución del costo de la gestión, el acceso interoperable, tanto a los datos, como a los servicios a través del laboratorio remoto.

El laboratorio remoto es un proyecto conjunto entre cuatro centros universitarios de la Universidad de Guadalajara (CUCSH, CUCEA, CUAAD, CGTI) y la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet. Con él colaboran organismos e instituciones a nivel nacional y estatal del sector público y una del privado, por lo que queda demostrado que son necesarios los esfuerzos interdisciplinarios.

La utilidad de los *Geographic Information Services* en nuestro entorno no ha sido todavía explotada significativamente, sabemos que el servicio es el concepto central del sistema y que debemos de poner énfasis en la calidad del mismo que pretendemos ofrecer en el geo-portal del laboratorio remoto. De esta forma, si logramos una arquitectura adecuada en nuestra IDE y perfeccionamos todos los aspectos implicados esperamos obtener el éxito en accesibilidad, disponibilidad, estabilidad y rendimiento de nuestro servicio.

Referencias bibliográficas

Brown, M. C. (2006): Hacking Google Maps and Google Earth. Wiley Publishing, Inc. 373 pp.

Buzai, G. D. (2008): Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cartografía temática. Lugar Editorial S. A. Argentina.131 pp.

Lake, R.; Burggraf, D. S.; Trninic, M.; Rae, L. (2004): Geographic Mark-up Language (GML). John Wiley and Sons, Ltd. 388 pp.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhin, D. W.; (2005): Geographic Information Systems and Science. Second Edition. Jon Wiley & Sons, Ltd. 517 pp.

Peng, Z.; Tsou, M. (2003): Internet GIS. Distributed Geographic Information Services for de Internet and Wireless Networks. Jon Wiley&Sons, Inc. 679 pp.

Rodríguez Pascual, A.; Abad Power P.; Alonso Jiménez A. (2006): "La infraestructura de datos espaciales de España (IDEE): un proyecto colectivo y globalizado. Pp.14-30. En Avances en las Infraestructuras de datos Espaciales. Carlos Granell, Michael Gould (eds.). Collecció Treballs d'iformática i tecnologi, Núm. 26. Universitat Jaume I. Castelló de la Plana.

SECCION 1II.

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

CARTOGRAFÍA DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA SALUD EN MÉXICO

Marcela Virginia Santana Juárez[1], María del Carmen Juárez Gutiérrez[2], Elsa Mireya Rosales Estrada[1], Luis Ricardo Manzano Solís[1], Blanca Estela Gil Librado[1], Guillermo Rodríguez Fernández[1] y Giovanna Santana Castañeda[1]

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es revelar los patrones geográficos de la infraestructura de la salud en México, en específico la atención y cobertura, recursos humanos y programas de vacunación, por tipo de institución. Las escalas cartográficas son 1: 8,000,000 y 1:16,000,000. Los niveles son de tipo estatal y municipal. Las fuentes de información son los Anuarios estadísticos de cada uno de los estados de México, con datos del año 2007, del INEGI. Entre los hallazgos principales de la investigación destaca el hecho de que en México, la distribución de la infraestructura en salud presenta una diferenciación espacial y desigualdades notorias entre estados y entre municipios.

Palabras clave: patrones geográficos, infraestructura, cobertura, salud.

CARTOGRAPHY OF THE INFRASTRUCTURE FOR HEALTH IN MEXICO

ABSTRACT

The aim of this study is to reveal the geographic patterns of health infrastructure in Mexico, specifically the care and coverage, human resources and vaccination programs, by type of institution. Mapping scales are 1: 8,000,000 and 1:16,000,000 at state and municipal levels. The information sources are the Statistical Yearbooks of each of the states of Mexico, with data of 2007 from INEGI. Among the main findings of the research it highlights the fact that in Mexico, the distribution of health infrastructure presents a spatial differentiation glaring inequalities among states and municipalities.

Keywords: *geographic patterns, infrastructure, coverage, health*.

---

[1]Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.Cerro de Coatepec, s/n Ciudad Universitaria, Toluca, México C.P. 50110. E-Mail: mvsantana7@hotmail.com. [2]Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

1. Introducción

La Geografía de la salud, como rama de la Geografía humana y de la Geografía física, estudia la distribución de la salud, la enfermedad, la mortalidad, los servicios y sistemas de salud, así como los vectores y su relación con factores locales y globales que inciden en ellos, que son las características físico geográficas y ambientales del territorio y las características socioeconómicas, demográficas, tecnológicas y culturales de la población.

La geografía de la salud es holística e integral, que aporta propuestas en las etapas preventiva y prospectiva de la salud. Este estudio es parte del Atlas de patrones geográficos de la salud en México, lidereado por el Instituto de Geografía, de la UNAM, y en el que la Facultad de Geografía de la UAEM, desarrolló el tema de infraestructura de salud: atención y cobertura, para el que se elaboraron más de 30 mapas.

Este capítulo presenta la distribución de la infraestructura en salud considerando: población derechohabiente, recursos humanos, unidades médicas y programas de vacunación, principalmente a nivel general y estatal. Aunque también se presentan algunos mapas a escala municipal y la importancia de la cartografía para el análisis espacial, como una de las bases en la toma de decisiones.

2. Antecedentes

En México, la empresa de Sistemas de Información Geográfica en Salud, (SIGSA) ha realizado SIG y Atlas de salud a nivel nacional y estatal. Los proyectos en los que ha participado SIGSA son: Atlas Nacional de Salud; frontera Norte XXI, que es un Sistema de Información Geográfica de México- Estados Unidos para el soporte en la toma de decisiones de salud ambiental, implicando la construcción de una base cartográfica a nivel de AGEB rural y urbano para todos los municipios que comprenden la franja fronteriza. Sistema de Información Geográfica en Salud; control de paludismo en Oaxaca, diseño y aplicación de un SIG integral, para el seguimiento, interpretación y evaluación de la información epidemiológica y las acciones de prevención y control de paludismo.

El Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), es un grupo multidisciplinario de investigadores en salud pública y tecnología de la información, cuyo objetivo es construir y administrar un banco integral de información georeferenciada, donde se concentre y combine la información relevante en salud, las estadísticas nacionales, resultados de encuestas y proyectos de investigación, información sociodemográfica, socioeconómica y del medio físico, para realizar procesos analíticos de interés para el sector y que garantice su acceso electrónico universal en línea a través de internet y de aplicaciones multimedia en discos compactos.

Algunos de los productos son: Atlas de salud 2002, Atlas de la salud 2003, Atlas de infraestructura en salud, el sistema de información geográfica en salud y el sistema de consulta remota sobre información en salud, la escala de análisis es a nivel estatal.

El Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ha publicado el *Atlas Nacional de México en 1990* y *Atlas Nacional de México en 2008.* En estos atlas se incorpora el tema de medio ambiente, población y salud, el que se presenta las temáticas de infraestructura física y servicios prestados; formación de recursos humanos en medicina, odontología y enfermería; recursos humanos en el área de salud; población derechohabiente; mortalidad general y por causas específicas; mortalidad por grupos de edad; y la distribución de factores asociados con enfermedades infecciosas como el dengue, paludismo, tuberculosis, infecciones intestinales e infecciones respiratorias agudas; así como con enfermedades crónicas como los tumores malignos, cirrosis hepática, enfermedades del corazón y diabetes mellitus; de

igual manera los accidentes de tránsito terrestre y homicidios. Sin embargo a nivel nacional, no se había elaborado un Atlas de salud, en el que participen profesionales de diversas disciplinas, tanto a escala estatal como municipal, que integre una plataforma integral de la salud humana, para una mejor calidad de vida de la población, por lo que actualmente ésta es una de las áreas potenciales que se debe aprovechar, tanto en ámbitos públicos como privados.

3. Materiales, datos y métodos

Caso de estudio: México
Delimitación espacial. Se trabajó en dos niveles: estatal y municipal. Las escalas cartográficas son 1: 8,000,000 y 1:16,000,000.
Delimitación temporal, año 2007. Porque se requiere información lo más actualizada posible.
Datos: Anuarios estadísticos de cada uno de los estados de México, del INEGI (2008), en impreso y por Internet.

3.3. Técnicas de análisis

La clasificación de los rangos se estableció con base en el método para establecer límites de clases de intervalos irregulares o variables, siendo para este caso cinco clases: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Se capturó la información en MS Excel y se implementaron las bases de datos en el programa MS Access. Se elaboró la cartografía en el *software* ESRI ArcGIS. De acuerdo con Gómez M. (2004), el método para establecer límites de clases de intervalos irregulares o variables consiste en los pasos siguientes:

Por ejemplo, se tienen 32 observaciones o datos que varían de 688,575 (valor más bajo) a 10,355,414 (valor más alto). Con estos datos se establece el número de clases y sus límites, para ello se procede aplicando la fórmula propuesta por Brook-Carrouthers (Citado por Gómez M.). Para este estudio se establecieron cinco clases: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Paso 1. Restar al logaritmo del valor máximo, el logaritmo del valor mínimo:

Log. 10355414 = 7.02
\- Log. 688575 = 5.84
1.18

Paso 2. El resultado de esta resta se divide entre el número de clases, en este caso son cinco. 1.18/5 = 0.34 este valor se considera como una constante.. Al logaritmo del valor máximo se le resta la constante, al resultado se le vuelve a restar la constante y así sucesivamente, a cada uno de ellos se le calcula el antilogaritmo.

7.02 – 0.34 = 6.78 antilog = 6021771
6.78 – 0.34 = 6.54 antilog = 3501716
6.54 – 0.34 = 6.31 antilog = 2036281
6.31 – 0.34 = 6.07 antilog = 1184116
6.07 – 0.34 = 5.84 antilog = 688575

Se busca el antilogaritmo de cada uno de los resultados y se usan como límites de las clases requeridas. A partir de este método se elaboró toda la cartografía, tanto a nivel estatal como municipal. Para el caso de este capítulo se presentan a continuación las clasificaciones respectivas, a nivel estatal (Tabla3- 1).

Tabla 3-1. Clasificaciones para los Estados

Población derechohabiente			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	5,258,520	10,355,414
4	Alto	2,670,297	5,258,519
3	Medio	1,355,987	2,670,296
2	Bajo	688,576	1,355,986
1	Muy bajo	349,661	688,575

Recursos humanos			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	54697	98306
4	Alto	30433	54696
3	Medio	16933	30432
2	Bajo	9421	16932
1	Muy bajo	5242	9420

Unidades Médicas			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	947	1,654
4	Alto	542	946
3	Medio	310	541
2	Bajo	178	309
1	Muy bajo	101	177

Habitantes por médico			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	203	249
4	Alto	165	203
3	Medio	134	165
2	Bajo	109	134
1	Muy bajo	89	109

Extensión territorial (km²)			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	88843	247087
4	Alto	31945	88843
3	Medio	11486	31945
2	Bajo	4130	11486
1	Muy bajo	1485	4130

Densidad de población (Habitantes por (km²)			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	1576	5903
4	Alto	421	1576
3	Medio	112	421
2	Bajo	30	112
1	Muy bajo	8	30

Dosis de biológicos			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	7,496,363	14,794,237
4	Alto	3,798,470	7,496,362
3	Medio	1,924,717	3,798,469
2	Bajo	975,270	1,924,716
1	Muy bajo	494,177	975,269

Fuente: Gómez M. (2004) e INEGI (2008).

Población menor de 5 años con esquema básico de vacunación completo			
No.	Rango	Límite mínimo	Límite máximo
5	Muy alto	1,342,045	3,097,191
4	Alto	581,522	1,342,044
3	Medio	251,980	581,521
2	Bajo	109,186	251,979
1	Muy bajo	47,311	109,185

4. Descripción y análisis de resultados

En México existen tres formas de prestación de servicios para la salud, que responden a principios diferentes; los de la Secretaría de Salud (el precedente fue la Secretaría de Salubridad y Asistencia SSA, creada en 1945) y del Departamento del Distrito Federal que siguen el principio igualitario de que la salud es un derecho de todos los mexicanos; los servicios que prestan las instituciones de seguridad social: el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), así como algunas Secretarías de Estado y organismos descentralizados que imparten asistencia médica a su personal, que se basan en el derecho gremial a recibir protección social entre los que cuenta los servicios de salud. Por último, el ejercicio privado de la medicina, apoyado en leyes de libre oferta y demanda que se proporcionan bajo la vigilancia de la Secretaría de Salud (INEGI, 1990).

La distribución de los servicios de salud en México presenta una diferenciación espacial y desigualdades notorias entre estados y entre municipios, con respecto a recursos humanos, recursos físicos y cobertura.

Para el año 2007, la población derechohabiente sumó 62,922,034, que indicó el 59.54% de la población total, cubierta principalmente por el IMSS con el 78%, el ISSSTE con el 17.69, PEMEX, SEDENA Y SEMAR con el 1.5%, y otras instituciones el porcentaje restante, (Tabla 3-2 y Figura 3-1).

El promedio nacional de población derechohabiente fue de 1,966,313. El mayor número de derechohabientes se presentó en el Distrito Federal con 10,355,414 personas, en contraste con el estado de Campeche con 349, 661 personas. Los estados con clasificación muy alta en número de población derechohabiente son El Distrito Federal y el Estado de México, ubicados en el centro de México. En el rango medio suman nueve estados, de los cuales siete se localizan al norte del país, uno en el centro y otro en el sureste de México, estos son: Baja California Norte, Coahuila, Chihuahua, Michoacán, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco y Tamaulipas. Las entidades con categoría muy baja son: Baja California Norte, Campeche. Colima, Nayarit y Tlaxcala.

Es importante la medicina institucionalizada, porque incide en la mejora de la salud pública, pero no lo resuelve en forma integral ni completamente, debido a que no protege a toda la población del país, así para el año 2007 la población derechohabiente representó el 59.54% de la población total. Sin embargo se registran notables contrastes en cada estado, aquellos con cobertura muy alta (mayor al 80%) son: el Distrito Federal, Baja California Sur, Coahuila y Nuevo León; aquellos con cobertura media son: Campeche, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas. Las entidades con cobertura baja (20% al 40%) son: Puebla y Oaxaca con el 35 y 30% de su población total respectivamente, (Tabla 3-3).

Tabla 3-2. México: población derechohabiente 1944-2007

Años	Total de población Asegurada	IMSS	ISSSTE	PEMEX	FFCC	SEDENA	SEMAR
1944	355,527	355,527					
1950	1,111,544	974,105		137,439			
1960	4,016,563	3,340,390	487,742	188,431			
1965	8,607,828	6,815,685	1,070,971	232,636	212,711	195,910	**79,915**
1970	12,195,991	9,895,629	1,347,470	327,184	278,169	268,811	**78,728**
1980	30,773,224	24,125,307	4,985,108	646,516	530, 621	342,575	**143,097**
1990*	48,028	38,575	8,074	897		318	**164**
2000*	59,231	46,534	10,066	647		489	**187**
2002*	59,295	46,199	10,304	676		536	**208**
2005	48,452,418	32085192	5775529	1080489**	-	-	-
2007	**62922,034**	**49,079,303**	**11,131,065**	**941,802**	-	-	-

Fuente: Elaborado sobre la base del INEGI (1990) "Estadísticas históricas de México"; INEGI (2005) "Anuario estadístico, Estados Unidos Mexicanos". INEGI (2005), "II Conteo de Población". México. INEGI (2008) "Anuarios Estadísticos de los Estados". México. INEGI (2008) Anuarios Estadísticos Estatales.

Notas: Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS); Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE); Petróleos Mexicano (PEMEX); Ferrocarriles Nacionales de México (FFCC); Secretaría de la Defensa Nacional (SDN); Secretaría de Marina (SM)

- * en miles. ** PEMEX, SEDENA Y SEMAR

Tabla 3-3. Población derechohabiente 2007.

Clave	Estado	Total	IMSS	ISSSTE	SEDENA, SEMAR y PEMEX	Estatal	Otros
01	Aguascalientes	873740	740440	133300	0	0	0
02	Baja California	2142239	1840410	161542	12148	128139	0
03	Baja California Sur	498373	372550	121588	4235	0	0
04	Campeche	349661	231537	65057	53167	0	0
05	Coahuila	2358509	1969659	342630	0	46222	0
06	Colima	413769	332117	64613	17039	0	0
07	Chiapas	978716	610870	288002	0	79844	0
08	Chihuahua	2548791	2224363	230903	0	11148	82377
09	Distrito Federal	10355414	7257440	3032367	70607	0	0
10	Durango	981888	747707	225057	9124	0	0
11	Guanajuato	2869754	2396882	401007	71865	0	0
12	Guerrero	1312578	769780	533598	9200	0	0
13	Hidalgo	1020133	733274	269485	17374	0	0
14	Jalisco	3867742	3523147	338373	6222	0	0
15	México	7304488	5421104	1015715	0	867669	0
16	Michoacán	1741998	1335005	406993	0	0	0
17	Morelos	831760	610918	220842	0	0	0

18	**Nayarit**	**550399**	**371689**	**176874**	**1836**	**0**	**0**
19	Nuevo León	3704030	3459150	170843	23512	50525	0
20	Oaxaca	1076654	723252	318410	34992	0	0
21	Puebla	1923274	1464353	303665	13897	141359	0
22	Querétaro	980837	858636	122201	0	0	0
23	Quintana Roo	879159	773039	140933	5187	0	0
24	San Luis Potosí	1152602	901862	237282	13438	0	0
25	Sinaloa	1712780	1353468	359312	0	0	0
26	Sonora	1856662	1487610	179006	25203	164843	0
27	Tabasco	1180195	680054	151760	131466	216915	0
28	Tamaulipas	2224139	1757680	359677	106782	0	0
29	Tlaxcala	439931	323964	90062	0	0	25905
30	Veracruz	3015222	2319364	393569	302289	0	0
31	Yucatán	1063430	911941	145638	5851	0	0
32	Zacatecas	713167	576038	130761	6368	0	0
	Total	62922034	49079303	11131065	941802	1706664	108282
	Porcentaje		78.00	17.69	1.49	2.71	0.17

Fuente: Elaborado sobre la base del INEGI (2008). Anuarios estadísticos de los estados y cálculos propios.

La salud pública presenta deficiencias de planeación debido a que cada institución cuenta con su propia lógica de distribución, no se integran en un sistema para complementarse, lo que significa que se duplican esfuerzos, por ejemplo, cuando se presenta un problema como el de la influenza H1N1 donde no se cuenta con información actualizada ni real, porque existen contradicciones de datos y tampoco se conoce con precisión los lugares o focos rojos, ni la población vulnerable.

Ante problemas de salud como las epidemias, los desastres, etc., la cartografía y los Sistemas de información Geográfica juegan cada vez más un papel importante, porque permiten contar con una base de datos actualizada, para la realización de análisis espacial y detectar los patrones de comportamiento de la morbi-mortalidad, conocer la distribución de los servicios de salud con los que se cuenta para resolver cualquier tipo de problema de salud y sobre todo conocer tendencias de comportamiento.

Para planear la distribución de la infraestructura en salud se debe considerar la transición demográfica, la transición epidemiológica y de salud, así como las condiciones físico-geográficas como el clima, temperatura, precipitación y humedad relativa y altitud, así como factores ambientales de los lugares aunados a las características socioeconómicas y culturales de la población. Esto implica la realización de investigación conjunta de geógrafos con especialistas de la salud humana. Lo anterior incidirá en el conocimiento de las condiciones de salud de la población, no en forma aislada sino de manera integral con su ámbito local y global. Por ejemplo, las enfermedades infecciosas como el Dengue en México se está expandiendo, debido a la variación climática, el área de influencia del vector Aedes Aegypti se está ampliando a mayores altitudes y temperaturas. Las causas de mortalidad de tipo crónico degenerativo están afectando tanto en ámbitos urbanos como los rurales, uno de los factores que inciden en ello son los culturales como los estilos de vida, que son poco saludables.

México es un país de contrastes por la diversidad geográfica, ambiental, socioeconómica y demográfica. La densidad de población es un indicador importante en la toma de decisiones, particularmente para la infraestructura en salud. El Distrito Federal se ubica en el rango muy alto de densidad de población, con 5903 habitantes por km². En el rango alto se encuentra el Estado de México, en contraste con los estados del rango muy bajo que son Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Chihuahua, Durango, Quintana Roo y Sonora (Tabla 3- 4).

En relación a la distribución de los recursos humanos para la salud, se presentan problemas tanto en ámbitos urbanos como rurales. En los ámbitos urbanos, por la concentración de población que incide en el decremento de la calidad del servicio, se busca la eficiencia y en los ámbitos rurales, por la necesidad de incrementar los servicios médicos, tanto en cantidad como en calidad, se busca la equidad, por lo que esta distribución debe obedecer a las necesidades de la población.

La distribución de los recursos humanos para la salud es alarmante al examinar la desigual distribución entre las entidades federativas, el Distrito Federal es el único favorecido con el mayor número de recursos humanos y presenta el rango muy alto, lo que implica una gran concentración de recursos humanos. En doloroso contraste, las entidades con menor número de recursos humanos fueron Baja California Sur, Campeche, Colima, Nayarit, Quintana Roo y Tlaxcala, que están en el rango muy bajo. A nivel de municipio se observa que del IMSS la mayor parte de los municipios en el rango medio, alto y muy alto se ubican principalmente en el norte del país así como en los estados de Yucatán, Campeche y Tabasco (figura 3-7).

En la relación de habitantes por recursos humanos, en el rango muy alto se registra el Estado de México, Chiapas y Guanajuato con 275, 249 y 208 habitantes por recursos humanos, en contraste con los estados en el rango muy bajo: Colima, Distrito Federal, Aguascalientes y Baja California Sur, con 98, 89, 102 y 105 habitantes por recurso humano respectivamente.

Tabla 3-4. Recursos humanos y densidad de población, 2007

Clave	Nombre	Recursos humanos	Población 2007	Hab / Recursos humanos	Extensión Territorial km²	Hab/ km²
01	Aguascalientes	10914	1117170	102	5471	204
02	Baja California	18155	3000144	165	69921	43
03	Baja California Sur	5242	552260	105	73475	8
04	Campeche	6799	781973	115	57924	13
05	Coahuila	21879	2578723	118	151571	17
06	Colima	5,914	578,381	98	5191	111
07	Chiapas	17902	4452037	249	73211	61
08	Chihuahua	26484	3319705	125	247087	13
09	Distrito Federal	98306	8766324	89	1485	5903
10	Durango	13356	1533968	115	123181	12
11	Guanajuato	23981	4989301	208	30491	164
12	Guerrero	16537	3129480	189	64281	49
13	Hidalgo	16896	2390764	141	20846	115
14	Jalisco	49201	6932147	141	80386	86
15	México	52282	14388250	275	22499	640
16	Michoacán	20808	3958145	190	59928	66

17	Morelos	12894	1636208	127	4950	331
18	Nayarit	7952	961688	121	26979	36
19	Nuevo León	29513	4354392	148	64924	67
20	Oaxaca	20727	3534228	171	93952	38
21	Puebla	29756	5510816	185	34251	161
22	Querétaro	9522	1682946	177	11658	144
23	Quintana Roo	6329	1259965	199	50212	25
24	San Luis Potosí	16603	2455943	148	63068	39
25	Sinaloa	21591	2637639	122	58328	45
26	Sonora	21597	2469677	114	182052	14
27	Tabasco	16958	2030635	120	25267	80
28	Tamaulipas	23492	3139961	134	79384	40
29	Tlaxcala	6675	1113543	167	4016	277
30	Veracruz	46342	7192331	155	71699	100
31	Yucatán	12902	1887242	146	43379	44
32	Zacatecas	10411	1373360	132	75416	18

Fuente: Elaborado sobre la base del INEGI (2008). Anuarios estadísticos de los estados y cálculos propios.

La distribución de las unidades médicas en México resulta insuficiente para las necesidades de la población. En los ámbitos rurales, hay ocasiones en que se cuenta con la unidad médica pero no se tienen recursos humanos; en otros casos, la calidad del servicio no es la adecuada toda vez que el horario es de lunes a viernes de las 09:00 a las 14:00 horas, o bien no existen medicamentos, por lo que la población que cuenta con recursos económicos decide desplazarse a los ámbitos urbanos para resolver los problemas de salud.

Las unidades médicas por institución son principalmente cubiertas por el IMSS y por el ISSSTE. En relación a la primera, los mayores porcentajes se localizan en el Distrito Federal, el Estado de México, Jalisco y Veracruz, con más del 6% en cada estado a nivel nacional (figura 3-1).

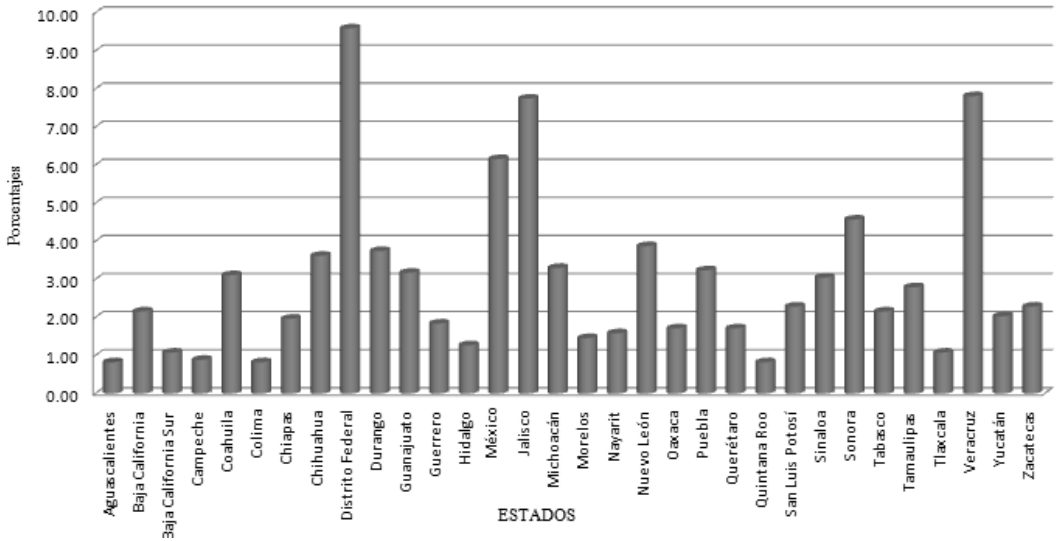


Figura 3-1. Unidades médicas IMSS 2007

Fuente : INEGI (2008), Anuarios Estadísticos de los Estados

Las unidades médicas cuentan con tres categorías: de consulta externa, de hospitalización y de especialización. No todos los estados cuentan con las tres categorías, por lo que se presenta heterogeneidad en la distribución en cada estado del País (figura 3-7).

De parte del IMSS, el estado de Durango cuenta principalmente con consulta externa y hospitalización, en contraste en el Estado de Baja California Norte que tiene principalmente especialización y de hospitalización y el Estado de Hidalgo registra principalmente de hospitalización (figuras 3- 2, 3-3 y 3- 4).

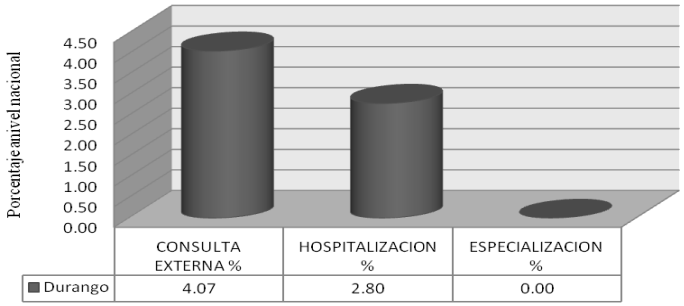


Figura 3-2. Unidades médicas IMSS 2007 en Durango

Fuente: INEGI 2008, Anuario Estadístico del Estado de Durango

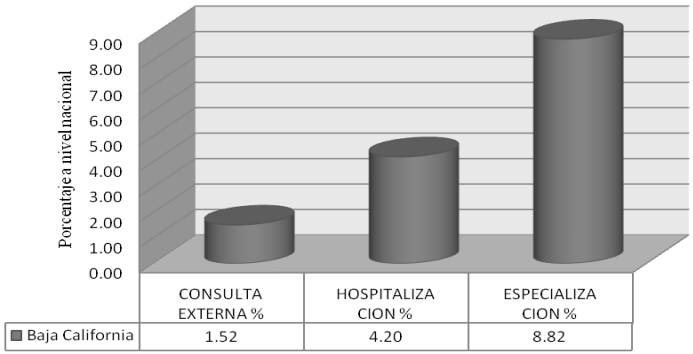


Figura 3-3. Unidades médicas IMSS 2007en Baja California

Fuente: INEGI, 2008 Anuario Estadístico del Estado de Baja California

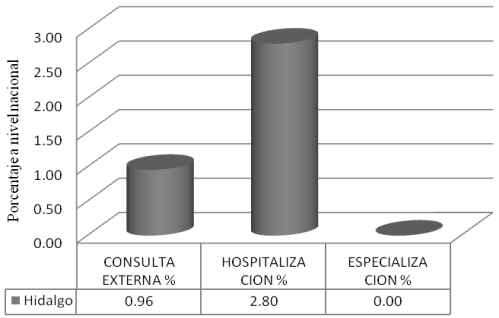


Figura 3-4. Unidades médicas IMSS 2007 en el Estado de Hidalgo

Fuente: INEGI, 2008 Anuario Estadístico del Estado de Baja California

Las unidades médicas del ISSSTE, con mayores porcentajes a nivel nacional, se localizan en el Distrito Federal, en Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Veracruz, con más del 5% a nivel nacional por cada estado (figura 5). Al igual que el IMSS, también existe heterogeneidad en las categorías en cada Estado.

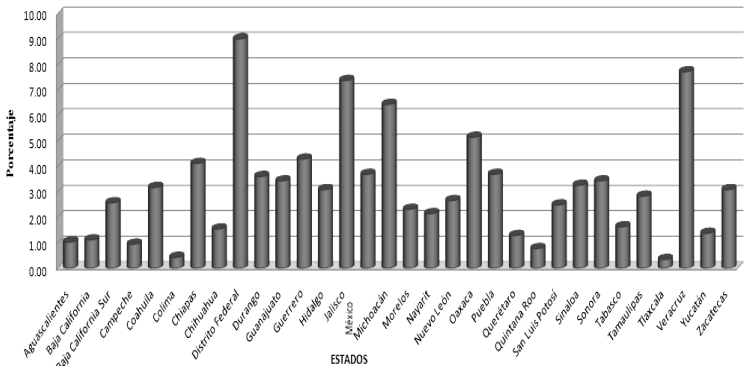


Figura 3-5. Unidades médicas ISSSTE 2007

Fuente: INEGI (2008), Anuarios Estadísticos de los Estados

En México, en el año 2007 sumaron 20,454 unidades médicas, de las cuales, en el rango muy alto se registraron en los Estados de Veracruz, Estado de México, Oaxaca, Chiapas, Jalisco, Guerrero, Michoacán y Puebla. En contraste con los estados que registraron un rango muy bajo, los cuales son Colima, Aguascalientes y Baja California Sur. Sin embargo la relación de unidades médicas por 10,000 habitantes presenta una tendencia diferente al número, por lo que menos de una unidad médica por 10,000 habitantes se registró en los estados de Baja California Norte y el Distrito Federal, en contraste con los estados que registraron más de 4 unidades médicas por 10,000 habitantes que son Campeche y Nayarit (Tabla 3-5).

En relación a la Dosis de biológicos aplicadas en las instituciones públicas del sector salud 2007, varían en cada estado, dentro del rango muy alto destaca el Estado de México con 14,794,237. Aquellos que se ubican en el rango intermedio suman 14 estados de los cuales 10 de localizan en el norte, dos en el centro y dos en el sureste de México, en contraste con los estados del rango muy bajo, que son Baja California Sur, Colima, Nayarit y Querétaro (figura 3-9).

En el rubro de población menor de 5 años con esquema básico de vacunación completo, el único estado ubicado en el rango muy alto es el Estado de México, en contraste con los estados con rango muy bajo los cuales son: Baja California Sur, Campeche, Colima, Nayarit, Quintana Roo, Tamaulipas y Tlaxcala (figura 3-10).

Tabla 3- 5. México: Unidades médicas, dosis de biológicos y esquema básico de vacunación completo, 2007

No	Nombre del Estado	Población derecho-habiente %	Unidades médicas	Por 10,000 Hab.	Dosis de Biológicos	Esquema Básico de Vacunación Completo
1	Aguascalientes	78	143	1.28	1055604	121,248
2	Baja california norte	71	227	0.76	1977479	247,555
3	Baja California Sur	90	132	2.39	494177	68,131
4	Campeche	45	374	4.78	1118232	78,573
5	Coahuila	91	312	1.21	2152136	261,908
6	Colima	72	101	1.75	841120	47,311
7	Chiapas	22	1240	2.79	4909365	266,108
8	Chihuahua	77	549	1.65	2623717	160,191
9	Distrito Federal	100	588	0.67	6015377	SD
10	Durango	64	563	3.67	2110907	193,306
11	Guanajuato	58	646	1.29	5250422	539,707
12	Guerrero	42	1113	3.56	4488329	362,229
13	Hidalgo	43	781	3.27	2144204	227,798
14	Jalisco	56	1121	1.62	3738798	766,385
15	Estado de México	51	1584	1.10	14794237	3,097,191
16	Michoacán	44	1104	2.79	3439137	354,011
17	Morelos	51	268	1.64	1643138	137,973
18	Nayarit	57	445	4.63	670811	84,455
19	Nuevo León	85	662	1.52	3493617	298,352

20	Oaxaca	30	1382	3.91	3071732	299,659
21	Puebla	35	1101	2.00	5241462	497,312
22	Querétaro	58	252	1.50	583726	144,855
23	Quintana Roo	70	254	2.02	983718	87,400
24	San Luis Potosí	47	660	2.69	2544516	209,218
25	Sinaloa	65	454	1.72	2464801	242,468
26	Sonora	75	484	1.96	2250845	222,804
27	Tabasco	58	627	3.09	2965470	198,184
28	Tamaulipas	71	523	1.67	1299189	94,685
29	Tlaxcala	40	253	2.27	1152409	98,308
30	Veracruz	42	1654	2.30	6927496	449,334
31	Yucatán	56	376	1.99	1649911	112,459
32	Zacatecas	52	481	3.50	1595743	121,986
	Suma		20454		95691825	10,091,104

Fuente: Elaborado sobre la base del INEGI (2008). Anuarios estadísticos de los estados y cálculos propios.

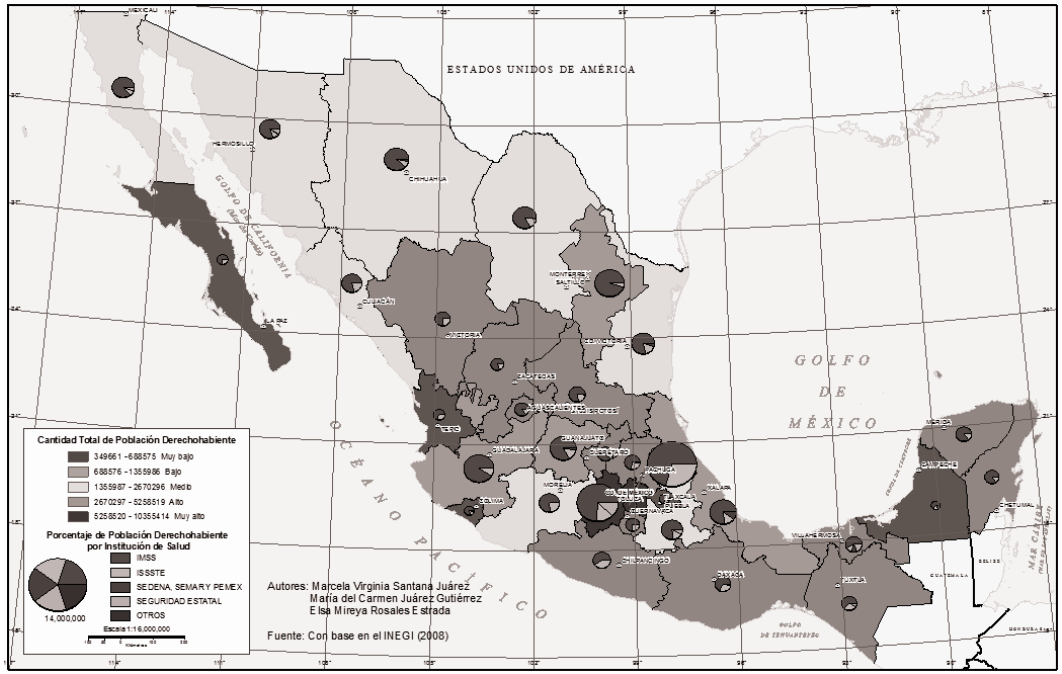


Figura 3-6. Población Derechohabiente por institución de salud.

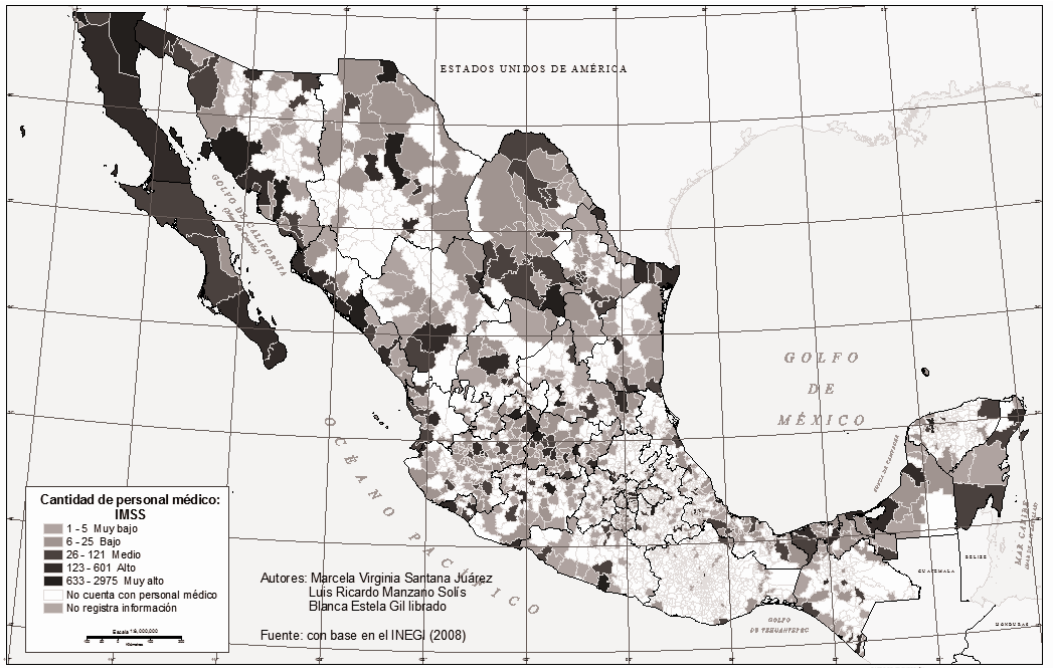


Figura 3-7. Personal médico (IMSS)

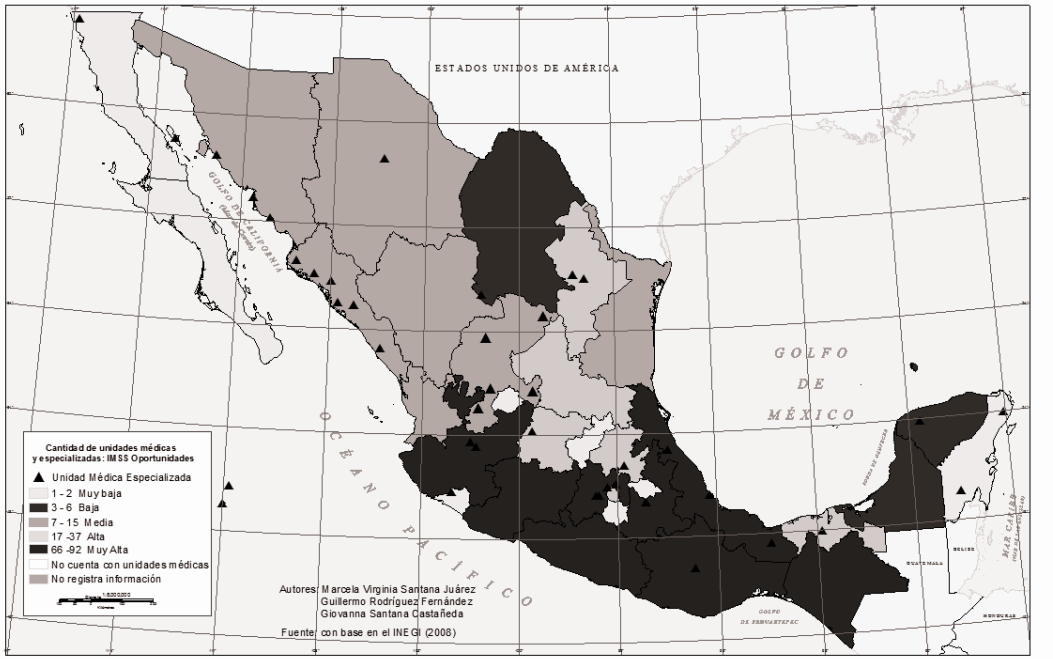


Figura 3-8. Unidades Médicas y unidades médicas especializadas

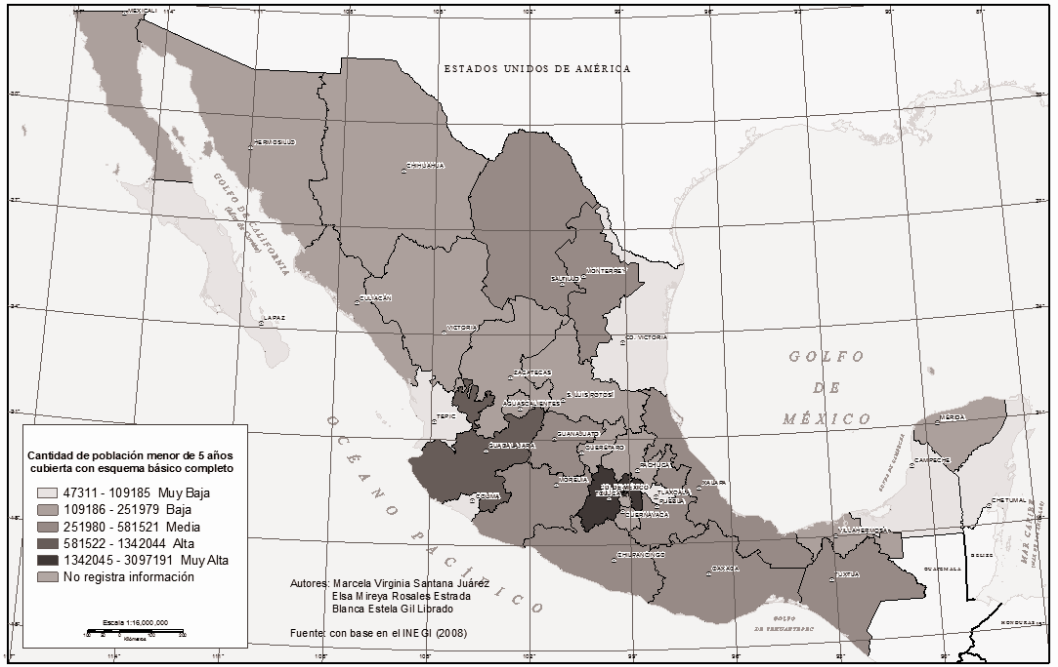


Figura 3-9. Distribución de las dosis biológicas de las diferentes instituciones

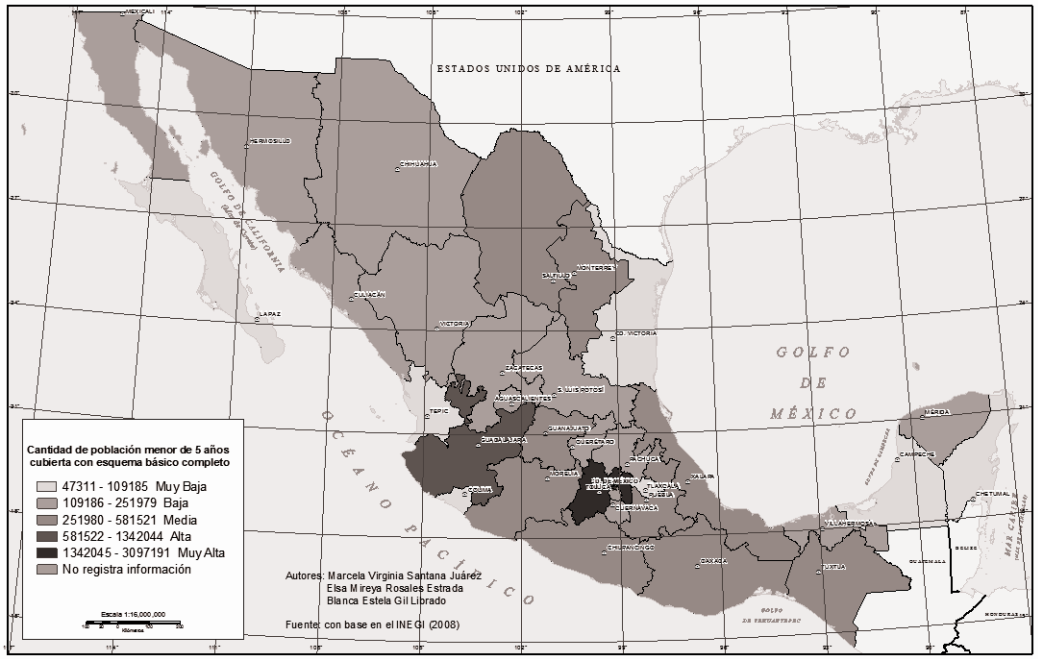


Figura 3-10. Población menor de 5 años cubierta con esquema básico completo

5. Discusión y valoración de hallazgos

La cartografía sobre infraestructura en salud, permite conocer los lugares prioritarios, las poblaciones vulnerables, las relaciones de los patrones de distribución con las características físico- geográficas y ambientales del territorio, así como las características socio-demográficas, económicas y culturales de la población, que incidirán en una mejor toma de decisiones en materia de salud.

El sistema de salud en México es totalmente heterogéneo, aún falta cubrir casi el 40% de la población total; en su mayoría, la población derechohabiente se concentra en los ámbitos urbanos, dejando desprotegida a la población rural. Cada institución tiene sus propias lógicas de distribución, presentando concentración en los ámbitos urbanos, por lo que es importante fortalecer los servicios en salud en los ámbitos rurales, para evitar la migración de la población principalmente de la tercera edad, a las ciudades, lo que incidiría en el decremento de la calidad del servicio. Se ha avanzado en el incremento de la esperanza de vida, pero no en la calidad de vida. Es importante que la población esté sana, sea productiva y tenga una mejor calidad de vida, que implicaría menos costos hacia la enfermedad y el presupuesto se canalice en las etapas preventiva y prospectiva, menos caro que en la etapa curativa.

La cartografía en estos dos acercamientos, nivel estatal y municipal, permite mostrar las desigualdades y presentar un mosaico de características en salud. En relación a los atlas elaborados a nivel nacional, únicamente se ha abordado el nivel estatal, que permiten presentar una visión general, sin embargo a nivel municipal se presentan contrastes. La cobertura sigue siendo deficiente. Se observa todavía que un amplio sector de la población de escasos recursos no cuentan con la infraestructura de salud adecuado.

6. Conclusiones

Se concluye que en este trabajo se cubrieron los objetivos planteados, que el tema es amplio y totalmente heterogéneo en México, que existe una amplia agenda de investigación, que es necesario que los especialistas en el campo de la salud integren, en los planes de desarrollo, el uso de la cartografía y los Sistemas de Información Geográfica, como potentes herramientas para el análisis espacial y sobre todo el trabajo conjunto e interdisciplinario, donde el Geógrafo y Geoinformático tiene muchos aportes que hacer en el campo de la salud humana, principalmente en las etapas preventiva y prospectiva, buscando la salud sustentable de la población y la mejora de la calidad de vida.

Se cuenta con los insumos necesarios para integrar un diagnóstico de la infraestructura en salud, que incida en estrategias diferenciadas acorde a las características y necesidades de la población y las condiciones físico-geográficas y ambientales de los lugares.

Referencias bibliográficas

Gómez M. (2004). Métodos y técnicas de la cartografía temática. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM.

INEGI (1990), Estadísticas Históricas de México. Tomo I. Segunda edición.

INEGI (2005), "Anuario Estadístico, Estados Unidos Mexicanos". México.

INEGI (2005), II Conteo de Población 2005. México.INEGI (2008), Anuarios estadísticos estatales. México.

Nuncio A. (2010) Distribución espacial del vector Aedes Aegypti, del Dengue clásico y su relación con características físico-geográficas y socio-económicas en la jurisdicción sanitaria Tejupilco, Estado de México 2000 – 2005. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México.

Santana M. (2009). Condiciones geográficas y de salud de la población del Estado de México. Tesis de Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

MEDICIÓN DE AÑOS DE VIDA AJUSTADOS POR DISCAPACIDAD PARA ENFERMEDADES RELACIONADAS CON INUNDACIONES OCURRIDAS DE 2000-2006 EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA (MÉXICO)

Miguel A. Gómez-Albores[1], Díaz-Delgado Carlos[1], Esteller-Alberich María[1], Sánchez-Flores Oscar[2], Manzano-Solís Ricardo[3], Ordoñez-Sierra Raymundo[3], Hernández-Téllez Marivel[1].

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio de tipo ecológico retrospectivo de enfermedades relacionadas con inundaciones, en el que la unidad de análisis espacial no es el individuo sino mediciones agregadas a nivel de municipios y localidades. Se analiza el efecto del evento para conocer sus causas, utilizando como herramienta de apoyo el *software* Idrisi. El objetivo es determinar el nivel de asociación que existe entre zonas con y sin riesgo de inundación, considerando como medida epidemiológica de análisis la tasa de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD). La metodología se desarrolla en 5 etapas, que son: 1) Recopilación de información, 2) Estructuración de datos para las enfermedades relacionadas con inundaciones, 3) Identificación de unidades espaciales, 4) Cálculo de medidas de frecuencia, y finalmente 5) Cálculo del riesgo relativo. Los resultados mostraron que existe una asociación (RR>1) entre el factor de riesgo (zonas de inundación) y la tasa de AVAD, para infecciones intestinales y hepatitis A.

Palabras clave: Años de vida ajustados por discapacidad (AVAD), Inundación, SIG, medidas de frecuencia y asociación.

---

[1]**Centro Interamericano de Recursos del Agua-UAEMéx, [2]Facultad de Ingeniería-UAEMéx, 3Facultad de Geografía-UAEMéx3.: Facultad de Ingeniería, Cerro de Coatepec, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, C.P.50110, (722)2965550/51. E-mail: fbmiguel@yahoo.com.mx, cdiazd@uaemex.mx, 1mvestellera@uaemex.mx, 1marhtellez@yahoo.com.mx, osanchez@uaemex.mx, geograforicardo@yahoo.com.mx, rayito8884@hotmail.com**

MEASUREMENT OF ADJUSTED LIFE YEARS OF DISABILITY-RELATED DISEASES OF FLOODS DATED FROM 2000-2006 IN THE LERMA-CHAPALA SECTION (MEXICO)

ABSTRACT

This work is a retrospective study of ecological flood-related diseases, in which the unit of spatial analysis is not the individual but the aggregate measures of municipalities and localities. We analyze the effect of the event for their causes, using as a tool to support the software Idrisi. The objective is to determine the level of association between areas with and without the risk of flooding, considering epidemiological analysis as a rate-adjusted life years (DALYs). The methodology is developed in 5 stages, namely: 1) Gathering information, 2) Structuring of data for flood-related diseases, 3) Identification of spatial units, 4) Calculation of frequency measures, and finally 5) Calculation of relative risk. The results showed an association (RR> 1) between the risk factor (flood zones) and the DALY rate for intestinal infections and hepatitis A.

Key words: *Adjusted life years (DALYs), Flood, GIS, measures of frequency and association.*

1. Introducción

Anualmente en el Planeta, las inundaciones afectan aproximadamente a 520 millones de personas, causando un incremento en la incidencia de enfermedades transmisibles y cobrando la vida de más de 25,000 habitantes de diferentes países. Entre las enfermedades asociadas con las inundaciones se destacan, las infecciones intestinales, leptospirosis, hepatitis A, dengue, paludismo, además de las defunciones por ahogamiento.

Las inundaciones pueden clasificarse como repentinas o súbitas y como lentas o progresivas. Las primeras se producen generalmente en cuencas hidrográficas de fuertes pendientes y por la precipitación intensa de agua en muy corto tiempo, desarrollándose en minutos u horas, dependiendo del relieve, condiciones del suelo y cobertura vegetal. Las inundaciones lentas o progresivas se producen sobre terrenos planos, que desaguan lentamente, y cerca a la rivera de los ríos; no se presentan ante lluvias intensas pero por las características del terreno el agua fluye más lentamente, provocando principalmente estancamientos del agua.

La carga de la enfermedad – AVAD (Años de Vida Ajustados por Discapacidad) es un indicador compuesto que combina el tiempo vivido con discapacidad (AVD) y el tiempo perdido por muerte prematura (AVP). Es considerada una medida eficaz para ayudar a los responsables de la formulación de políticas en la toma de decisiones sectoriales, a la hora de dar prioridad a las distintas actividades sanitarias, sobre la base de un análisis de costo-efectividad (Annette *et al* 2003; López, 2006).

En la presente investigación se pretende, por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), medir la exposición (causa) y morbilidad/mortalidad (efectos). Este desarrollo permitirá medir la frecuencia y asociación vinculadas a aspectos de riesgo de inundación, desde un punto de vista de medir el riesgo en grupos comparativos entre expuestos y no expuestos, y que facilite una mejor vigilancia en la aparición de enfermedades, estimación del impacto considerando este tipo de eventos, siempre considerando la variabilidad espacio-temporal.

2. Antecedentes

Alrededor de 196 millones de personas en más de 190 países se encuentran expuestas a la presencia de inundaciones. Los huracanes, los frentes fríos y las zonas de convergencia intertropical del fenómeno el NIÑO, entre otros, ocasionan lluvias intensas que se presentan cada vez con mayor frecuencia y producen graves inundaciones que afectan a comunidades enteras (OPS, 2006).

Las inundaciones son el tipo más común entre los desastres naturales en todo el mundo y que a su vez se presentan con mayor duración en espacio e intensidad. El número de fallecidos es aproximadamente del 40% de las víctimas por desastres, sólo superado por los terremotos.

Las inundaciones causan generalmente un número inesperado de muertes, lesiones e incremento de enfermedades transmisibles. A su vez se combina con una falta en el acceso a servicios en salud por la interrupción de las vías de comunicación o por los serios daños a la infraestructura de las unidades médicas.

En relación a la ocurrencia de inundaciones, la principal causa de muerte o enfermedad son ocasionados por las denominadas inundaciones repentinas o súbitas, dado el poco tiempo de alerta a la población por la presencia de intensas lluvias. Este tipo de fenómenos son más frecuentes ante el fenómeno del NIÑO. En efecto, a manera de ejemplo, en Ecuador, ante la presencia del fenómeno del NIÑO, en el segundo semestre de 1997 se presentaron 16,530 casos de paludismo, 37% más relación con 1996. Esta situación se agravó en 1998, en plena madurez del evento se presentaron 2,546 casos de cólera, y aumentó a 42,987 los casos de paludismo, es decir aumentó 160% en relación con lo observado el año anterior. Asimismo durante 1997 y 1998 se reportaron 6,266 casos de dengue clásico en comparación con 3,223 reportados en el periodo de 1996-1997 (OPS, 2006).

Luego de un desastre por inundación, algunas patologías pueden asociarse con mayor frecuencia, y su aparición no es una característica obligatoria dado que es una respuesta correlacionada con las condiciones de hacinamiento del lugar siniestrado.

De acuerdo con estudios de la OMS y la OPS (OMS-OPS, 2002), durante la primera semana después de una inundación se presentan enfermedades diarreicas agudas, infecciones respiratorias agudas, conjuntivitis y dermatitis. Entre la segunda y tercer semana persisten las enfermedades diarreicas agudas aunque más de tipo parasitario: Giardiasis y amibiasis, así como también aparecen casos de paludismo, dengue y leptospirosis. Posterior a la tercera semana se suelen dar casos de hepatitis A. Por otro lado, con base en un enfoque de análisis espacial, la epidemiología presenta tres variables centrales o dominantes que son el tiempo, lugar e individuo. En los últimos 150 años, los profesionales de la salud pública han aprendido que con la cartografía pueden analizarse estas variables. En 1840 Robert Cowman utilizó un mapa para mostrar la relación entre fiebre y explosión demográfica en la ciudad de Glasgow E.E.U.U, atribuyendo el incremento de la mortalidad a la excesiva migración y a un continuo declive en la proporción de la clase media (Melnick, 2000).

Gran parte de los estudios epidemiológicos y reportes del estado de salud en las poblaciones son evaluados a través de medidas de frecuencia. Un estudio realizado en el año 2000 a nivel mundial mostró que las diarreas se encuentras dentro de las 10 primeras causas de discapacidad con un total de 63 346 AVAD y que el agua insegura, saneamiento e higiene como factores de riesgo aportan 54 158 de los AVAD (Annette, *et al.,* 2003).

En este sentido, los años de vida ajustados por discapacidad (AVD) consideran para su cálculo el número de casos para una causa o grupo de causas, la gravedad o peso de la enfermedad en un rango de 0 a 1, y la duración promedio de la discapacidad, la cual puede variar

dependiendo de la edad en la que se presenta la enfermedad. Mientras que los años de vida perdidos por muerte prematura (AVP) consideran el número de defunciones, y la esperanza de vida en la región por grupo de edad, este último como un parámetro de referencia para obtener los años que se pierden caso por caso por no llegar a esa límite en la esperanza de vida (OPS, 2003). Al final el resultado de los AVAD es la suma de los AVD de los AVP (véase Figura 3-11).

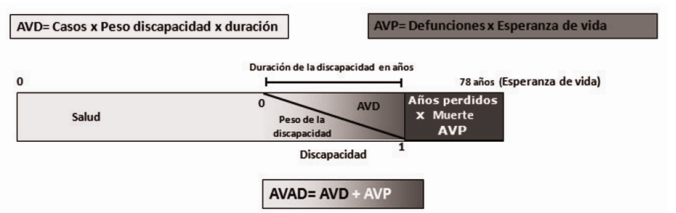


Figura 3-11. Consideraciones conceptuales del método a emplear.

Para el cálculo de los años de vida perdidos por discapacidad (AVD), considerando la especialización por edad o grupos de edad, su modelo matemático es el siguiente:

$$AVD_{ij}^{*} = c_{ij}\, w_j \left(\frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left(e^{-(r+\beta)(L+a)} \left[-(r+\beta)(L+a) - 1 \right] - e^{-(r+\beta)a} \left[-(r+\beta)a - 1 \right] \right) \right)$$

Siendo: *c = Número de personas que contraen la enfermedad en un período determinado, w = peso de la discapacidad, L = Duración de la discapacidad, i= entidades espaciales, j= edad o grupos de edad, constantes: K = 1, C = 0.1658, B = 0.04.*

Para el cálculo de los años de vida perdidos por muerte prematura *(*AVP), considerando la espacialización por edad o grupos de edad, su modelo matemático es el siguiente:

$$AVP_{ij}^{**} = d_{ij} \left(\frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left(e^{-(r+\beta)(L+a)} \left[-(r+\beta)(L+a) - 1 \right] - e^{-(r+\beta)a} \left[-(r+\beta)a - 1 \right] \right) \right) + \left(\frac{1-K}{r} \left(e^{-rL} \right) \right)$$

Siendo: *d = Número de personas que fallecen en un período determinado, L = Esperanza de vida a la edad de muerte, Constantes: r = Tasa de descuento, 0.03 K = 1, C = 0.1658,y B = 0.04*

En consecuencia, el resultado de los Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD), se obtiene sumando los años de vida perdidos por discapacidad con los años de vida perdidos por muerte prematura. AVAD=AVD + AVP

Adicionalmente en los últimos años ha habido un aumento en el desarrollo de paquetes computacionales dirigidos a analizar, gestionar, y monitorear las enfermedades para mejorar la toma de decisiones en salud pública, entre los que destacan EpiInfo/EpiMap del Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, 2007), *Health Mapper* desarrollado en conjunto con la Organización Mundial de la Salud (OMSa, 2006) y SIGEPI desarrollado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005), este último más enfocado al análisis espacial. Sin embargo, los programas mencionados anteriormente no son Sistemas de Información Geográfica (SIG) en sí mismos, por lo que carecen de la gama de herramientas de análisis espacial que éste puede ofrecer.

Por otro lado, el *software* de SIG y tratamiento de imágenes Idrisi fue desarrollado en 1987 por los laboratorios Clark (Clark Labs) liderados por John Ronald Eastman, y reconocidos por ser los pioneros en las áreas tales como el apoyo de decisiones, manejo de la incertidumbre, desarrollo de clasificadores, análisis de cambio, series de tiempo (ETM) y modelación dinámica (Eastman, 2009). Aunque no fue diseñada específicamente como una herramienta específica para el estudio de la salud, el poder de este *software* para el tratamiento de imágenes matriciales facilita el análisis espacio-temporal en el comportamiento de las enfermedades.

Con base en los datos antes mencionados, la hipótesis de este trabajo es que los efectos de las inundaciones sobre la salud humana podrían medirse con la carga de la enfermedad, con un enfoque de análisis espacio - temporal y la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica.

Así, el objetivo de este estudio se centra en la determinación del riesgo de enfermedades relacionadas con las inundaciones, en personas expuestas a zonas de inundación, y no expuestas, al interior de la cuenca Lerma-Chapala para el periodo 2000-2006.

3. Materiales, datos y métodos

3.1. El caso de estudio

Delimitación espacial

La Cuenca hidrográfica Lerma-Chapala (véase Figura 3-12) se localiza en la parte central de México (19°03´a 21°34´N y 99°16´a 103°31´W), donde se extiende desde su nacimiento del río Lerma (a 4,600 msnm) hasta su desembocadura en el lago de Chapala (a 1,600 msnm). Presenta una superficie de 53 591.3 km^2, que se extiende por los Estados de Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.25%) Jalisco (13.42%), México (9.8%), y Querétaro (2.76), donde se asienta una población de más de 15 millones de habitantes (Baro, et al., 2011).

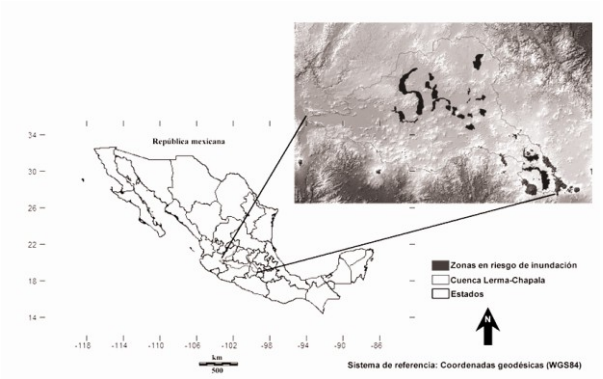


Figura 3-12. Zona de estudio, cuenca Lerma-Chapala.

Delimitación temporal:

De acuerdo con la información disponible de morbilidad y mortalidad, el periodo temporal analizado es del 2000 al 2006.

3.2. Los datos

Los datos de morbilidad (http://sigsalud.insp.mx/naais/), mortalidad (http://sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/) y población (http://www.inegi.gob.mx/inegi/) se encuentran disponibles en formato tabular en los sitios oficiales de la secretaría de salud y el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Las zonas de riesgo de inundación se obtuvieron del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED - http://www.cenapred.unam.mx/es/)

La calidad de la información de las bases de datos geo-espaciales utilizadas cuenta con los estrictos procesos de control exigidos por las instituciones de los gobiernos Federal y Estatal.

3.3. Técnicas de análisis

Estructuración de datos

Dado que la información de salud es proporcionada en bases de datos, el modelo conceptual de la salud parte de un análisis previo de la información disponible en morbilidad y mortalidad, así como en definir la reestructuración de las bases de datos fuente, de manera tal que puedan ser explotadas en un sistema de información geográfica.

La estructura más apropiada (véase Figura 3-13) es considerar series temporales de la información en salud definiendo una base de datos para cada temporalidad, una tabla por enfermedad (k=1, k=2,……K), los campos siendo por grupo de edad (j=1, j=2,……J), y los renglones (i=1, i=2,……I) vinculados a las unidades geográficas estudiadas (localidades, municipio). Para este proceso de estructuración de bases de datos se han automatizado los procedimientos requeridos.

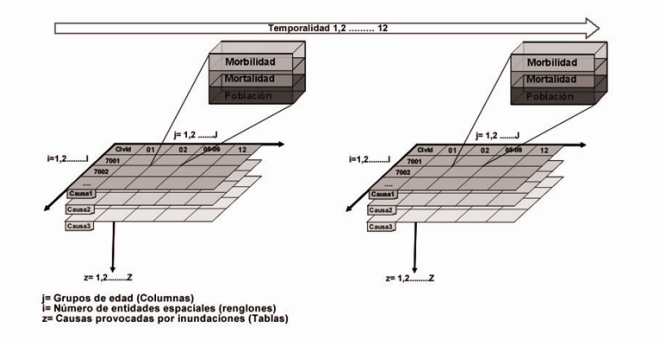


Figura 3-13. Dimensiones permisibles en bases de datos

Unidades espaciales de análisis de morbilidad y mortalidad

La información de salud se proceso de manera diferente de acuerdo con su resolución espacial. En el caso de la morbilidad, aunque las bases de datos son proporcionados a nivel de unidades medicas, sus coordenadas aún no se tienen disponibles para todas las ubicadas dentro de la cuenca Lerma-Chapala, por lo tanto se utilizaron los municipios como geo-referencia de la unidad espacial (figura 4a). En el caso de la mortalidad, las bases de datos cuentan con las información a nivel de localidad de defunción de cada uno de los registros (véase Figura 3-14b).

Del total de los municipios que conforman la cuenca Lerma-Chapala, 177 municipios y 8568 localidades no se encuentran en la intersección con las zonas de riesgo de inundación, mientras que 74 municipios y 1011 localidades sí lo están. La selección de las causas o grupos de causas se efectuó considerando la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima revisión CIE-10 (OPS, 2001).

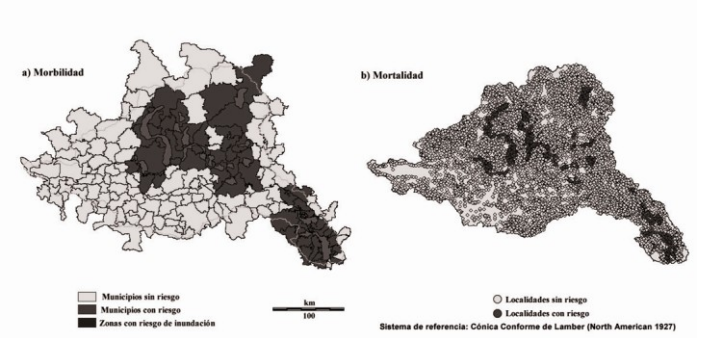


Figura 3-14 (a) Unidad espacial para la morbilidad, (b) Unidad espacial para la mortalidad.

Medidas de frecuencia

Cuando se quiere estimar la probabilidad de ocurrencia de enfermar o de morir durante un año en específico, se puede recurrir al cálculo de la probabilidad, la cual incluye el número de eventos entre la población expuesta al riesgo (Beaglehole, 2000).

$$r_{ij} = \frac{C_{ij}}{n_{ij}} xF$$

Siendo: r= Incidencia acumulada/probabilidad de morir, c= número de casos de enfermedad o defunción, n= población al inicio del periodo, F= Factor de multiplicación 10^n, i= Entidad espacial, y j= Edades o grupos de edad

En consecuencia, la población para los años 2001 a 2004 y 2006 en la zona de estudio fue obtenida al proyectar la información de la población por el método geométrico.

Años de vida ajustados por discapacidad (AVAD)

Actualmente el Laboratorio de Hidrogeomática del Centro Interamericano de Recursos del Agua se ha dado a la tarea de facilitar la representación y el análisis espacio-temporal de aspectos de agua y salud, desarrollando una aplicación dentro del SIG Idrisi (Quentin, 2007; Gómez, 2007), mediante la inclusión de nuevas opciones en el menú principal (véase Figura 3-15), incluyendo la ventana para el cálculo de incidencia acumulada y la carga de la enfermedad (véase Figuras 6a y 6b).

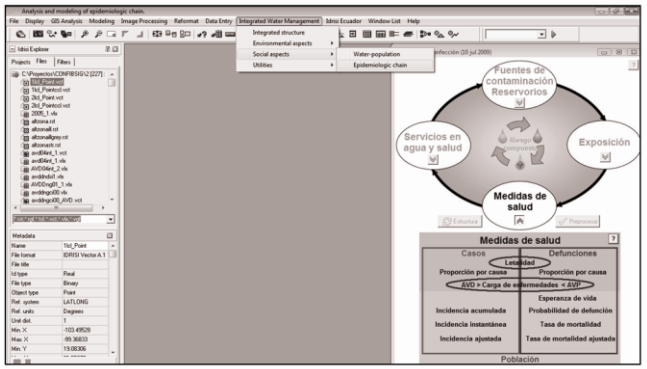


Figura 3-15. Nuevas opciones en el menú de Idrisi para el análisis de medidas de salud

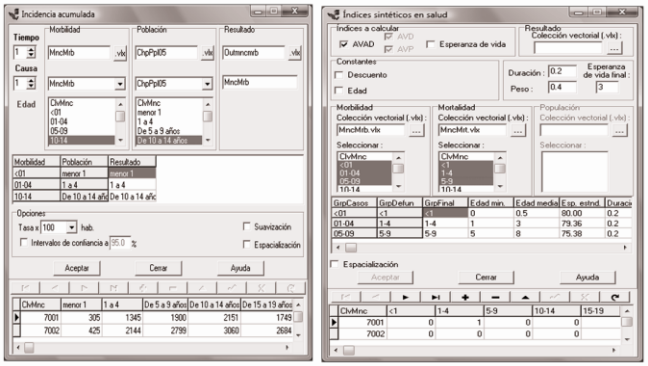


Figura 3-16. Ventanas para a) el cálculo de la incidencia acumulada y b) para el cálculo de la carga de la enfermedad.

Así, resulta adecuado presentar los resultados de la carga de la enfermedad (AVAD) como tasa, dividiendo los AVP y AVD entre el número de la población en riesgo.

Razón de incidencia acumulada o Riesgo Relativo

Esta medida es útil si se desea conocer la probabilidad de padecer una enfermedad en función de la exposición. Es así que, para una causa D asociada con un factor de Exposición E, el cálculo se presenta de la siguiente manera:

$$RR = \frac{P(D \mid E)}{P(D \mid \bar{E})}$$

Siendo: P (D | E) = Incidencia acumulada en expuesto, y P (D | $\bar{E}$) = Incidencia acumulada en no expuestos.

Cuando RR=1 se dice que P (D | E) = P (D | $\bar{E}$) es decir que hay una asociación nula o que son independientes.

Cuando RR>1 se dice que es riesgo de enfermar es mayor en los expuestos que en los no expuestos y al inverso cuando RR<1.

Representación espacial por zonas de riesgo

Una vez obtenidos los datos por cada unidad espacial (municipios y localidades), se extrajeron los números de casos y la población de manera anual para cada zona (véase Figura 3-17).



Figura 3-17. Representación espacial de zonas de riesgo en la cuenca Lerma-Chapala.

4.1 Análisis de enfermedades

Como resultados de la estructuración de las geo-bases de datos de morbilidad, y mortalidad, únicamente se analizaron la hepatitis A, y el grupo de infecciones intestinales, dado que el número de casos para víctimas por inundación y dengue no fueron suficientes. En la tabla 3-6 se presentan los resultados generados de la extracción del número de casos y defunciones presentadas en las zonas de estudio para el periodo 2000-2006. Así como los resultados del cálculo de la incidencia acumulada (morbilidad) y la probabilidad de morir (mortalidad).

Tabla 3-6. CIE-10 de enfermedades relacionadas con inundaciones

Causas	CIE-10
Hepatitis aguda tipo A	B15
Dengue clásico y Dengue hemorrágico	A90X y A91X
Infecciones intestinales	A01 – A09X
Víctimas de inundación	X38-X389

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OPS, 2001).

Tabla 3-7. Pesos y duración para las enfermedades relacionadas con inundaciones

Enfermedades	Duración de la enfermedad en %	Pesos de la discapacidad
Hepatitis A	11	1
Dengue Clásico	4	0.1
Dengue Hemorrágico	4	0.2
Infecciones Intestinales	2	0.1

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OPS, 2001), Global Burden of diseases (Murray, 1996)

Como se puede observar en la Tabla 3-7, los resultados que marcan la diferencia entre las zonas de riesgo de inundación es la incidencia acumulada, mientras que para la probabilidad de morir excepto en el 2005. Para los demás años analizados los resultados muestran una probabilidad de muerte más elevada en las zonas sin riesgo, esto puede deberse al registro de las defunciones para las cuales no se le da seguimiento espacial de la enfermedad, y aún cuando la causa haya sido el factor de riesgo, la defunción se registra fuera de esta zona.

Tabla 3-8. Cálculo de medidas de frecuencia para infecciones intestinales

Año	Zona	Casos	Defunciones	Población	IA x 100000 hab.	PM x 100000 hab.
2000	1	371487	275	7782601	4773.3	3.5
	2	85440	26	1548543	5517.4	1.7
2001	1	340000	221	7864795	4323.1	2.8
	2	84623	29	1557821	5432.1	1.9
2002	1	387670	355	7918110	4896.0	4.5
	2	80043	71	1579823	5066.6	4.5
2003	1	380229	347	7983307	4762.8	4.3
	2	80930	59	1604038	5045.4	3.7
2004	1	369764	27	8060713	4587.2	0.3
	2	76946	5	1630760	4718.4	0.3
2005	1	360260	321	8128646	4432.0	3.9
	2	85362	74	1660395	5141.0	4.5
2006	1	332551	263	8258874	4026.6	3.2
	2	82787	44	1693532	4888.4	2.6

Como se muestra en la Tabla 3-9, los años de vida perdidos se reflejan cerca de 10 veces más en la suma de la discapacidad que por los perdidos por muerte prematura. Esto es debido a que las infecciones intestinales tienen una incidencia mucho más elevada que la mortalidad (Tabla 3-8). Aunque el mayor número de años de vida ajustados por discapacidad se perdieron en el año 2000, la asociación más fuerte de los AVAD con el factor de riesgo se presentó en el 2005.

Tabla 3-9. Resultados de AVAD y riesgo relativo para infecciones intestinales

Año	Zona	AVP	AVD	AVAD	Tasa AVAD x 100000 hab.	RR
2000	1	6918	63004	69922	898.4	1.12
	2	668	14973	15641	1010.0	
2001	1	5996	63286	69282	880.9	1.14
	2	609	15008	15617	1002.5	
2002	1	4629	64366	68995	871.4	1.13
	2	299	15240	15539	983.6	
2003	1	4233	30536	34768	435.5	0.98
	2	554	6299	6853	427.2	
2004	1	9022	29149	38170	473.5	0.96
	2	1558	5862	7420	455.0	
2005	1	5413	28585	33998	372.4	1.23
	2	1141	6486	7627	459.3	
2006	1	5926	61566	67493	817.2	1.14
	2	988	14845	15833	934.9	

Zona 1=Población sin riesgo, zona 2= Población con riesgo, RR= Riesgo relativo

Fuente: SSA, 2007 e INEGI, 2010

Para el caso de la hepatitis A (Tabla 3-10), la incidencia acumulada es también más elevada que la tasa de mortalidad, donde el mayor valor de esta medida ha sido de 34.3 enfermos por cada 100,000 habitantes, y el cual se presentó en el 2006 dentro de la zona de riesgo de inundación.

Como se puede observa en la Tabla 3-11, en números absolutos, los años de vida perdidos por discapacidad se presentan en las zonas sin riesgo. Sin embargo cuando se considera el tamaño de la población en cada una de las zonas, la mayor tasa de AVAD ahora se presenta más alta en las zonas con riesgo de inundación, reflejándose de igual forma en el riesgo relativo, en el que todos los años se presentó un grado de

asociación positiva (RR>1), siendo el 2006 el año en que la asociación fue más significativa. Tal comportamiento temporal puede observarse también en la Figura 3-18, con un mayor contraste de la tasa de AVAD para el 2006 seguido del 2003.

Tabla 3-10. Cálculo de medidas de frecuencia para hepatitis

Año	Zona	Casos	Defunciones	Población	IA x 100000 hab.	PM x 100000 hab.
2000	1	1744	7	7782601	22.4	0.1
	2	414	0	1548543	26.8	0.0
2001	1	1694	3	7864795	21.5	0.0
	2	366	0	1557821	23.5	0.0
2002	1	614	11	7918110	7.8	0.1
	2	119	0	1579823	7.6	0.0
2003	1	641	12	7983307	8.0	0.2
	2	298	1	1604038	18.6	0.1
2004	1	1097	8	8060713	13.6	0.1
	2	375	2	1630760	23.0	0.1
2005	1	1743	11	8128646	21.4	0.1
	2	433	0	1660395	26.1	0.0
2006	1	1584	9	8258874	19.2	0.1
	2	580	1	1693532	34.3	0.1

Zona 1=Población sin riesgo, zona 2= Con riesgo, IA= Incidencia acumulada, PM= Probabilidad de morir.

Tabla 3-11. Resultados AVAD y riesgo relativo para hepatitis

Año	Zona	AVP	AVD	AVAD	Tasa AVAD	RR
2000	1	108.88	3904	4013	51.6	1.13
	2	0	906	906	58.5	
2001	1	219.73	3836	4055	51.6	1.00
	2	0	807	807	51.8	
2002	1	162.23	3933	4095	51.7	1.03
	2	0	839	839	53.1	
2003	1	47.46	720	767	9.6	2.25
	2	0	347	347	21.6	
2004	1	559.76	1353	1913	23.7	1.43
	2	94.12	458	553	33.9	
2005	1	310.26	2017	2328	28.6	1.03
	2	0	491	491	29.6	
2006	1	301.76	3595	3896	47.2	1.66
	2	24.91	1300	1325	78.2	

Zona 1=Población sin riesgo, zona 2= Población con riesgo, RR= Riesgo relativo
Fuente: SSA, 2007 e INEGI, 2010

5. Discusión y valoración de hallazgos

De acuerdo con información de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006b), las infecciones intestinales generan en promedio 58 millones de AVAD por año para una población de 6000 millones de habitantes, ligeramente más alto a lo que se presentó en nuestra zona de estudio, con un promedio para el periodo 2000-2006, de 70000 AVAD para una población de poco más de 9 millones de habitantes. Por lo tanto, se puede decir que los valores obtenidos de la carga de la enfermedad están acordes con estudios previos y que sí se puede afirma la existencia de una asociación de indicadores de salud con el factor de riesgo por inundación.

6. Conclusiones

Se dio cumplimiento al objetivo del estudio y se verificó la hipótesis. Sin embargo es conveniente mencionar que las enfermedades analizadas en el estudio cuentan con varios factores que pueden confundir el estudio de su asociación con indicadores de salud como son: los determinados por aspectos meteorológicos, socioculturales y económicos, además de que por la naturaleza de estos padecimientos ya conllevan un comportamiento estacional que habría de considerarse en estudios futuros.

Agradecimientos

Al apoyo brindado por SEMARNAT-CONACYT para la realización de esta investigación (Proyecto: La valoración económica de la vunerabilidad socioeconómica y demográfica ante inundaciones en la República Mexicana, claves: Conacyt 23478; UAEMex 2753/2009c)

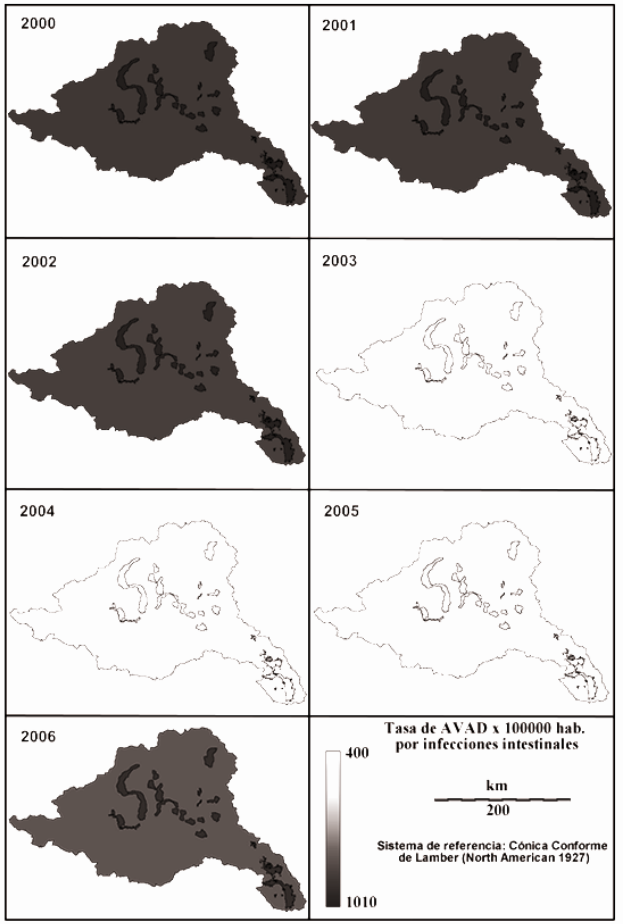


Figura 3-18. Tasa de años de vida ajustados por discapacidad para infecciones intestinales

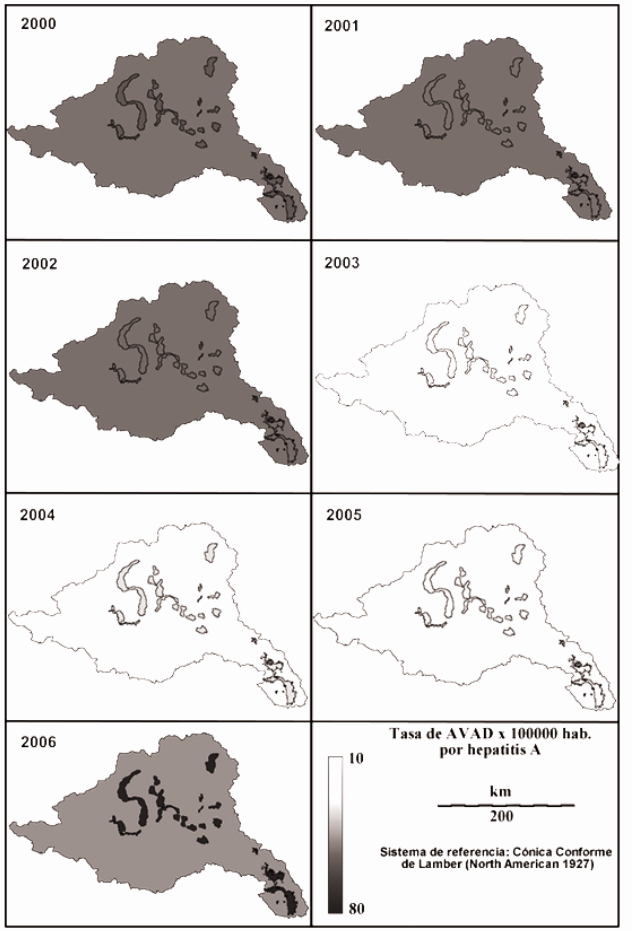


Figura 3-19. Tasa de años de vida ajustados por discapacidad por Hepatitis A

Referencias bibliográficas

Annette P-U, M. Colin, C. Corvalán, A. Woodward (2003). Introduction and methods: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. World Health Organization. Archivo .pdf, 71p.

Baro, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V. y Calderon, G. (2007a): "Curvas de daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte I. Propuesta metodológica", Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXII, núm. 1, pp. 91-103.

Baro, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Calderon, G. y Cadena Vargas, E. (2011): "Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México". Revista Tecnología y Ciencias del Agua antes Ingeniería Hidráulica en México. Vol. II, núm. 3, (en prensa).

Beaglehole, R., R. Bonita and T. Kjellström (2000). Basic epidemiology. World Health Organization. Archivo .pdf, 182p.

CDC Centers for Disease Control and Prevention (2007). Software de análisis de datos estadísticos, http://www.cdc.gov/epiinfo/downloads.htm

Eastman J.R. (2009). Idrisi Taiga. Guide to GIS and Image Processing. Manual Versión 16.00. Clark Labs, Clark University. Archivo .pdf, 328p.

Hernández-Ávila M., (2007). Epidemiología "Diseño y análisis de estudios". Editorial Médica Panamericana, 1ª edición. ISBN 978-968-7988-87-0. México, D.F. 385 p.

INSP (2005). Instituto Nacional de Salud Pública. Núcleo de Acopio y Análisis de Información en Salud, http://www.insp.mx/Portal/naais/.

Kovats, S., K.L. Ebi, B. Menne (2003). Health and Global Environmental Change. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climat change. World Health Organization (WHO). ISBN 92 890 109 08. Copenhagen Denmark. 106 p.

Last, J. M. (2004). Dictionnaire d'épidémiologie (Enrichi d'un lexique anglais-français). Edisem, Maloine. Traduction "Dictionnary of epidemiology", 4th edition, 2001, Oxford University Press, Inc. Traduction et adaptation : L. Talbot-Bélair, M.C. Thuriaux. 306p.

Lopez (2006). Global Burden of Disease and Risk Factors. Oxford University Press and The World Bank. ISBN: 0-8213-6263-1. 506 p. Sitio internet: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/bookshelf/br.fcgi?book=gbd

Melnick, A. L. (2002). Introduction to Geographic Systems in Public Health. An Aspen Publication. ISBN 0-8342-1878-X. United States of America. 300p.

Moreno A.A, M.S López, A.B. Corcho (2002). Principales medidas de epidemiología. Salud pública de México. Vol. 42, No. 4, Julio – Agosto. 337-348 p.

Murray CJL, (1996). The Global Burden of Disease and Injury Series. Volume I. World Health Organization. Cambridge. Harvard University Press.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2006a). Sistema Computarizado de visualización y monitoreo de nuevas enfermedades, http://www.who.int/health_mapping/about/en/.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2006b). Ambientes saludables y prevención de enfermedades, http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/.

OMS-UNICEF (2005). Informe ejecutivo, El agua una responsabilidad compartida. Capítulo 6. Promover y proteger la salud humana. 40 p.

OPS (2001). El control de las enfermedades transmisibles. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Editor Chin J., 17ª Edición. Washington, DC E.U. 748 p.

OPS (2002). La estandarización: un método epidemiológico clásico para la comparación de tasas. Boletín epidemiológico. Vol. 24, No. 4. 6p.

OPS (2003). Organización Panamericana de la Salud. La esperanza de vida: una técnica para resumir la mortalidad y la sobrevivencia. Boletín epidemiológico. Vol. 23, No. 3. 9p.

OPS (2005). Organización Panamericana de la Salud. Sistema de Información Geográfica en Epidemiología y Salud Pública, http://ais.paho.org/sigepi/index.asp.

Pfeiffer D., T. Robinson, M. Stevenson, K. Stevens, D. Rogers, A. Clements (2008). Spatial Analysis in Epidemiology. United States of America. Oxford University Press. 142p.

Quentin, E., C. Díaz-Delgado, M.A. Gómez-Albores, L.R. Manzano-Solís, R. Franco-Plata (2007). Desarrollo Geomático para la Gestión Integrada del Agua. XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG), Universidad Nacional de Luján (UNLu) - Argentina, Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG). 29 al 31 de mayo de 2007, Buenos Aires, Argentina. 21p.

SSA (2007). Secretaria de Salud. SIDEN - Sistema de Descarga del NAAIS, Instituto Nacional de Salud Pública. México: Secretaria de Salud. http://sigsalud.insp.mx/naais/metabase/siden/index.php

SSA (2009). Secretaria de Salud. Enfermedades diarreicas agudas, prevención, control y tratamiento. México: Secretaria de Salud.

UN (2009). Water in a Changing World. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. UNWATER. 349 p. ISBN: 978-9-23104-095-5. http WHO://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/front_matter_es.pdf

O USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA CONTROLE DE PATOLOGIAS EM ROCHAS DE MONUMENTOS: ESTUDO DE CASO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA NA CIDADE DE SERRO, MINAS GERAIS, BRASIL

Marcela Mourão Moura[1], Antônio Gilberto Costa, Ana Clara Mourão Moura,

Mônica Martins Andrade Tolentino[2]

RESUMO

O controle do estado de conservação de rochas ornamentais utilizadas em monumentos é uma tarefa complexa, pois abrange diversas áreas de conhecimento, com dados espaciais e temporais. Um controle efetivo dos elementos pétreos das edificações baseia-se em suas identificações petrográficas, com mapeamento das patologias, levantamento das formas de aplicação e dos agentes de decaimento a que estão expostos. Este trabalho apresenta estudo de caso de edificação denominada Chácara do Barão do Serro, localizada na cidade de Serro, Minas Gerais, Brasil. Construída no século XIX, apresenta requintado trabalho em cantaria. Os dados levantados foram centralizados em um SIG, cuja estruturação tornou mais ágil o estudo diagnóstico do estado de conservação, com confecção de relatórios e mapas. Este diagnóstico é usado para selecionar aspectos que mereçam maior atenção dos órgãos públicos.

Palavras chave: cantaria - integração de dados - rochas ornamentais – gestão de patrimônio público.

THE USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR CONTROL OF DAMAGES IN ROCKS OF MONUMENTS: CASE STUDY OF HISTORICAL BUILDING IN THE CITY OF SERRO, MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

The control of the conservation status of ornamental stones used in monuments is a complex task because it encompasses several areas of knowledge with spatial data and associated with scenarios. An effective control of stony elements of the buildings is based on mapping of petrographic characteristics, usage, identification of diseases, and agents of decay they are exposed to. This paper presents a case study of a building called Chácara do Barão do Serro, located in the city of Serro, Minas Gerais, Brazil. Built in the nineteenth century, it presents an exquisite work in stone. Data were centralized in a GIS, whose structure has become more agile for the diagnostic study of the state of conservation, preparation of reports and maps. This diagnosis is used to select aspects that warrant further attention by public authorities.

Keywords: *monument mapping - integration of data - building stones –management of public heritage.*

---

[1] **Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Av. Antônio Carlos, 6.627 - Campus Pampulha - 31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil. marcela.geologia@gmail.com; [2] Projeto Monumenta –UEP Serro (MG) – MEC. Praça João Pinheiro, 154 – Centro 39150-000 - Serro – MG. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM**

1. Introdução

As melhores práticas de preservação de objetos construídos em pedra em edificações históricas apontam para a necessidade de uma documentação abrangente e dinâmica. Além da descrição dos objetos de cantaria propriamente ditos, para a gestão da conservação e restauro de edificações históricas, é necessário um cadastro detalhado, que contemple aspectos legais, histórico de intervenções, documentos de referência, técnicos responsáveis, entre outros.

O estudo do estado de conservação de rochas utilizadas em monumentos caracteriza-se por abranger uma grande variedade de dados, que precisam ser analisados segundo aspectos espaciais e temporais. Um controle efetivo do estado de conservação das rochas utilizadas em monumentos deve basear-se em mapeamento detalhado de suas características petrográficas, formas de aplicação, identificação de patologias e agentes de decaimento a que estão expostas.

Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso em uma edificação do século XIX, denominada Chácara do Barão do Serro, localizada na cidade de Serro, província de Minas Gerais, região sudeste do Brasil. Esta cidade foi importante centro cultural no passado e a primeira cidade brasileira a ser tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, em 1938. A Chácara do Barão do Serro pertenceu originalmente a um comerciante de diamantes e coronel da Guarda Nacional – o Barão do Serro. Construída na segunda metade do século XIX, a chácara apresentada elementos estruturais e decorativos esculpidos em carbonato-talco xistos (Figura 3-20).



Figura 3-20. Chácara do Barão do Serro – vista frontal esquerda da fachada (fotografia capturada em novembro-2003).
Fonte: Programa IPAC (IEPHA,2010)

Diante da diversidade dos dados e de suas características espaciais e temporais, optou-se pela construção de um sistema de informação geográfica- SIG, para oferecer de forma organizada e dinâmica o acesso aos dados alfanuméricos e cartográficos, bem como favorecer sua interpretação. Este estudo apresenta resultados de pesquisa sobre a aplicação de xistos como rochas ornamentais, em desenvolvimento no âmbito do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geologia do IGC/UFMG e do programa de pesquisas em andamento junto ao Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas com Aplicação Ornamental (LABTECRochas), do Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa - IGC/UFMG.

2. Antecedentes teóricos e metodológicos

A gestão de edificações históricas e, mais especificamente, dos elementos pétreos presentes nestas edificações, envolve tipos de dados e formas de abordagens distintas. Por um lado, há a questão da gestão propriamente dita, que envolve controle de projetos e seus desdobramentos, como orçamentos, custos, prazos e atribuição de responsabilidades, entre outros. Por outro lado, há os dados técnicos, que abrangem as propriedades dos elementos decorativos executados em rocha.

Em geral as instituições responsáveis pelas edificações mantêm sistemas de cadastro que armazenam os inventários de dados. No estudo de caso apresentado neste artigo, o cadastro encontra-se disponível para acesso público em um sistema denominado Inventário de Proteção ao Acervo Cultural de Minas Gerais - IPAC/MG, desenvolvido por Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais – IEPHA/MG, que é uma fundação pública vinculada à Secretaria de Estado de Cultura de Minas Gerais. Na apresentação no sistema é enfatizada a importância do inventário de dados que "... é uma das atividades fundamentais para o estabelecimento e priorização de ações dentro de uma política de preservação efetiva e gestão do patrimônio cultural. Toda medida de proteção, intervenção e valorização do patrimônio cultural depende do conhecimento dos acervos existentes." (IEPHA, 2008). O sistema contém dados alfanuméricos relativos à gestão do patrimônio cultural tombado; plantas cadastrais e mapas; imagens; textos e arquivos de áudio e vídeos (Figura 3-21), mais da forma como está estruturado, não favorece a associação espacial entre os mesmos.

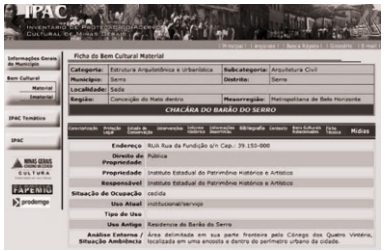


Figura 3-21. Tela capturada do programa Inventario de Proteção do Acervo Cultural de Minas Gerais – IPAC, com ficha da Chácara do Barão do Serro. Fonte: Programa IPAC (IEPHA,2010)

Em termos técnicos, o diagnóstico do estado de deterioração dos objetos de cantaria envolve levantamento dos tipos litológicos utilizados, mapeamento de suas áreas de distribuição, tipos de intemperismo, intensidade e extensão das patologias presentes nas rochas, além da combinação entre as diversas categorias de intemperismo. Há vários estudos que tratam da sistematização do levantamento do estado de conservação de rochas em edificações. Entre eles, destacam-se Aires-Barros (2001) e de pesquisadores da Universidade de Aachen (Fitzner 2004, Heinrichs & Fitzner 2007). Aires-Barros (op.cit.) descreve em detalhes as principais patologias das rochas nos monumentos. Já Fitzner et al. desenvolveram metodologia para mapeamento sistemático de estado de conservação e patologias das rochas utilizadas em edificações e

monumentos. Eles propuserem uma classificação, que leva em consideração as formas e a intensidade de intemperismo. O levantamento de campo é realizado em níveis sucessivos, da forma geral para o detalhe. Segundo estes autores, para que os processos de levantamento e avaliação do grau de intemperismo sejam objetivos e reprodutíveis, é necessário um esquema de classificação padronizado e bem especificado.

Existem, portanto, vários estudos que buscam sistematizar a gestão do patrimônio histórico e outros que tratam especificamente do mapeamento e controle do estado de conservação dos elementos pétreos em edificações. A combinação das duas abordagens é possível em um SIG, associado a um banco de dados relacional. O presente estudo pretende mostrar como a utilização bem estruturada das ferramentas de um SIG, para o cadastro sistematizado dos dados referentes a rochas e suas patologias, torna mais ágil o acesso aos dados. Além disto, o SIG permite a comparação entre mapas e a composição de novos produtos cartográficos, que favorecem a compreensão e a análises das informações. O SIG é a ferramenta mais adequada e disponível para associar a um objeto, dados alfanuméricos, com atributos de posicionamento e variações no tempo. Esta associação entre bases cartográficas, dados alfanuméricos e imagens também favorece o controle de cenários e a comunicação entre especialistas e dá apoio à tomada de decisões de modo integrado, além de funcionar com um registro espacializado das várias ações sobre o bem.

3. Materiais, dados e métodos

Na pesquisa foi estabelecido um roteiro de procedimentos para o estudo das rochas e de suas aplicações ornamentais na edificação histórica, que envolveu as etapas apresentadas a seguir.

1 - Visita técnica à Chácara do Barão do Serro, para levantamento preliminar de campo e avaliação do grau de interesse de sua inclusão no contexto da pesquisa sobre a aplicação de xistos como rochas ornamentais. Nesta fase, foram verificados os tipos litológicos utilizados na edificação histórica e as formas de aplicações (escadas, portais, balaústres, móveis etc.).
2 - Obtenção, junto ao IEPHA-MG, de autorização para a realização do mapeamento e obtenção das bases cartográficas.
3 - Definição do método e os atributos a serem mapeados, com base em pesquisa bibliográfica.
4 - Mapeamento dos elementos de cantaria, considerando aspectos petrográficos, patologias e intensidade de alteração. Foram também observadas as condições de exposição a agentes intempéricos e as formas de utilização.
5 - Identificação das possíveis áreas de ocorrência das rochas utilizadas, através de pesquisa bibliográfica e consulta a pesquisadores.
6 - Trabalho de campo, para coleta de amostras na área-fonte identificada, no caso, uma antiga lavra fora de operação.
7 - Caracterização petrográfica e tecnológica das rochas amostradas, realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais LABTECRochas/CPMTC – Instituto de Geociências – UFMG.
8 - Consolidação e estruturação dos dados obtidos em um SIG.

3.1. O estudo de caso

A Chácara do Barão do Serro foi originalmente residência de José Joaquim Ferreira Rabello – o Barão do Serro, comerciante de diamantes e coronel da Guarda Nacional. Construída na segunda metade do século XIX, nos tempos áureos do baronato, a chácara seguiu os moldes das chamadas "casas de arrabalde", encontradas nos registros da arquitetura nas zonas litorâneas brasileiras (Werneck, 2008). Contém requintado trabalho em cantaria, com elementos esculpidos em rochas que ocorrem na própria região.

Foram empregadas na Chácara rochas metamórficas ortoderivadas e de composição ultrabásica, denominadas carbonato-talco xistos. Os principais minerais que compõem este litotipo são o talco, o carbonato, a clorita e a cromita. São rochas que apresentam coloração cinza clara quando secas e cinza quando úmidas e, como aspecto macroscópico característico, uma foliação marcada por bandas carbonáticas mais claras e por filmes de óxidos (Figura 3-22). Possuem granulação fina a média: os cristais têm tamanhos milimétricos a submilimétricos. A presença do talco torna a rocha untuosa ao tato. Na mesma forma, a composição mineralógica, composta essencialmente por minerais macios (talco, carbonato e clorita), confere aos materiais utilizados baixa resistência ao desgaste por abrasão, fato confirmado no mapeamento *in situ* e nos ensaios de laboratório.



Figura 3-22. Aspecto macroscópico do carbonato-talco xisto, rocha de composição ultrabásica empregada na Chácara do Barão do Serro.

Delimitação espacial

A cidade de Serro fica a aproximadamente 200 quilômetros de Belo Horizonte, situada no centro-nordeste de Minas Gerais, na região central da Serra do Espinhaço.

A chácara do Barão do Serro localiza-se nos limites urbanos de Serro, defronte à cidade, que hoje está integrada, mas ainda guarda suas características semi-rurais. De propriedade do governo do estado e gerenciada pelo IEPHA, ela fica no perímetro urbano, na margem esquerda do Córrego dos Quatro Vinténs. A casa principal ocupa uma área de aproximadamente 400 m^2, com fachada de 20 m de extensão. Os elementos mapeados têm dimensões decimétricas a métricas, constituindo principalmente de escadarias, balaustres e poltronas, esculpidos em carbonato-talco xistos (Figura 3-23).



Figura 3-23. Chácara do Barão do Serro – vista frontal da fachada frontal com detalhe das poltronas esculpidas em carbonato-talco xistos (fotografia capturada em novembro-2003).

Fonte: Programa IPAC (IEPHA,2010)

Delimitação temporal

A investigação dos elementos de cantaria foi dividida em três etapas: uma visita preliminar ao local, seguida de um mapeamento de detalhe e uma etapa em laboratório.

O levantamento de campo inicial restringiu-se a um reconhecimento expedito, em fevereiro de 2008, com o objetivo de avaliar se os objetos construídos em rochas presentes na Chácara do Barão do Serro justificavam sua inclusão no estudo.

Em uma segunda etapa de campo, em maio de 2008, foi realizado o mapeamento detalhado dos elementos em cantaria. A edificação encontrava-se em processo de restauração pelo Programa Monumenta, uma parceria entre o Ministério da Cultura e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID (Figura 3-24). No levantamento in situ foi realizada a descrição petrográfica macroscópica, mapeamento das formas e intensidades de intemperismo e documentação fotográfica.

Em laboratório foram realizadas descrições petrográficas em microscópio óptico de luz polarizável, análises químicas de rocha total e ensaios de caracterização tecnológica.



Figura 3-24. Vista frontal da Chácara do Barão do Serro (fotografia capturada em maio de 2008, durante processo de restauro).

3.2. Os dados

Os dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa em curso foram em parte coletados via mapeamento de campo, em parte via realização de ensaios de laboratório. Os dados de gestão foram obtidos no Inventário de Proteção do Acervo Cultural de Minas Gerais – IPAC/MG, na categoria de bem cultural material, em sistema disponível para consulta pública no site do IEPHA (2010).

Com relação às rochas e seus dados tecnológicos deve ser ressaltado:

1 - de modo geral, as rochas ornamentais e de revestimento são tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro (Costa et al., 2000). A qualidade das rochas ornamentais é avaliada por seus aspectos estéticos, pelos índices físico-tecnológicos e por sua resistência à alteração. As características petrográficas, intrínsecas das rochas, influenciam nos aspectos estéticos, em termos de coloração, arranjos texturais, homogeneidade etc., e interferem na resistência das rochas a esforços mecânicos e processos de alteração intempérica. Comercialmente as rochas ornamentais são classificadas como mármores, granitos, quartzitos, xistos e ardósias. Os "granitos" correspondem às rochas silicáticas (ígneas plutônicas ou vulcânicas, gnaisses e migmatitos), os "mármores" às rochas calcárias ou dolomíticas. Segundo dados da Associação Brasileira de Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS (2008), a composição da produção brasileira de rochas ornamentais no ano de 2007 estava dividida em aproximadamente 50% de granitos, 14% mármores, 11% quartzitos e 11% de ardósias. Em termos de produção mundial, os granitos e os mármores juntos respondem por 90% do total produzido.

2 - dentre as rochas, e considerando aquelas do estudo de caso aqui apresentado, os xistos vêm despertando um interesse crescente do mercado, principalmente por aspectos estéticos peculiares, conferidos pelo arranjo dos minerais segundo uma orientação preferencial e pela composição mineralógica distinta. O conhecimento mais amplo sobre estas rochas traz como benefício demonstrar seu potencial de utilização como rocha ornamental, com a valorização de suas características próprias e permitir uma correta especificação de uso. Segundo Costa et al. (2000), a disponibilidade dos dados tecnológicos permite um melhor aproveitamento e aplicações mais adequadas e agrega valor aos materiais pétreos de modo geral.

Com o objetivo de caracterizar os xistos utilizados nos elementos de cantaria pesquisados, segundo suas propriedades tecnológicas, amostras destes materiais foram submetidas a ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, obedecendo aos procedimentos normativos definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT. No laboratório de rochas ornamentais – LABTEC Rochas do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa-CPMTC, Instituto de Geociências da UFMG, foram realizados ensaios de índices físicos, desgaste abrasivo Amsler, ensaio de dilatação térmica linear e resistência à flexão.

3.3. Técnicas de análises

Classificação das patologias

O mapeamento do estado de deterioração dos objetos pétreos foi realizado com base em metodologia proposta por pesquisadores da Universidade de Aachen (Fitzner 2004, Heinrichs & Fitzner 2007), que organizaram o levantamento em quatro níveis: nível I – grupos das formas de intemperismo; nível II - formas de intemperismo predominantes; nível III – formas de intemperismo individuais; nível IV – classificação de intensidades. As formas de intemperismo propostas por Fitzner (2004) e adotadas neste trabalho são: perda de material rochoso; descoloração e depósitos; destacamentos. As intensidades de intemperismo foram classificadas em alta e baixa.

Estruturação do Sistema de Informações Geográficas

O SIG foi estruturado de forma a incorporar os arquivos vetoriais de fachadas (Figura 3-25) e plantas baixas (Figura 3-26), os resultados do mapeamento dos elementos em cantaria e o inventário da edificação com dados de gestão.

Os arquivos vetoriais da planta baixa e das fachadas foram inseridos como *shapes* em datum SAD69 (Figura 3-27). O georreferenciamento teve o objetivo de permitir a combinação com outras bases de dados regionais e estudos sobre a influência de condições climáticas (exposição solar, variação térmica) sobre os elementos de cantaria.

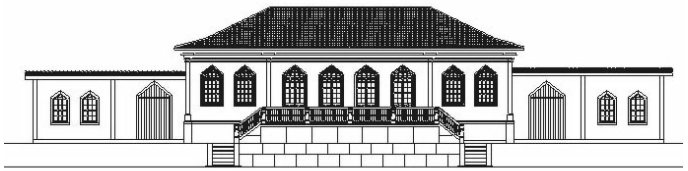


Figura 3-25. Representação vetorial referente ao levantamento arquitetônico da fachada principal da Chácara do Barão do Serro, cadastrado no SIG. Fonte: Projeto Monumenta.

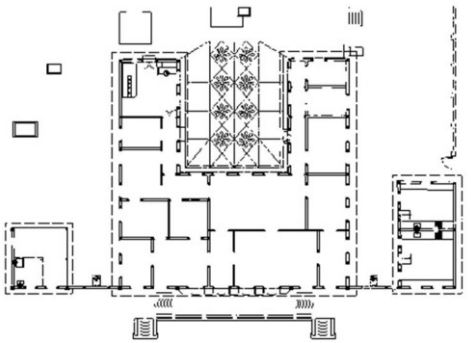


Figura 3-26. Representação vetorial referente ao levantamento arquitetônico da planta baixa da Chácara do Barão do Serro, cadastrado no SIG. Fonte: Projeto Monumenta.



Figura 3-27. Projeção dos shapes da planta baixa da Chácara do Barão do Serro, cadastrado no SIG, sobre imagem de satélite Ikonos.

Os resultados do mapeamento foram cadastrados no SIG, em shapes e em tabelas em um banco de dados relacional. Para cada elemento de cantaria mapeado, foram associadas às descrições petrográficas macroscópicas e os atributos referentes à forma e à intensidade de intemperismo.

Com o objetivo de classificar os objetos de cantaria em categorias de deterioração, foi realizada uma análise de multicritérios, com atribuição de pesos para as variáveis forma e intensidade de intemperismo. Foram utilizadas as categorias de deterioração propostas por Fitzner (2004), assim definidas: 0 – nenhum dano, 1 – danos muito leves, 2 – danos leves, 3 – danos moderados, 4 – danos severos, 5 – danos muito severos.

A partir da categorização dos objetos de cantaria segundo seu grau de deterioração, foram gerados mapas temáticos. A Figura 3-28 apresenta uma imagem capturada da tela do SIG, exibindo um mapa temático dos balaustres da fachada principal da Chácara do Barão do Serro, classificados segundo o grau de deterioração e, à esquerda, a tela de consulta dos dados associados ao balaustre de número 7.

Segundo Fitzner (2004), as categorias de deterioração são indicadores adequados para apoiar decisões quanto às necessidades e urgências de medidas de preservação. A Tabela 3-12 apresenta a associação proposta por Fitzner (op.cit).

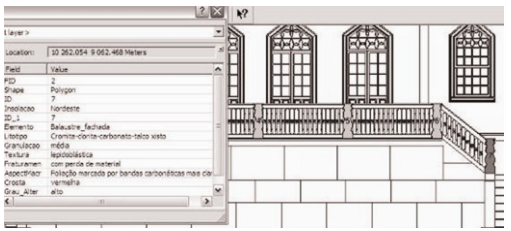


Figura 3-28. Imagem capturada da tela do SIG: mapa da fachada principal da Chácara do Barão do Serro, com os balaustres classificados segundo o grau de deterioração; janela do SIG (à esquerda) exibe resultado de consulta a dados associados ao balaustre 7.

Tabela 3-12. Categorias de deterioração associadas à classificação quanto às necessidades e urgências de preservação, segundo proposto por Fitzner (2004).

CATEGORIA	ESTADO DE DETERIORAÇÃO	MEDIDAS DE PRESERVAÇÃO NECESSÁRIAS
0	nenhum dano	medidas de preservação não são necessárias
1	danos muito leves	medidas de preservação não são necessárias
2	danos leves	medidas de preservação não são necessárias; monitoramento e/ou reavaliação são aconselháveis.
3	danos moderados	medidas de preservação são necessárias
4	danos severos	medidas de preservação são necessárias
5	danos muito severos	medidas de preservação são necessárias e urgentes.

Com o objetivo de fornecer dados para a avaliação do efeito da exposição solar sobre o grau de meteorização da rocha, foi gerado um mapa temático, com a classificação dos balaustres da fachada principal da Chácara do Barão do Serro segundo seu posicionamento para exposição solar. A Figura 3-29 apresenta a imagem capturada da tela do SIG, com a classificação.

Além dos dados cartográficos e alfanuméricos, foram associados aos elementos de cantaria, individualizados no SIG, fotografias e navegação virtual. A Figura 3-30 exibe imagem capturada da tela do SIG: na janela à esquerda os resultados da consulta aos dados associados a um *shape* de um elemento de cantaria e na janela central a fotografia associada a este mesmo elemento.

A Figura 3-31 apresenta imagem capturada da tela do SIG, exibindo na janela à esquerda os resultados da consulta aos dados associados a um ponto de visada inserido na planta baixa da Chácara do Barão do Serro e, na janela inferior, a navegação virtual associada a este ponto.

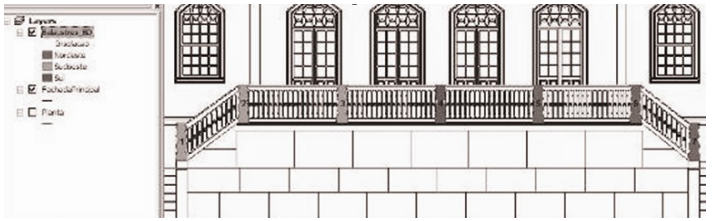


Figura 3-29. Imagem capturada da tela do SIG: mapa da fachada principal da Chácara do Barão do Serro, com os balaustres classificados segundo o grau de exposição solar.

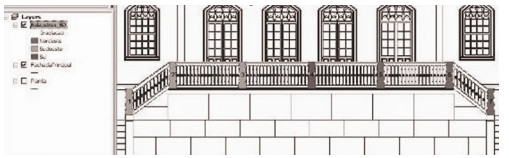


Figura 3-30. Imagem capturada da tela do SIG: telas de consulta a dados alfanuméricos e a imagem associados a um shape, correspondente a um elemento de cantaria, no caso, o balaustre 7 da fachada principal da Chácara do Barão do Serro.

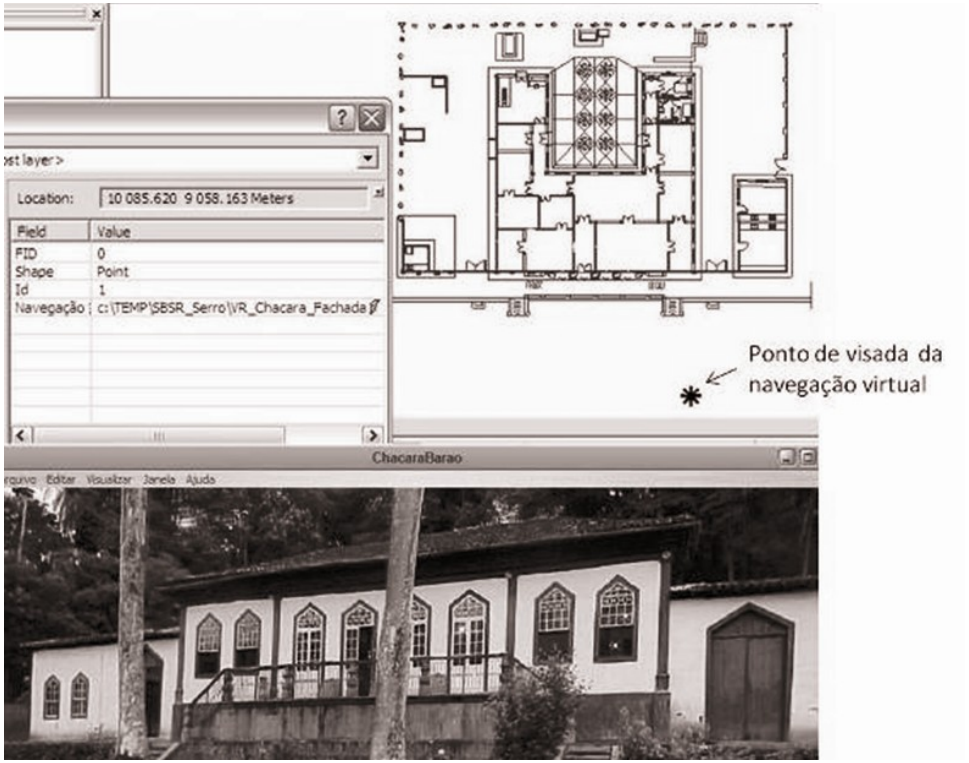


Figura 3-31. Imagem capturada da tela do SIG: ponto de visada georreferenciado na planta baixa, posicionado na fachada principal da Chácara do Barão do Serro e a sua respectiva navegação virtual.

5. Conclusões

Os objetos de estudo deste trabalho – edificações históricas com elementos decorativos construídos em rocha - tem como características serem essencialmente interdisciplinares e temporais, o que as análises e os estudos diagnósticos tornam-se complexas. O SIG, construído com o propósito de armazenar em uma base única tanto os dados cartográficos como os dados alfanuméricos referentes à Chácara do Barão do Serro mostraram-se eficiente em termos de garantia de acesso a informações consolidadas e na geração de mapas.

A estruturação e consolidação, em um só sistema, de todos os dados relacionados a uma edificação histórica, com elementos de cantaria, incorporam as facilidades presentes em um SIG, incluindo consultas compartilhadas, data query, visualização e geração de mapas e relatórios consolidados. A possibilidade que o SIG oferece de visualização simultânea de variáveis em seu espaço de aplicação torna mais efetiva a comunicação entre profissionais de diversas áreas. Além disto, ao permitir a geração de mapas temáticos, com grau de deterioração e prognósticos de riscos, o SIG favorece que decisões sejam tomadas, com todos os aspectos relevantes sendo considerados.

Em termos de avaliação da progressão do processo de deterioração das rochas, o cadastro de sucessivos levantamentos no SIG favorece a análise de cenários e elaboração de prognósticos, ao permitir a comparação entre variações das propriedades das rochas ao longo do tempo e taxas de deterioração.

No estudo de caso apresentado neste trabalho o mapeamento foi realizado quando a edificação encontrava-se em processo de restauração, em 2008. Passados dois anos, a realização de novo mapeamento e cadastro dos dados com a mesma sistemática, certamente é uma ferramenta interessante para acompanhar o processo de deterioração, bem como a eficácia das medidas de prevenção adotadas à época do restauro.

A adoção dos recursos de geoprocessamento pelos órgãos de gestão do patrimônio histórico e cultural pode se tornar interessante ferramenta para consultas ao acervo, segundo critérios flexíveis de pesquisa. Ainda que em escalas diferentes, todos os dados conformam o mosaico de informações sobre o bem histórico. A ferramenta empregada no conjunto de dados pode resultar em compreensões sobre os motivos que levaram ao emprego de determinadas técnicas e materiais nas diferentes realidades espaciais do território, o que abre nova perspectiva histórica para o estudo do patrimônio. As caracterizações resultantes de correlações e sínteses e variáveis podem gerar um mapa de hierarquização das prioridades de intervenção no conjunto, além de favorecerem a transparência sobre a localização e os motivos de escolha de aplicação dos recursos públicos.

Pelos aspectos apresentados, a inserção em um SIG, de toda a documentação referente aos elementos de cantaria, constitui-se uma interessante ferramenta de apoio para gerenciamento de projetos de preservação e manutenção de monumentos históricos.

Agradecimiemto

Os autores agradecem ao CNPq e às CAPES pelas bolsas concedidas e à FAPEMIG (PROC. CRA-APQ-3322-5.02/07) pelo suporte financeiro na presente pesquisa.

Referëncias bibliográficas

Aires-Barros L. 2001. As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias. Lisboa: Min. Cultura - Inst. Port. Patrim. Arquitetônico, 535p.

Costa A.G.; Campello M.S.; Pimenta V.B. 2000. Rochas ornamentais e de revestimentos de Minas Gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil. Geonomos, 8 (1): 9-13.

Fitzner, B. (2004): Documentation and evaluation of stone damage on monuments. - In Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. (ed.): Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 27 June - 2 July 2004, Stockholm, Vol. II, 677-690, ICOMOS, Sweden. [consulta: 11-04-2010]. Disponível em: <http://www.stone.rwth-aachen.de/stockholm2004.pdf>

Heinrichs, K. & Fitzner, B. (2007): Stone monuments of the Nemrud Dag sanctuary / Turkey - petrographical investigation and diagnosis of weathering damage.- Z. dt. Ges. Geowiss., 158/3 "Rohstoff Naturstein - Teil 1" / "Natural Building Stone Resources - Part 1", 519-548. [consulta: 11-04-2010]. Disponível em: <http://www.stone.rwth-aachen.de/heinrichs_nemrud_dag.pdf>.

Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA/MG): [Consulta: 11-04-2010]. Disponível em: <http://www.ipac.iepha.mg.gov.br/>.

Werneck, G. (2008): Serro tem patrimônio histórico revigorado. Jornal do Commercio – Rio de Janeiro, 11/02/2008.

NOTAS: 1 A cromita é um óxido de cromo e ferro.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA APTITUD CON RELACIÓN A LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES LIGADAS A LAS ACTIVIDADES RECREATIVAS Y DEPORTIVAS EN ESPACIOS NATURALES

Federico Benjamín Galacho Jiménez[1], Juan Antonio Arrebola Castaño[2], Ana María Luque Gil[3]

RESUMEN

Se desarrolla un método cuyo objetivo principal es la evaluación de la aptitud de las infraestructuras viales que dan soporte a las actividades recreativas en los espacios naturales. Se parte del supuesto que valorando sus condiciones intrínsecas y estableciendo su grado de idoneidad como soporte de las distintas actividades, es posible establecer en qué condiciones se llevan a cabo estas, cuáles son los posibles impactos que pueden generar y en qué medida hay que intervenir para minimizarlos. Se trata también de aportar criterios para el establecimiento de la capacidad de uso o en su caso, de carga. El método propuesto proporciona resultados a modo de evaluaciones. Se utiliza para ello un sistema de evaluación que combina las técnicas de evaluación multicriterio y los modelos de aptitud, configurados como una aplicación en un Sistema de Información Geográfica, con la pretensión expresada y que pueda servir de apoyo a los procesos de toma de decisión fundamentalmente en lo referente a la gestión ambiental de los espacios naturales.

Palabras clave: Aptitud, Impacto ambiental, SIG y Evaluación Multicriterio.

A METHOD FOR THE EVALUATION OF THE APTITUDE REGARDING INFRASTRUCTURES RELATED TO RECREATIONAL AND SPORTIVE ACTIVITIES IN NATURALES SPACES

ABSTRACT

A method is developed in order to evaluate the aptitude of the ways and footpaths that give support to the recreational activities in the natural spaces. It shows the supposition that valuing its intrinsic conditions and establishing its degree of aptitude, like support of the distinct activities, is possible to establish in which conditions carry out these, which are the possible impacts that can generate and in which actions are needed to take part for diminishing them. We have the intention also to contribute with criteria for the establishment of the capacity of use or in this case, of load. The method provides results to the way of evaluations. It uses for this a system of evaluation that combines the multi-criteria evaluation techniques and aptitude models, configured like an application in a Geographic Information System, with the purpose of expressing support to the processes of taking fundamental decisions fundamentally regarding the environmental management of the natural spaces.

Keywords: Aptitude, Environmental impact, GIS and Multi-criteria evaluation.

Departamento de Geografía, Universidad de Málaga Campus de Teatinos, s/n; 29071 Málaga, España.E mail: [1]fbgalacho@uma.es, [2] juan.arrebola@uma.es,[3] geoana@uma.es

1. Introducción

Este trabajo se posiciona en el marco de la realización de propuestas científicas para el desarrollo del uso sostenible del territorio y con especial referencia a la gestión ambiental de actividades turístico-deportivas y recreativas en los espacios naturales. Como se sabe, dichos espacios son cada vez más demandados para estos usos, pero no siempre dichas actividades son objeto de una adecuada implantación y planificación, llegándose a producir impactos de cierta consideración no sólo sobre las zonas mismas donde se desarrollan dichas actividades sino también sobre los entornos más inmediatos. Un problema que se presenta con demasiada frecuencia respecto a esta temática en general y respecto a la gestión que las administraciones u organismos competentes deben hacer, particularmente de los espacios naturales, es la carencia de instrumentos y métodos sobre los que apoyar su toma de decisión. Algo que pesa negativamente en el rigor de los trabajos cuyo objeto sea la planificación de las actividades en los espacios naturales, generalmente de cara a su gestión ambiental y concretamente respecto a los usos principales demandados. Consideramos que el conocimiento que aportan las evaluaciones que se generan con el método que se expone es útil para los procesos de auditoria y toma de decisión respecto a cómo se desarrollan las actividades y sobre los efectos que producen o pueden llegar a producir.

Según expone Luque (2004), la oferta turístico-recreativa en los espacios naturales resulta de gran diversidad, diferenciándose prácticas recreativas (paseos, contemplación de la naturaleza, etc.), interpretativo-educativas (rutas ecológicas, utilización de infraestructuras de observación de avifauna, etc.), y lúdico-deportivas que incluyen las denominadas "actividades recreativo-deportivas en la naturaleza" y los "deportes en la naturaleza". Todas ellas suponen una demanda creciente y pueden ser enmarcadas dentro del segmento turístico denominado "turismo activo". Nosotros nos centraremos en las últimas mencionadas: las actividades recreativo-deportivas y los deportes en la naturaleza.

Pues bien, en esta línea temática creemos que es de general aceptación que la sostenibilidad ambiental pasa por la utilización óptima de los recursos naturales por parte de estas actividades, de ahí que en la práctica de cualquiera de ellas deba asegurarse el equilibrio con el medio donde se desarrolle. Por consiguiente, las actividades mencionadas deben localizarse adecuadamente desde una perspectiva espacial. Para alcanzar dicho propósito se muestran especialmente útiles los estudios basados en las metodologías de capacidad de acogida del territorio, los cuales pueden servir para orientar sobre la utilización más adecuada de los recursos y para proponer una implantación, lo más acorde posible, de estas actividades en función de las características físicas y ecológicas de los espacios donde se desarrollan.

De acuerdo con estos presupuestos se ha venido trabajando en una propuesta metodológica que consta de los siguientes pasos: evaluación de las condiciones físicas de las infraestructuras soporte de las actividades turístico-deportivas y recreativas para determinar su capacidad potencial y real para dichas prácticas; análisis de la situación actual de uso mediante la cuantificación de la frecuentación estimada con los datos obtenidos de una red de aforadores para ello instalados; determinación del nivel de impacto ambiental según las condiciones actuales de uso. Con base en los tres pasos anteriores, que proporcionan información interrelacionada, es posible determinar razonadamente los parámetros de capacidad de carga de dichas infraestructuras y por derivación de las zonas o entornos por donde discurren.

En esta comunicación, por cuestión de espacio, nos centramos en exponer el paso primero: la evaluación de las condiciones físicas de las infraestructuras viales (caminos, senderos, pistas forestales, etc.) soporte de las actividades turístico-deportivas y recreativas, aportando un método para la evaluación de su aptitud, que diseñado especialmente para los espacios naturales, considera dichas infraestructuras viales no sólo como elementos soporte de las actividades sino también como elementos irradiadores y canalizadores de las mismas en el medio. Se parte pues de la consideración de que valorando sus características físicas intrínsecas y estableciendo una cuantificación de su grado de

idoneidad como soporte de las distintas actividades, es posible establecer en qué condiciones se llevan a cabo dichas actividades, cuáles son los posibles impactos que se pueden generar y en qué medida se puede intervenir para minimizarlos. Todo ello en la consideración de que en muchos casos es necesario el establecimiento de parámetros que determinen la capacidad de carga y que justifiquen en su caso la regulación de la capacidad de uso.

Con esta perspectiva se establece pues un objetivo general: la evaluación de las infraestructuras viales, con especial atención a sus caracteres intrínsecos y como soporte de las actividades mencionadas. No obstante, como la variedad de las actividades recreativo-deportivas y los deportes en la naturaleza pueden llegar a ser demasiado amplia para el contexto de esta comunicación aplicaremos la metodología a las actividades de senderismo. Ya que no es demasiado complicado adecuar a otras actividades nuestras evaluaciones creemos que basta con mostrar la estructura del procedimiento para entender cómo aplicar esta metodología en otros casos.

Como se ha expresado, entendemos que los resultados de la aplicación de esta metodología sirven de base para los análisis posteriores mencionados. El análisis de la situación actual de uso o la determinación del nivel de impacto ambiental según estas condiciones, aunado a la toma de decisión de cara a establecer la capacidad de carga y con evitar o minimizar los riesgos de degradación ambiental que se presentan con el uso o la frecuentación continuada. Con esta finalidad se proporcionan evaluaciones objetivas por medio de un sistema de evaluación que combina las técnicas de evaluación multicriterio y los modelos de aptitud, configurados como una aplicación en un Sistema de Información Geográfica, que pueda servir de modelo para procesos de decisión en referencia a la gestión ambiental mencionada. Dentro de esta metodología, la investigación se centra en el diseño de criterios y factores que fundamentan estas evaluaciones, así como la necesaria experimentación en una zona piloto. Se propone por sus características el Parque Natural de Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga –España-.

2. Antecedentes y marco teórico

Este trabajo se posiciona dentro de un marco amplio desarrollado por el proyecto "Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad para usos recreativos de espacios protegidos", proyecto I+D+I financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (Referencia: SEJ-2007-67690. Fecha de inicio: 1-II-2008 y fecha de finalización: 31-I-2012) y Proyecto de Investigación de Excelencia del mismo nombre de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía (Referencia P07-HUM-03049. Fecha de inicio: 1-X-2007 y fecha de finalización: 30-IX-2011).

Dicho proyecto se inserta en el marco metodológico de la investigación en planificación física y en desarrollo rural, y en el instrumental de los SIG y EMC, campos todos ellos fuertemente consolidados. Aborda una temática emergente, la evaluación de la capacidad de acogida de usos, puesta en práctica en un principio dentro de la teoría de la planificación física con base ecológica. Esta temática se desenvuelve en torno a cuatro conceptos básicos: calidad, fragilidad, aptitud e impacto. Si el medio puede ser descrito en función de sus elementos y variables geográficas, y estudiado a través de los conceptos de calidad y fragilidad, la relación de estos dos conceptos con las actividades vendrá dada a través de los conceptos de aptitud e impacto. El concepto teórico al que se refiere el uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad se fue fundamentando en la práctica de la ordenación territorial sobre dos basamentos: el análisis de las aptitudes y el análisis de los impactos. El primero, la aptitud, que se orienta a la valoración de las oportunidades que el medio ofrece al desenvolvimiento de la actividad humana, es una práctica básica en la planificación territorial. El segundo, los impactos, que cuya base son las directrices de protección, parte de la valoración de la fragilidad del medio, a fin de establecer las limitaciones de uso que puedan impedir su deterioro. La integración de estas dos

líneas de evaluación del territorio, la de aptitud y la de impacto, puede derivar a la elaboración de un modelo territorial ideal, en el que se optimice el aprovechamiento de los recursos y la implantación de las actividades. Se basa en los mismos conceptos de aptitud (que resume el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado) e impacto (los efectos negativos que pueden derivarse de su implantación) incluyéndose también, como es habitual al tratarse de una evaluación orientada a un objetivo preciso, el de restricción para delimitar entre las alternativas reales las que son incompatibles (natural o normativamente) con el objeto de la evaluación. Existe un extenso desarrollo de estos enfoques, entre los se puede citar destacan como figuras relevantes Bertalanffy (1964), Leopold et alii (1971), Carpenter (1976), Lee (1982) y Westman (1985). En España, cabe igualmente destacar la influencia de las aportaciones de Gómez (1988 y 1992) y Estevan (1984).

Con más de medio siglo de desarrollo, la teoría se desenvuelve con el soporte de diferentes propuestas metodológicas (procedimientos y criterios de clasificación, agregación y análisis). Cabe destacar en esta línea las aportaciones sucesivas de Canter (1977, 1979 y 1985), Clark (1978, 1980), Bisset (1980), Rau (1980), Hollick (1981), Lee (1983) y Black (1991). Propuestas que se anclan en las dos opciones que aparecen en los primeros desarrollos metodológicos: la basada en unidades homogéneas desarrollada por González (1973) y Otero (1993), o bien en la caracterización por elementos significativos trabajada por Lewis (1964) o Ramos y Ayuso (1974).

Hasta fechas recientes los estudios del medio natural como soporte para la práctica de las actividades que se tratan en este trabajo se habían basado en el inventario, localización y recogida de información, pudiéndose citar entre otros a Leno Cerro (1993), López (1998) y Antón et alii (2005). La propuesta metodológica que se expone en este trabajo trasciende en la inicial confrontación metodológica la dificultad de manejo y análisis de los inventarios territoriales. Como es bien sabido, para definir estos modelos es necesario integrar amplios inventarios de variables territoriales relacionadas entre si y con las actividades a las que se haga referencia, dificultad que fue superada en el presente trabajo en el ámbito instrumental de los SIG. La conexión de esta metodología con el instrumento de los SIG también se ve enriquecida por las potencialidades de análisis espacial que aporta esta tecnología, y que en la actualidad cuenta con una extensa experimentación. Así pues, el diseño del SIG en cuanto a contenidos y en cuanto a utilidades es una pieza importante en el proceso. Proceso que se enriquece con la valoración de aptitud de un espacio para optimizar la localización de nuevos usos, o gestionar desde una perspectiva sostenible los existentes.

La diversidad de factores que intervienen en la definición de los conceptos básicos (aptitud, impacto...) configura un marco de relaciones entre ellos plural (los lugares de un territorio admiten valoraciones diferentes según la prioridad de los objetivos) que sitúa al planificador en el dilema habitual de los objetivos en conflicto. Para investigar el número de alternativas y facilitar la toma de decisiones se utilizan, combinadamente con SIG, los métodos de evaluación multicriterio (EMC) y mono o multiobjetivo (EMO). Las ventajas de utilizar estas técnicas combinadamente con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera, contenido en cada una de las capas de información de un SIG, puede estar dentro de él, ponderado como un factor positivo o negativo para un determinado objetivo, y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. Han proporcionado fundamentos científicos a estos procedimientos y técnicas los siguientes autores: Nijkamp (1977, 1990), Voogd (1983), Seo (1988), Janssens (1992), Eastman et Al. (1993a,b), Jankowski (1995), Gal et alii. (1999), Malczewski (1999), Triantaphyllou (2000), Belton y Stewart (2002), Roy (2007) y Munda (2007); y en España, Romero (1993), Barredo (1996), Barba y Pomerol (1997), Santos (1997, 1998), Moreno (2000, 2002) y Gómez y Barredo (2005). La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la EMC combinada con SIG para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio en diversas temáticas es extenso, citamos algunos trabajos: Barredo y Bosque (1995), Bosque y García (1999), Laguna y Nogués (2001), Varela (2002), Ocaña y

Galacho (2002), Galacho et alii (2004), Gómez y Bosque (2004), Bosque y Moreno (2004), Galacho y Ocaña (2006), Molero et alii (2007) y Pérez-Verdín et alii (2009).

Respecto a la utilización de SIG o de manera combinada SIG y EMC en aplicaciones concretas de la evaluación de la capacidad de acogida, en relación a los usos recreativos y/o deportivos en espacios naturales y rurales, podemos citar los trabajos de Farías (2000), Luque (2003, 2004), Tudela y Giménez (2008, 2009) y Galacho et alii (2009).

En definitiva, situados en el marco conceptual y teórico descrito, nuestra premisa de partida es mostrar la utilidad de sistematizar un procedimiento de evaluación de la capacidad de usos recreativos y deportivos, con fines demostrativos, como una aportación a los procesos de planificación del desarrollo sostenible. Tal propósito es de interés científico y aplicado. La hipótesis fundamental es la posibilidad de articular en la propuesta tanto el proceso de la evaluación de la aptitud como aportar la información necesaria para estimar la capacidad de carga, teniendo como referencia las condiciones geográficas y las exigencias o características de las actividades consideradas, con lo que ello implica de articulación de antecedentes científicos que provienen de enfoques y disciplinas diversas, y de incluir en el desarrollo metodologías de investigación muy diversas (experimentación física, análisis espacial, investigación cualitativa...). En la hipótesis planteada destaca la exigencia de plantear con perspectiva amplia los conceptos de aptitud e impacto, avanzando en la perspectiva ecológica de base física y en aquellos aspectos que fuesen necesarios para establecer la capacidad de carga. El desarrollo de la hipótesis de partida se realiza desde el enfoque geográfico, debido a la transversalidad propia de la Geografía, pero se efectúa su propuesta con base en un grupo de investigadores de diferentes especializaciones, con experiencia de investigación conjunta y con contactos y experiencia en el campo de la planificación del desarrollo sostenible de espacios naturales.

Cabe destacar finalmente, en función al carácter aplicado del método, su finalidad demostrativa por lo que el proceso de evaluación se ha insertado dentro de un SIG para aprovechar sus potencialidades en la interrelación de las capas de información requeridas y sus utilidades de análisis/evaluación, de modo que sea factible su aplicación y revisión en otros contextos espaciales con la mera adecuación de los datos, y en su caso los procesos, a las nuevas condiciones geográficas o territoriales.

3. Propuesta metodológica

3.1. El caso de estudio

Como se ha venido exponiendo, se pretende desarrollar y probar un método de evaluación de la aptitud y que además aporte información necesaria para poder estimar la capacidad de carga del territorio con relación al conjunto de las actividades recreativas ligadas a los recursos propios de las zonas naturales y canalizadas a través de las infraestructuras viales (caminos, senderos, pistas forestales, etc.). Ambos elementos: recursos naturales e infraestructuras viales, son los más frecuentemente contemplados en las figuras de gestión y protección de espacios naturales o en muchos casos de espacios protegidos (planes de ordenación de los recursos naturales y planes de uso público). Se ha comentado que la carencia de evaluaciones objetivas sobre la capacidad de estos espacios para los usos demandados pesa negativamente en el rigor de los trabajos de gestión y planificación existentes, e impide una correcta labor de auditoría sobre sus efectos.

A través del desarrollo de experiencias propias de investigación previas, se propone un sistema de evaluación, como se ha comentado, que combina metodológicamente las técnicas multicriterio y los modelos de capacidad de acogida, configuradas como una aplicación en un Sistema de Información Geográfica, que han sido desarrolladas y puestas a prueba en un espacio piloto, con la intención de que pueda servir de modelo para procesos de evaluación de esta índole.

Se ha considerado necesaria la experimentación de la metodología propuesta en una zona piloto, para ello se propone por sus características el Parque Natural de Sierra de las Nieves. Al efecto de validación de dicha experimentación se ha contado con el asesoramiento de especialistas en otros campos científicos como los de Biología animal y vegetal, y también con el apoyo técnico de especialistas relacionados con las actividades recreativo-deportivas y responsables y técnicos de la planificación de espacios naturales.

Como se ha comentado el ámbito de estudio y aplicación del método propuesto es el denominado Parque Natural de Sierra de las Nieves. Se ha adoptado como ámbito de aplicación este espacio a fin de trabajar en un espacio de gran valor medioambiental y riqueza de paisajes naturales y culturales. La experiencia de investigación del grupo de geógrafos y de los asesores de otras disciplinas ha sido otro factor decisivo en la selección del ámbito de estudio (véase Figura 3-32).

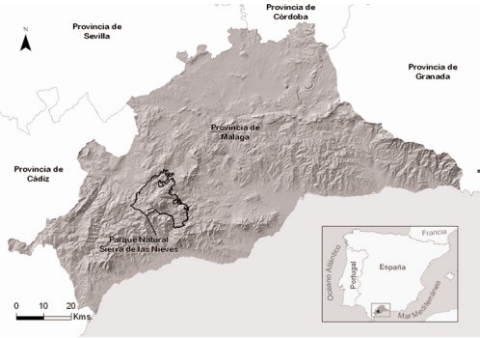


Figura 3-32. Localización de la zona de estudio.

El espacio natural protegido se localiza en la parte central de la provincia de Málaga, ocupa el flanco oriental de la Serranía de Ronda, contactando con otra gran unidad natural de la provincia, el Valle del Río Guadalhorce. El espacio natural cuenta con una extensión moderada, que supera ligeramente las 20.000 hectáreas. Su relieve es muy accidentado, con pronunciadas pendientes y elevadas altitudes en relación a su entorno inmediato, entre las que se encuentra la cima más alta de la provincia, el pico Torrecilla, que supera los 1900 metros de altitud.

3.2. Los datos

Una vez llegados a este punto era preciso determinar para el desarrollo de la metodología qué variables debían formar parte de las evaluaciones para introducirlas en el sistema. Según Luque (2004) las prácticas deportivo-recreativas son muchas y los elementos geográficos asociados a ellas, muy diversos. Por tanto se optó por concretar que fuesen prácticas que utilizasen como soporte los elementos geográficos terrestres, destacando entre ellos los viales tradicionales o históricos (caminos, senderos, vías pecuarias, pistas, etc.) y los elementos fisiográficos (paredes, cortados, barrancos y cañones, etc.). En este punto, y observando la enorme amplitud de realizar un inventario de recursos, ya que existe un gran número de prácticas que se circunscriben a ellos, además dado el carácter cambiante del medio y que estas prácticas se pueden desarrollar en ambientes geográficos muy diversos, consideramos que se debía optar por concretar aún más qué prácticas recreativo-deportivas serán objeto de evaluación. Así, decidimos que nos centraremos en evaluar la aptitud del territorio para la actividad del senderismo, y para ello hay que definir o identificar los elementos geográficos relevantes asociados a esta práctica, con la especificación que estuviesen vinculados al medio terrestre y que pudieran ser utilizados o explotados por ellas.

Así pues, la investigación que ha dado base al método propuesto, comenzó con la caracterización de los caminos históricos, en orden a establecer cuáles de ellos por su características de conectividad y trazado podían constituirse en un escenario de experimentación, con la variabilidad suficiente tanto en la morfología de los caminos mismos (topografía, litología...) como en la de los entornos (paisajes naturales y culturales), a fin de que el método recogiera suficiente variedad de tipos para que éste pueda ser extrapolable a otros espacios o tipos de infraestructuras diferentes: de montaña media o alta, de entornos estrictamente naturales, de montes agropecuarios, o de paisajes agrícolas (huertas, frutales etc.). A tal efecto se procedió a la confección cartográfica digital de los caminos históricos y su introducción en una base de datos SIG. Posteriormente con el SIG se realizaron operaciones de análisis espacial de estos caminos en relación con un modelo digital del terreno, a la cartografía básica y a la cartografía temática relativa a litología y usos del suelo, y mediante procedimientos de superposición cartográfica se seleccionaron los trazados que respondían a las expectativas de diversidad antes comentadas y que en su mayoría forman parte de la oferta de senderos del Parque Natural al estar incluidos en el Plan de Uso Público (PUP). Finalmente, se realizó el trabajo de campo consistente en el recorrido de los trazados seleccionados en la fase de análisis y se llevó a cabo la propuesta definitiva de los trazados sobre los que desarrollar la experimentación para el proceso de evaluación. En ese momento se procedió a la corrección digital de los caminos y senderos seleccionados, mediante trabajo de campo como se ha comentado y con apoyo en la ortofotografía en color del año 2006, suministrada por la Diputación Provincial de Málaga a escala 1:5000.

Posteriormente, se entró en la valoración de las infraestructuras viales seleccionadas, senderos según su aptitud para la práctica definida. Consideramos que aquí radica una gran parte de la aportación de esta metodología, ya que hasta la actualidad y según la revisión bibliográfica realizada, las propuestas en este sentido son escasas. Para el establecimiento de qué variables formarían parte de la evaluación se ha hecho un planteamiento de partida de los requerimientos físicos para la práctica de la actividad seleccionada. Valga como ejemplo, que para la práctica del senderismo ha sido preciso concretar qué entenderemos por condiciones físicas de los senderos donde se desarrollaran estas actividades, estableciéndose que son las características directamente dependientes del medio que sirven de soporte para la práctica de dicha actividad; en otras palabras, las condiciones físicas objetivas para la práctica de dichas actividades, lo que lleva a abordar una valoración de de los distintos tramos que componen los senderos. Han sido consideradas cuatro variables principales, aunque también se han considerado otras secundarias, que debían ser comunes a cualquier espacio o terreno: la pendiente, el firme, la anchura y los obstáculos. Estas variables serán convertidas posteriormente en factores y criterios para la evaluación mediante la jerarquización y ponderación de sus valores y de acuerdo

con los procedimientos propios de las técnicas de evaluación multi-criterio, tal y como se explicará más adelante. Al mismo tiempo, de estos procesos surgen cuatro capas de información en formato vectorial de tipo línea, provenientes de una misma base: la digitalización de los caminos y senderos. Por otra parte, la obtención de los atributos del firme, la anchura y los obstáculos son obtenidos de forma directa, digitalizando a partir del trabajo realizado sobre el propio sendero en las jornadas de campo, mientras que la capa de pendiente se consigue de forma automática. Se ha preferido trabajar de forma individual cada capa para mantener las segmentaciones de las líneas y poder adscribir los atributos correspondientes a cada segmento. Una vez que han sido elaboradas las capas se unen dando como resultado una sola.

Como primera variable considerada se menciona la pendiente. Respecto a esta hay que decir que se considera la pendiente del sendero por tramos reagrupados en función de su homogeneidad y continuidad. Se ha sopesado la posibilidad de enfocar este factor desde la perspectiva del desnivel total o acumulado: FAM. (2003), Luque (2003, 2004) y Tudela y Giménez (2008, 2009). Consideramos que este enfoque es adecuado cuando se trata el sendero en su conjunto y se trabaja a una escala menor, pero se produce una pérdida de información importante a nivel de detalle según el enfoque que pretendemos darle en la actualidad; además, puede introducir cambios significativos en el proceso de evaluación por el distinto nivel de información que proporciona esta variable, según como sea tratada. En el sentido de simplificar en lo posible, se opta por considerar el valor de pendiente representado en porcentaje según cada punto que conforma el trazado del sendero con una resolución de un 1 metro.

Como información básica para la elaboración de la pendiente se ha utilizado el MDT de Andalucía -año 2005- editado por la Consejería de Obras Públicas y Transportes, la Consejería de Agricultura y Pesca y la Consejería de Medio Ambiente, dependientes de la Junta de Andalucía y generado a partir de fotografías aéreas a escala 1:20.000. El tratamiento de esta variable para convertirlo en factor obliga a solventar algunas dificultades: el sendero está digitalizado en formato vectorial y se le introduce el valor de altura (z) desde el modelo de elevaciones realizado; posteriormente se aplica la herramienta slope proporcionada por el software ArcGis (ESRI), con la intención de obtener el valor que conforma el factor pendiente. Dado que el manejo posterior de tal cantidad de información en el proceso de evaluación multi-criterio sería muy complejo, se opta por agrupar en intervalos de pendiente, aunque la información es tratada por el sistema en toda su resolución.

De esta manera se han establecido cinco intervalos de pendiente que van desde el <3% a >20%, pasando por 3-6%, 6-10% y 10-20%. Se establecen estos intervalos de pendiente porque a mayor pendiente mayor es la dificultad para ser salvada, en cualquiera de los sentidos que se realice, ascendente o descendente, y la penuria de los senderos para su tránsito aumenta considerablemente con pendiente cercanas al 6%, y a partir del 10% el esfuerzo es siempre considerable, como se extrae de las impresiones mostradas en una encuesta a los usuarios. Así, se han diferenciado claramente los intervalos que van de 0% a 10%, entendiendo que las pendientes superiores no requieren de esa minuciosidad en el establecimiento de intervalos concretos puesto que la dificultad siempre va a existir.

Somos conscientes que estas transformaciones y operaciones de generalización pueden llevar a una pérdida de información de no hacerse con gran exhaustividad; para ello con el mapa de pendientes se ha realizado una comprobación sobre el terreno para verificar que los intervalos establecidos al modelo de pendientes elaborado son fidedignos.

Como segunda variable se considera el firme. Al igual que como la variable anterior, se trata la información del sendero por tramos. Esta variable se fundamenta en la consideración de la consistencia del suelo como una propiedad mecánica, que se debe a las fuerzas de cohesión, adherencia, resistencia a la deformación y a la ruptura. Tiene relevancia práctica respecto a las condiciones del firme para caminar. Para nuestro objetivo utilizaremos la variable compacidad, diseñada para cualquier estado de humedad, descartando otras variables como la

plasticidad, la adhesividad, la friabilidad, la fragilidad o la dureza al estar pensadas para estados de humedad específicos. La compacidad hace referencia a que las partículas están próximas y fuertemente unidas a otras y proporciona información de síntesis de la cohesión del material. Como información básica para la elaboración del firme se ha consultado Porta et al (2003) y diversos sistemas de descripción de suelos descritos en Hodgson (1987), destacando los de Estados Unidos (USDA, 1951, 1976), URSS (Kasatkin y Krasyuk, 1917), Francia (Office de la Recherche Scientifique et Tecnique Outre-mer) (Maignien, 1969) y Hungría (Szabolcs, 1966), que hacen referencia a los conceptos de compacidad y a su estimación mediante criterios visuales o de contacto directo con simples pruebas, usando herramientas básicas. Se completa la información referida a esta variable observando la presencia de piedras en la superficie, en función del tamaño de los fragmentos, cuya referencia se toma de FAO (1977), que distingue los siguientes tipos: Grava, fragmentos de hasta 7,5 cm. de Ø; Piedras, fragmentos de 7,5 cm. a 25 cm. de Ø; y Pedregón, fragmentos de 25 cm. de Ø.

Con la finalidad de que el tipo de firme pueda ser tratado en un marco general de aplicación o, en otras palabras, como una tipología general se ha consultado una variada documentación bibliográfica a la hora de proceder a la definición de los tipos de firme. Una vez definidas sus características, se procede a la realización de un exhaustivo trabajo de campo para identificarlos sobre el terreno. Como se ha comentado, se han establecido los tipos de firme para caminar en base a su consistencia y a la presencia y tamaño de los fragmentos de piedras sobre el sendero. De esta manera se han catalogado los siguientes tipos:

1. Superficie no coherente tipo 1 con ausencia de gravas y piedras. (SNC T1)
2. Superficie no coherente tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SNC T2)
3. Superficie no coherente tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SNC T3)
4. Superficie compactada tipo 1 con ausencia de gravas y piedras. (SC T1)
5. Superficie compactada tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SC T2)
6. Superficie compactada tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SC T3)
7. Superficie de gravas y/o piedras tipo 1 menores de 25 cm. de diámetro. (SP T1)
8. Superficie de piedras tipo 2 mayores 25 cm. de diámetro. (SP T2)
9. Roca madre. (RM)

Como tercera variable utilizada se menciona el ancho del sendero, que tiene su principal significación en las preferencias de los usuarios. Los criterios que fundamentan esta variable provienen de tres fuentes de información: de las consultas realizadas a expertos de las federaciones de montañismo, de una encuesta realizada durante 2009 y 2010 sobre una muestra de 300 visitantes al parque natural en senderos, parkings y miradores del mismo, y de la experiencia propia a través de lo observado durante las distintas jornadas de trabajo de campo. De esta manera, se han establecido los siguientes tipos de anchos: < 60 cms., 60-120 cms., 120-180 cms. y > 180 cms. Respecto a estos anchos prevalece como preferencias de los usuarios las dimensiones entre 60 y 120 cm., le siguen los anchos de < 60 cms., entre 120 y 180 cm., y finalmente más de 180 cms. Como resultado se genera una capa en formato vectorial donde el sendero aparece diferenciado con los tipos de ancho.

Finalmente, como cuarta y última variable utilizada se tratan los obstáculos. Se entiende por obstáculos aquellos elementos que interrumpen el trazado y obligan en el peor de los casos a buscar alternativas en el recorrido o a reconsiderar su continuidad, pero que por lo general ocasionan molestias al obligar al senderista a tener que tomar decisiones no previstas y esfuerzos físicos extras, que aunque sean leves o mínimos, son necesarios con el fin de solventar el obstáculo y proseguir la marcha.

La información para la configuración de esta variable viene proporcionada por el trabajo de campo. Se observa que por causa de las distintas situaciones meteorológicas que se dan a lo largo del año, con especial incidencia a las adversas situaciones frecuentes durante el otoño y el invierno, se produce la aparición de los obstáculos que pueden perdurar en el tiempo en función del mayor o menor grado de mantenimiento y conservación que se haga del sendero, principalmente cuando se trate de una infraestructura de uso público en un espacio natural y del cese de la inclemencia meteorológica que lo pueda haber generado, de forma directa o indirecta. En muchos casos es la propia naturaleza la que se encarga de eliminar los obstáculos, o incluso de asimilarlos pasando a formar parte del sendero. Por estas razones se constata la importancia de datar el obstáculo aparecido con la intención de observar su evolución y empezar a investigar en el tratamiento del mismo. En esta variable se han incluido como tipos de obstáculos las formas derivadas de los procesos erosivos. Así se pueden diferenciar obstáculos introducidos por la erosión de origen geológico natural, a raíz de la actuación de los agentes erosivos como la lluvia o el viento (representados en los distintos tipos de tiempo meteorológico). También se pueden considerar las formas producidas por dichos agentes en su actuación sobre la naturaleza geológica del sustrato, en conjunción con el grado de cobertura de la zona y la pendiente, lo cual suele producir la aparición de regueros o la acentuación de los fenómenos erosivos presentes en la zona. En otros casos es el viento, solo o en conjunción con otras situaciones (enfermedad, debilidad…) el que provoca árboles o ramas caídas. Las condiciones meteorológicas ocasionan de forma directa la aparición de obstáculos en el sendero: barro y encharcamiento; y de forma indirecta la aparición de obstáculos sobre el sendero: arroyos grandes o pequeños, nieve en grandes o pequeñas acumulaciones y hielo. Aunque también es cierto que hay obstáculos ocasionados por la escasa frecuentación del sendero: invasión del sendero por árboles, matorrales o ramas.

En concreto se distinguen los siguientes tipos, establecidos mediante trabajo de campo:

1. Libre de obstáculos. (LO)
2. Regueros de erosión (< 0.25 cm) (R<25)
3. Regueros de erosión (> 0.25 cm) (R>25)
4. Cárcavas de erosión. (C)
5. Desniveles superiores al > 35 % de pendiente. (D>35)
6. Pasos dificultosos. (PD)
7. Árboles o matorrales vivos en el sendero. (AV)
8. Invasión del sendero con ramas. (IR)
9. Árboles caídos. (AC)
10. Deslizamientos de ladera que afectan directamente al trazado del sendero. (DL)

3.3. Técnicas de análisis. Proceso de evaluación multi-criterio

Tras la obtención y creación de cada variable, comienza el proceso multicriterio. Este proceso inicia con la conversión de las variables en factores y criterios mediante su jerarquización y el establecimiento de su puntuación o pesos. En esta parte del proceso se ha optado por el método de comparación entre pares de clases (aij) que, como se sabe, consiste en la creación de una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas se define el número de atributos de la variable a ponderar. En esta matriz se establece, como es habitual de las técnicas de evaluación multicriterio, la importancia de cada valor respecto a cada uno de los demás. La escala de medida establecida por la asignación de los juicios de valor (aij) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) definida por Saaty (1980). Hemos considerado conveniente adaptar dicha escala de medida a cada factor. Así, se establece un valor mínimo de 1/9 y un valor máximo de 9, entendiendo como extremadamente menos importante 1/9 y extremadamente más importante 9, existiendo una gradación entre ambos valores donde el valor 1 en símbolo de igualdad en la importancia entre pares de factores según consta en Barredo (1996) y Moreno (2002) (véase Tablas 3-13 y 3-14). Los valores 1, 3, 5, 7 y 9 pueden ser considerados las marcas de clase de los intervalos (0,2], (2,4], (4,6], (6,8] y (8,10].

Hemos utilizado esta escala de valores para ajustar la pérdida de precisión en las respuestas a las comparaciones en el entorno de ambos valores y para controlar que la asignación de juicios de valor se realice lo más correctamente posible. A pesar de todo somos plenamente conscientes de que aunque nos basemos en criterios sólidamente establecidos siempre se arrastra un margen importante de subjetividad.

Tabla 3-13. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Mínima	Muy Baja	Baja	Levemente Baja	Igual	Levemente Alta	Alta	Muy Alta	Máxima

Fuente: Adaptación de Saaty (1980).

Tabla 3-14. Escala de medida para representar la intensidad de los juicios

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho mas fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: Adaptación de Moreno (2002).

A partir de aquí se establece el cálculo de la razón de consistencia (consistency ratio, c.r.), lo que permite reconsiderar las asignaciones realizadas en caso de inconsistencia de la matriz de comparación, según exponen Eastman (1993b) y Gómez y Barredo (2005).

Tras los pasos anteriores, se determina el eigenvector principal (véase Apéndice 1), que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (wij), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores tal como lo desarrolla Saaty (1980). Se procede a la normalización de la escala de medida que consiste en calcular el promedio de los valores de la matriz por filas.

El eigen vector principal, como se sabe, se considera conveniente normalizarlo. De los múltiples sistemas de normalización de vectores que pueden utilizarse, se ha optado por uno de los más simples, la división de cada valor por el valor máximo como indica Voogd (1983). Esta normalización de los pesos da como resultado también valores de 0 a 1 (resultando una escala del tipo 0 = mínima aptitud -más negativo- y 1 = máxima aptitud -más positivo-). Este método proporciona la ventaja de que no efectúa una transformación de la variable, por lo que la proporcionalidad se mantiene. Además, se agradece su utilización cuando el proceso es complejo y nos vemos forzados a volver sobre las puntuaciones y los valores en determinados momentos del proceso de evaluación. La ecuación de normalización que utilizamos en esta metodología es la siguiente:

$$Eik = \frac{Xik - \min Xik}{\max Xik - \min Xik}$$

Como resultado se genera para cada variable ya convertida en criterio una capa única con sus atributos y puntuaciones correspondientes.

Los resultados de la conversión y el proceso de puntuación y clasificación de la variable pendiente se muestran en la Tabla 3-15 y 3-16. Son las pendientes escasas o cercanas a 0% las que tienen mayor preferencia, mientras que aquellas que superan el 20% muestran una menor aptitud.

Seguidamente se aborda el proceso de puntuación de la variable firme siguiendo el mismo procedimiento ya explicado: la ponderación de los valores de las variables a través del método de comparación por pares de Saaty (1980), según se muestra en las Tablas 3-17 y 3-18.

Tabla 3-15. Puntuación de la aptitud de la pendiente (c.r. = 0,01; c.i. = 0,01; r.i. = 1,12)

< 3%	1	2	4	7	9
3% - 6%	1/2	1	2	4	7
6% - 10%	1/4	1/2	1	2	4
10% - 20%	1/7	1/4	1/2	1	2
> 20%	1/9	1/7	1/4	1/2	1

Tabla 3-16. Clasificación de la aptitud de la pendiente

TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1	
1°	1	< 3%	1	2,41	0,48	1,00
2°	2	3% - 6%	1/2	1,35	0,27	0,53
3°	3	6% - 10%	1/4	0,70	0,14	0,24
4°	4	10% - 20%	1/7	0,36	0,07	0,08
5°	5	> 20%	1/9	0,18	0,04	0,01

Tabla 3-17. Puntuación de la aptitud según el firme (c.r. = 0,03; c.i. = 0,05; r.i. = 1,41)

FIRME	SC T1	SC T2	RM / SNC T1	SNC T2	SP T1	SC T3	SNC T3	SP T2
SC T1	1	2	3	5	6	7	8	9
SC T2	1/2	1	2	3	5	6	7	8
RM / SNC T1	1/3	1/2	1	2	3	5	6	7
SNC T2	1/5	1/3	1/2	1	2	3	5	6
SP T1	1/6	1/5	1/3	½	1	2	3	5
SC T3	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	3
SNC T3	1/8	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2
SP T2	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1

LEYENDA: (SNC T1): Superficie no coherente tipo 1 con ausencia de gravas y piedras. (SNC T2): Superficie no coherente tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SNC T3): Superficie no coherente tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SC T1): Superficie compactada tipo 1 con ausencia de gravas piedras. (SC T2): Superficie compactada tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SC T3): Superficie compactada tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SP T1): Superficie de gravas y/o piedras tipo 1 menores de 25 cm. de diámetro. (SP T2): Superficie de piedras tipo 2 mayores 25 cm. de diámetro. (RM): Roca madre.

Tabla 3-18. Clasificación de la aptitud del firme

TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1	
1°	4	SC T1	1	2,73	0,34	1,00
2°	5	SC T2	1/2	1,87	0,23	0,69
3°	9,1	RM / SNC T1	1/3	1,26	0,16	0,47
4°	2	SNC T2	1/5	0,83	0,10	0,31
5°	7	SP T1	1/6	0,55	0,07	0,18
6°	6	SC T3	1/7	0,35	0,04	0,09
7°	3	SNC T3	1/8	0,24	0,03	0,04
8°	8	SP T2	1/9	0,17	0,02	0,01

LEYENDA: (SNC T1): Superficie no coherente tipo 1 con ausencia de gravas y piedras. (SNC T2): Superficie no coherente tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SNC T3): Superficie no coherente tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SC T1): Superficie compactada tipo 1 con ausencia de gravas piedras. (SC T2): Superficie compactada tipo 2 con presencia de gravas y/o piedras menores de 25 cm. de diámetro. (SC T3): Superficie compactada tipo 3 con presencia de piedras mayores de 25 cm. de diámetro, con presencia puntual de rocas y bloques. (SP T1): Superficie de gravas y/o piedras tipo 1 menores de 25 cm. de diámetro. (SP T2): Superficie de piedras tipo 2 mayores 25 cm. de diámetro. (RM): Roca madre.

El resultado final es otra capa con las combinaciones posibles puntuadas.

El proceso de conversión de las variables en criterios sigue los mismos pasos en el caso de la anchura: creación de una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de la variable a ponderar, aplicación del método de comparación entre pares de clases, cálculo de la razón de consistencia, determinación del eigenvector principal y normalización de éste según el método expuesto. En este caso, con la escala de medida establecida se valoran las preferencias de los usuarios respecto al ancho del sendero por el que caminar, estableciéndose la máxima preferencia en un ancho de entre 60 y 120 cm. (tipo 2), le siguen los siguientes rangos de preferencia: 60 cm. (tipo 1), entre 120 y 180 cm. (tipo 3), y finalmente más de 180 cm. (tipo 4), con la mínima preferencia (véase Tabla 3-19 y 3-20). Como resultado se genera una capa en formato vectorial donde el sendero aparece diferenciado en los tipos de ancho y su puntuación.

Tabla 3-19. Puntuación de la aptitud según el ancho (c.r. = 0,04; c.i. = 0,04; r.i. = 0,9)

ANCHO	60 – 120 cm.	< 60 cm.	120 – 180 cm.	> 180 cm.
60 – 120 cm.	1	3	5	7
< 60 cm.	1/3	1	3	5
120 – 180 cm.	1/5	1/3	1	3
> 180 cm.	1/7	1/5	1/3	1

Tabla 3-20. Clasificación de la aptitud del ancho

TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1	
1°	2	60 – 120 cm.	1	2,23	0,56	1,00
2°	1	< 60 cm.	1/3	1,05	0,26	0,44
3°	3	120 – 180 cm.	1/5	0,49	0,12	0,15
4°	4	> 180 cm.	1/7	0,23	0,06	0,01

El proceso de puntuación de la variable obstáculos, que sigue los pasos ya mencionados, determina una escala de medida en la que se establece una jerarquía de los obstáculos. Aunque se debe entender que es preferible que no exista ninguno (libre de obstáculos) y lo menos deseable es la presencia de todos los obstáculos (tabla 3-21 y 3-22). Como resultado se genera una capa única con los tipos de de obstáculos, localizando aquellos puntos o tramos donde se ha datado la presencia de uno o más obstáculos y la puntuación otorgada.

Una vez construidos los criterios llevamos a cabo la parte final del proceso de evaluación. Para la configuración de la condición física de los senderos se ha acudido a técnicas compensatorias basadas en la aproximación al punto ideal porque creemos que el concepto de situación ideal es fácilmente intuible y la disimilitud respecto a ella es una medida significativa, porque se adapta mejor a la lógica de nuestro modelo de evaluación que aborda un problema de decisión con objetivo simple y permite manejar simultáneamente los criterios, asumiendo la posible compensación entre ellos. La opción de la distancia al punto ideal conlleva que en el proceso se utilicen las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio.

Tabla 3-21. Puntuación de la aptitud según los obstáculos (c.r. = 0,04; c.i. = 0,05; r.i. = 1,45)

OBSTÁCULOS	LO	R<25	IR	R>25 / C	DL	AV	AC	PD	DL
LO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R<25	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
IR	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
R>25 / C	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
DL	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
AV	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
AC	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
PD	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
DL	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tabla 3-22. Valores de la aptitud según los obstáculos

	TIPO	DENOMINACIÓN	PESO	EP	EPN	NRM 0 A 1
1°	1	LO	1	2,76	0,31	1,00
2°	2	R<25	1/2	1,96	0,22	0,72
3°	8	IR	1/3	1,39	0,15	0,52
4°	3 / 4	R>25 / C	1/4	0,98	0,11	0,36
5°	10	DL	1/5	0,69	0,08	0,24
6°	7	AV	1/6	0,48	0,05	0,15
7°	9	AC	1/7	0,33	0,04	0,08
8°	6	PD	1/8	0,23	0,03	0,03
9°	5	D>35	1/9	0,17	0,02	0,01

LEYENDA: (LO): Libre de obstáculos. (R<25): Regueros de erosión (<0.25 cm). (R>25): Regueros de erosión (>0.25 cm). (C): Cárcavas de erosión. (D>35): Desniveles superiores al > 35 % de pendiente. (PD): Pasos dificultosos. (AV): Árboles o matorrales vivos. (IR): Invasión del sendero con ramas. (AC): Árboles caídos. (DL): Deslizamientos de ladera en el sendero.

Es una forma de ordenar linealmente las alternativas, también sencilla y clara, en la que lógicamente hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo y no directamente las propias puntuaciones. A partir de la estructura inicial del procedimiento podemos establecer que no plantea excesivas limitaciones en su ejecución en relación al número de alternativas a evaluar, ni el número de criterios a ser considerados, lo que le confiere excelentes posibilidades para ser manejado con el SIG. De esta manera, los criterios considerados: pendiente, firme, anchura y obstáculos son valorados mediante el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal, de manera que podemos seleccionar aquellas alternativas más cercanas a dicho punto ideal según el objeto de la evaluación. La ecuación utilizada ha sido la siguiente, tomada de Barredo (1996):

$$Lp = \left[\sum_{=} \quad x_{ij} - \right|^{p} \Bigg]^{\cdot / p}$$

Donde, wj: peso del criterio j, xij: valor de la alternativa i en el criterio j y p: métrica para el cálculo de la distancia (p=2 corresponde a la distancia ecuclidiana).

En el cálculo de la distancia al punto ideal se entiende que no todos los criterios tienen la misma importancia, es por ello que son sometidos a puntuación para averiguar el peso de cada uno de forma individual y posteriormente aplicarlo en el proceso. Los pesos dados a cada uno de los criterios están expuestos en la tabla 3-23. Estos pesos han sido establecidos por el equipo de investigación con el apoyo de expertos en las actividades analizadas.

Tabla 3-23. Establecimiento de pesos para los distintos factores

FACTOR	PESO	EP	EPN
Firme	1	2,31	0,576
Pendiente	1/3	1,02	0,256
Obstáculos	1/5	0,47	0,117
Ancho	1/9	0,20	0,051

Como resultado del proceso de análisis de evaluación multicriterio realizado, la información aparece ahora expresada en función del significado de las condiciones físicas de los senderos por tramos homogéneos. Será necesario realizar una ordenación de las alternativas por sus condiciones. El resultado ha sido una capa de información con las respectivas puntuaciones con referencias muy detalladas. No obstante, dado el volumen de información manejada y debido a la resolución empleada su enorme detalle y necesitando que los resultados respecto a la actividad establecida pueden ser relativamente fáciles de comparar y visualizar se realiza un proceso de reclasificación de las puntuaciones resultantes siendo agrupadas en clases según su condición física. Así, se conoce por ejemplo en que tramos se presenta la mejor entre todas las condiciones que se dan y si hubiesen conflictos entre clases de escasa condición. Con la información resultante se puede proceder a la generación de alternativas, y ahora se puede escoger en que tramos se presentan las condiciones más adecuadas para la práctica de la actividad según la consideración de los distintos perfiles de usuarios y cual de ellos se adecua mejor a cada tramo o al sendero (véase Tabla 3-24 y Figura 3-33).

Tabla 3-24. Reclasificación de los valores resultantes en clases de aptitud

VALORES	APTITUD	METROS	PORCENTAJE
0 a 0,2	Muy Buena	717	6,9%
0,2 a 0,4	Buena	1125	10,83%
0,4 a 0,6	Normal	3297	31,73%
0,6 a 0,8	Mala	583	5,61%
0,8 a 1	Muy Mala	4669	44,93%

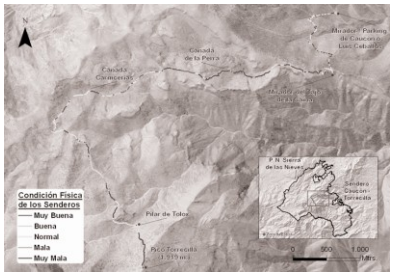


Figura 3-33. Condiciones físicas por tramos del sendero Caucón o Luis Ceballos – Pico Torrecilla

Con los resultados en la mano, se ha muestreado de forma aleatoria en distintos puntos del sendero con el objeto de comprobar en el campo el ajuste a la realidad de dichos resultados, siendo este satisfactorio, por ejemplo existen en la Cañada Carnicerías zonas de elevada aptitud que se corresponden con tramos donde la pendiente es escasa, los obstáculos son mínimos, la presencia de vegetación permite que el sendero se mantenga con un ancho moderado y el firme por el que se circula es por naturaleza muy apto para la actividad que nos ocupa. Por el contrario existen otras zonas menos aptas para la práctica del senderismo en función de su condición física, un ejemplo claro es la Cañada de la Perra, gran parte del sendero discurre por zonas de elevada pendiente, existen procesos erosivos en algunos tramos y en otros el firme se compone de lajas o grandes piedras. También la vegetación es abundante en las inmediaciones del sendero invadiéndolo y cubriéndolo en algunos puntos y quedando el ancho muy disminuido.

Una utilidad de la herramienta es la localización de tramos o zonas que con una aptitud escasa no idónea para una intensa frecuentación debida a causas diversas, pueden indicar u orientar a la administración competente a la hora de planificar labores de mantenimiento y gestión en los senderos, para la mejora puntual del sendero o la búsqueda de alternativas.

El objetivo de la investigación que aquí se relata no recae en la cuantificación de los impactos que se producen en el sendero de forma directa o indirecta a causa de la frecuentación masiva de los visitantes por los senderos; hay que destacar que los datos registrados en dos de los aforadores instalados en los senderos del itinerario Luis Ceballos – Torrecilla sirven para certificar que la media mensual de 620 visitantes que han transitado por uno de ellos en ambos sentidos y los 310 que lo han hecho por el otro, y pese a picos mensuales que superan ampliamente los 1000 y los 600 visitantes respectivamente, no son responsables del posible deterioro general de la infraestructura.

5. Discusión y valoración de hallazgos

La comparación de la metodología propuesta con la de otros autores nos lleva a centrarnos exclusivamente en las propuestas de aquellos autores que utilizan de forma individual o combinada SIG y EMC en aplicaciones concretas de la evaluación de la capacidad de acogida en relación a los usos recreativos y/o deportivos en espacios naturales y rurales. Autores que han sido citados en el apartado segundo: Farías (2000), Luque (2003, 2004) y Tudela y Giménez (2008, 2009).

La importancia del método propuesta por Farías (2000) es el extenso conjunto de variables que elabora a través del denominado CAND (Catalogación de los Atractivos Naturales Deportivos) aplicado en senderos del Parque Nacional Aigüestrotes i Estani de Sant Maurici (Lleida) con el que caracteriza la frecuentación recreativa, con un detallado conocimiento de los atributos propios de cada recurso y/o atractivo natural obteniendo también las características y atributos del sendero y de su entorno. El listado de variables (el autor los denomina indicadores) es el siguiente: meteorológicas (temperaturas medias, precipitaciones, precipitaciones en forma de nieve); distancia (distancia sobre plano sin desniveles, distancia considerando los desniveles y distancia real); desnivel (natural y acumulado); ancho del sendero; tipología del firme; señalización; tiempo aproximado del recorrido necesario para completar un itinerario; aspectos paisajísticos (tipo de relieve, presencia de vegetación, contrastes entre natural y humano, contrastes naturales, visibilidad, presencia de agua); estado de conservación (deterioro de la vegetación, raíces al descubierto, ancho del sendero, grado de compactación, presencia de residuos…) estableciendo una relación directa del impacto ambiental con una síntesis descriptiva de los principales aspectos de deterioro medioambiental propio de las diferentes actividades recreativo deportivas. Toda la información es recogida in-situ por distintos observadores a través de fichas, parte de la

información también es elaborada en trabajo de gabinete. Posteriormente se somete a tratamientos matemáticos multivariables con los que se obtienen los resultados finales.

Luque (2003, 2004) considera como variables para establecer la valoración de los senderos según aptitud: la longitud, el desnivel y el firme. Con base en estas variables realiza una clasificación de los senderos en categorías según su aptitud, entendiendo por aptitud de los senderos la ausencia de dificultades o lo que es lo mismo un grado dificultad bajo y el atractivo del recorrido. Para la longitud entiende la distancia recorrida, más negativa cuanto más distancia. El desnivel lo calcula a partir de un mapa de alturas obtenido de un Modelo Digital del Terreno (MDT), generando un mapa hipsométrico detallado en intervalos de 20 metros. Partiendo del mapa hipsométrico adscribe la información altitudinal a cada uno de los "itinerarios potenciales", cuya valoración de aptitud la hace en función del desnivel acumulado salvado en una jornada, estableciendo una escala entre 1, los de máxima aptitud y 0, los excluyentes. El tratamiento del firme realizado por esta autora consiste en identificar las litologías en las que concurren, de manera más o menos constante, cada uno de los cuatro problemas considerados: pedregosidad, abundancia de arenas, barro y rugosidad (obteniendo esta información del mapa geológico, donde procede a agregar las litologías por semejanzas, surgiendo una capa de información correspondiente a la litología agregada.). El valor de aptitud de las litologías como firme para el senderismo, se ha establecido en proporción a la presencia o a la coincidencia de estas dificultades, entre el valor 0 (sin aptitud) que se asignaría a las litologías en que se hicieran presentes los 4 problemas, y el valor 1 (con aptitud), que se ha asignado a las litologías que no detectan ninguno de ellos. Para el cálculo final del grado de dificultad realiza una sumatoria lineal ponderada en la que el firme aporta una valoración más en cuanto al grado de confort que al grado de dificultad, dándosele una ponderación de 0,5 respecto a los demás.

Por su parte Tudela y Giménez (2008, 2009), basan su propuesta en la metodología de Cifuentes et alii. (1992, 1999) para determinar la capacidad de carga turística en senderos de pequeño recorrido (PR). Si bien, su objetivo no es medir la aptitud del sendero, sí utiliza variables que son de interés para valorar la aptitud, utilizándolas en este caso para cuantificar la capacidad de carga turística. Diferencia entre capacidad de carga física y real, esta última es sometida a cinco factores de corrección definidos en función de las características particulares del sendero, las variables que utiliza versan en torno a cuatro temáticas, físicas, ambientales, sociales y de manejo. El primero factor es el social que toma en cuenta la longitud del sendero en metros lineales, la metodología original usa junto con la longitud el ancho del sendero. En el factor de erodabilidad, concluye que es necesario calcular la relación entre la textura y la pendiente del suelo. Para el tercer factor, el de accesibilidad, valora el desnivel total y la pendiente del sendero, estableciendo tres grupos o intervalos (<10%, 10-20% y >20%), con el que mide el grado de dificultad en el desplazamiento de los visitantes por el sendero. Otro factor es el de precipitación, en el que obtiene el número medio de días al año con precipitación en la zona. Por último, el quinto factor es el de anegamiento, que toma en cuenta aquellos sectores en los que el agua tiende a estancarse y el pisoteo tiende a incrementar los daños en el sendero. El interés en la metodología de estos autores se centra en las variables que utiliza en el cálculo de los factores, más que en el proceso que establece para determinar la carga.

6. Conclusiones

Consideramos que la propuesta metodológica que se ha expuesto es útil al cumplir con los objetivos planteados. En primer lugar, con referencia a la evaluación de las condiciones físicas de las infraestructuras soporte de las actividades turístico-deportivas y recreativas para determinar su capacidad potencial y real, respecto a dichas prácticas, se obtienen unos resultados que se muestran apoyados con el análisis de la situación actual de uso mediante la cuantificación de la frecuentación estimada con los datos obtenidos de una red aforadores instalados, los cuales permiten establecer el nivel de impacto ambiental según las condiciones actuales de uso. Con base en la información resultante se

dispone de juicios suficientes para avanzar en determinar razonadamente los parámetros de capacidad de carga de dichas infraestructuras y por derivación de las zonas o entornos por donde discurren.

El método se ha planteado como un sistema de evaluación abierto, un sistema articulado dentro de las estructura de la evaluación multicriterio, que es transparente en sus juicios para que pueda ser revisado y puesto a prueba en otras experiencias o espacios geográficos. Por ello la lógica de la metodología de evaluación propuesta no es construir un proceso cerrado, cuyo inicio sea la formulación del objeto de la valoración y su fin la obtención de un resultado final, sino que se trata de crear un procedimiento dúctil, con el que se pueda interactuar, capaz de reorientar las evaluaciones de acuerdo con diferentes puntos de vista, y obviamente, según cada objeto de evaluación, es decir, cada tipo de práctica a evaluar. En este sentido, el resultado de la evaluación es válido en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc.

La utilización de SIG en esta metodología enriquece sus posibilidades al abrir las opciones de análisis espacial, siendo el diseño del SIG en cuanto a contenidos y en cuanto a utilidades una pieza importante en el proceso. Al combinar o integrar los métodos EMC en este esquema aumentan las ventajas para poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio, de manera que la obtención de la información necesaria para el desarrollo de nuevas aplicaciones o evaluaciones es un aspecto relevante.

Una limitación del método que puede ser destacable es su dependencia de datos a una resolución adecuada, de mucho detalle para que los resultados sean óptimos. Ello implica que tengamos que realizar un importante trabajo de campo para su obtención dado que difícilmente encontraremos este tipo de información tan detallada. El método permite trabajar con datos más generales, obtenidos en su caso a escalas de menos detalle (por encima del 1:10:000) pero los resultados se verán proporcionalmente comprometidos, de tal manera que a menor escala los resultados serán más cuestionables en cuanto a su adscripción geográfica real, es decir, en cuanto a su veracidad sobre el terreno, ya que probablemente se presenten desviaciones debidas a la información de base. Aquí entra ya el criterio del autor de la evaluación y las distintas técnicas para aceptar o validar los resultados. Una dificultad importante que enfrenta el avance de esta metodología de cara a realizar secuencias temporales, es que por el momento el proceso de evaluación se realiza en un momento y en una situación temporal muy concreta (septiembre de 2010 para el caso que nos ocupa). Para dotar a la herramienta de continuidad y dinamismo, es necesario observar e incorporar los cambios que se producen en la información geográfica, así como considerar la incidencia de la variable estacional o meteorológica y de los trabajos de mantenimiento y conservación que cada cierto tiempo se producen en los senderos, y que por lo general modifican la condición física de la infraestructura.

Al obtener evaluaciones que respondieran al momento exacto, la utilidad de la herramienta crecería considerablemente, ya que se podría observar la evolución que sigue en el tiempo, identificando las zonas de menor y mayor condición, entre otras muchas posibilidades. Pero destacaría porque permitiría orientar a los gestores a la hora de tomar decisiones sobre el sendero y a los senderistas en el momento de elegir un sendero u otro en función de la condición física en la que se encuentre la infraestructura.

Apéndice 1

El eigenvector principal conviene normalizarse para así obtener el vector de prioridades. El procedimiento que proponemos en esta aplicación, sigue lo expuesto por Barredo (1996) y consiste, en obtener primero los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, del siguiente modo. Na11 = a11 / ∑a1j, así el valor normalizado para cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor (aij) y el valor de la sumatoria de cada columna. Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre n (número de factores), resultando de esta manera el eigenvector principal normalizado que representa los pesos (wj) de cada factor.

Referencias bibliográficas

Antón Clavé, S.; González Reverte, F.; Andreu Sunyer, N.; Donaire, J.A.; Galacho Jiménez, F.B.; García Hernández, M.; López Olivares, D.; Mateu Lladó, J.; y Puertas Blázquez, J. (2005): Planificación territorial del turismo. Barcelona, Editorial UOC.

Barba, S. y Pomerol, J.C. (1997): Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica. España, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares.

Barredo, J. I. (1996): Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ra-Ma Editorial. 1ª edición.

Bertalanffy, L. (1964): "An outline of general system theory". British Journal of the Philosophy of Science, 7, pp. 35-60.

Bisset, R. (1980): "Methods for environmental impact analisys: recent trends and future prospects". Journal of Environmental Manage, 11, pp. 27-43.

Belton, V. y Stewart, T. (2002): Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Boston, Kluwer Academic Publishers.

Black, P.E. (1991): Environmental Impact Analisys. USA (Syracuse), Kinko's Center.

Bosque, J. y García, R. (1999): "Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y evaluación multicriterio". Mérida, VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG, Memorias.

Bosque, J. y Moreno, A. (2004): Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos. Madrid, Ra-Ma Editorial.

Canter, L.W. (1977): Environmental Impact Assessment. USA (New York), McGraw Hill.

Canter, L.W. y Hill, L.G. (1979): Handbook of variables for environmental impact assessment. USA (Michigan), Ann Arbor.

Canter, L.W. (1985): Environmental impact of agricultural production activities. USA (Michigan), Lewis Publishers, Inc.

Carpenter, R. (1976): "The Scientific Basis of NEPA. It is adecuate?" Environmental Law Reporter, 3, pp 25-46.

Cifuentes, M. (1992): Determinación de Capacidad Turística en Áreas protegidas. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Cifuentes, M. (1999): Capacidad de Carga Turística en las Áreas de uso público del Monumento Nacional Guayabo, Costa Rica.

Clark, B.D. (1978): "Methods of environmental impact analysis". Built Environ, 4, pp. 111-121.

Clark, B.D. (1980): A manual for the assessment of major development proposals. England, Her Mayesty's Statationery Office.

Eastman. J. R., Kyem, P. A., y Toledano, J. (1993a): Gis and Decisión Making. Ginebra, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).

Eastman. J. R., Jin, W., Kyem, P.A., y Toledano, J. (1993b): "An algorithm for Multi-Objetive Land Allocation Using GIS". Proceedings International Workshop on GIS, August 19-22, Beijing, Chinese Academy of Science, pp. 261-270

Estevan Bolea, M.T. (1984): Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid, Editorial Mapfre e ITSEMAP.

Farías, E.I. (2000). El aprovechamiento recreativo, deportivo y turístico de los espacios naturales protegidos. Modelos de Frecuentación. El caso del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Tesis Doctoral. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya. Universitat de Lleida.

Federación Aragonesa de Montañismo (2003): Método para la información de excursiones (MIDE). Zaragoza.

Galacho, F. B.; Ocaña, C, y Manceras, J. A. (2004): "Diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión Espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local". XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección. 20- 23 de septiembre, 2004, Murcia, pp. 13-27

Galacho Jiménez, F.B. y Ocaña Ocaña, C. (2006): "Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales". XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, 19-22 de septiembre, Granada, pp. 1509-1525.

Gal, T., Stewart, J., y Hanne T. (1999): Multicriteria decision making: advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications. Boston, Kluwer Academic Publishers.

Galacho Jiménez, F.B. Ramírez Dávila, J.F.; Ocaña Ocaña, C.; Gómez Moreno, M.L.; Juan Pérez, J. I.; y Arrebola Castaño, J.A. (2009): "Desarrollo metodológico para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio respecto a actividades ecoturísticas en la cuenca de Valle de Bravo-Amanalco (Estado de México)" en Leyva López, J.C.; Avilés Ochoa, E.; y Zepeda Rodríguez, J.J. (editores): Herramientas Operativas para el Análisis Multicriterio del Desarrollo Económico Local. México, Universidad de Occidente, pp.165-214.

Gómez Orea, D. (1988): Evaluación del impacto ambiental de proyectos agrarios. Estudios monográficos, 6. Madrid, MAPA.

Gómez Orea, D. (1992): Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid, Editorial Agrícola Española.

Gómez, M. y Barredo, J.I. (2005): Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ra-Ma Editorial. 2ª edición.

Gómez, M. y Bosque, J. (2004): "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones". GeoFocus, 4, pp. 179-208.

González Bernáldez, F. (1973): Ecología y paisaje. Madrid, Blume.

Hodgson, J.M. (1987): Muestreo y descripción de suelos. Barcelona, Ed. Reverté.

Hollick, M. (1981): "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment". Journal of Environmental Manage, 12. pp. 65-78.

Jankowski, P. (1995): "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods". International Journal of Geographical Information Systems, 9, 3, pp. 251-273.

Janssens, R. (1992): Multiobjetive decision support for environmental management. England, Kluwer.

Kasatkin, V.G. y Krasyuk, A.A. (1917): Aid to field work in soil investigations. Petrograd. Rusia.

Lee, N. (1982): "The future development of environmental impact assessment" Journal of Environmental Manage, 14. pp. 71-90.

Lee, N. (1983): "Environmental Impact Assessment: A Review". Applied Geography, 3, pp. 60-79.

Leno Cerro, F. (1993): Técnicas de evaluación del potencial turístico. Madrid, Ministerio de Innovación, Ciencia y Tecnología.

Leopold, L.B.; Clarke, F.E.; Hanshaw, B.B.; y Balsey, J.R. (1971): "A procedure for evaluating environmental impact". Geological survey, Circular 645.

Lewis, P.F. (1964): "Axioms form reading the landscape" en Meining D.W. (Ed). The interpretation of ordinary landscapes. USA (New York), Oxford University Press, pp. 56-78.

López Ontivares, D. (1998): La ordenación y planificación integrada de los recursos territoriales turísticos. Castellón de la Plana, Servicio de Publicaciones de la Universidad Jaume I.

Luque Gil, A. M. (2003): Las actividades recreativo-deportivas y el uso turístico del medio rural. Tesis Doctoral. Málaga, Universidad de Málaga.

Luque Gil, A.M. (2004): Los factores de localización espacial para actividades turístico-deportivas en la naturaleza. Málaga, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga.

Maignien, R. (1969): Manual de prospection pédologique. Paris. Initiations - Documentations - Techniques N° 11, O.R.S.T.O.M.

Malczewski, J. (1999): GIS and Multicriteria Decision Analisys. USA (New York), John Wiley & Sons, Inc.

Molero Melgarejo, E. et alii. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio". GeoFocus, 7, pp. 120- 147.

Moreno Jiménez, J.M. y Escobar Urmeneta, M.T. (2000): "El pesar en el proceso analítico jerárquico". Estudios de Economía Aplicada. 14, pp. 95-105

Moreno Jiménez, J.M. (2002): "El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos. Metodología y Aplicaciones", en Caballero, R. y Fernández, G.M.: Toma de decisiones con criterios múltiples. RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, Serie Monografías n° 1, 21-53.

Munda, G. (2007): Social multi-criteria evaluation for a sustanaible economy. Berlín, Heidelberg – Springer.
Nijkamp, P. y van Delft, A. (1977): Multi-criteria analisys and decision making. The Netherlands, Martinus Nijhoff.
Nijkamp, P. (1990): Multicriteria evaluation in physical planning. The Nederlands, Elsevier Science Publishers.
Ocaña, C. y Galacho, F.B. (2002): "Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio al análisis de la capacidad de territorio en relación a funciones turísticas", IV Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Turitec 2002, 23-25 de octubre, 2002, Málaga, pp. 235-253.
Otero, I. (1993): El análisis cualitativo de los elementos del medio natural en orden a la planificación física. Madrid, EMESA.
Pérez-Verdín et alii. (2009): "Aplicación de técnicas multicriterio en el manejo integral forestal en Durango, México". Madera y Bosques, 15, 1, pp. 27-46.
Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003): Edafología para la agricultura y el medioambiente. Madrid, Mundi-Prensa.
Ramos, A. y Ayuso, E. (1974): Visual landscape evaluation. Landscape Planning, 3, pp. 67-88.
Rau, J.G. (1980): Environmental Impact Analisys Handbook. USA (New York), McGraw Hill.
Roy, B. (2007): Metodología Multicriterio de ayuda a la decisión. Santiago de Compostela, Tórculo Edicións.
Romero (1993): Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Madrid, Alianza.
Saaty, T. (1980): The Analytical Hierrarchy Process. USA (Nueva York), Editorial Mc Graw Hill.
Santos, J.M. (1997): "El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales mediante los SIG raster". Espacio, Tiempo y Forma. España (Madrid), UNED, pp. 129-151.
Santos, J.M. (1998): "El tratamiento de variables ordinales en la metodología de la evaluación multicriterio (EMC): el método de las precedencias". Tecnología geográfica para el siglo XXI. Barcelona, UAB., pp. 120-131.
Seo, F. (1988): Multiple criteria decision analisys in regional planning: concepts, methods and applications. England (London), Reidel.
Szabolcs, I. (1966): Manual de cartografía de genética de suelos a gran escala. Hungría, Instituto Nacional de Investigación Agraria.
Triantaphyllou, E. (2000): Multi-criteria decision making methods: a comparative study. The Nederlands, Kluwer.
Tudela Serrano, M.L., Giménez Alarte, A.I. (2008): "Determinación de la capacidad de carga turística en tres senderos de pequeño recorrido en el municipio de Cehegín (Murcia)". Cuadernos de turismo, 22, pp. 211-229.
Tudela Serrano, M.L., Giménez Alarte, A.I. (2009): "Capacidad de carga turística en cuatro senderos de Carava de la Cruz (Murcia)". M+A, Revista electrónica de medioambiente, 6, pp. 1-20.
USDA, Soil Survey Staff (1951): Soil Survey Manual, Agriculture Handbook n° 18.
USDA, Soil Survey Staff (1976): Soil Taxonomy, Agriculture Handbook n° 436.
Varela, J. (2002): Sistema de información con capacidad de análisis espacial y multicriterio para ayuda a la toma de decisión en la gestión de los medios aéreos usados en la lucha contra incendios forestales. Tesis Doctoral. Santiago de Compostela, Universidad de Santiago.
Voogd H. (1983): Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. England, Pion.
Westman, W.E. (1985): Ecology, impact assessment and environmental planning. London, Unwin Hyman.

GEO-SERVICIOS ELECTRÓNICOS DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA EN LOS NIVELES AUTONÓMICO Y LOCAL EN ARAGÓN (ESPAÑA)

Pueyo Campos, Ángel[1], Salvador Oliván, José Antonio[2], Escolano Utrilla, Severino[3].

RESUMEN

Los geo servicios electrónicos se componen de utilidades y aplicaciones para analizar y visualizar información geográfica digital con objetivos específicos, y constituyen una parte de las nuevas prestaciones que se están ofreciendo desde la administración electrónica. Suelen estar diseñados para su utilización por usuarios finales con un uso y demanda cada vez más elevados al mismo tiempo que se desarrollan nuevas plataformas de consulta y modos de interactuación. En esta comunicación se describe y valora algunos geo servicios públicos de la administración autonómica en Aragón y en el Ayuntamiento de Zaragoza. Además, se propone un método para tipificar su fase de integración con otros servicios electrónicos y las capacidades de interacción con el usuario. La conclusión aboga por un mayor desarrollo de geo-servicios en áreas estratégicas como la seguridad, prevención de riesgos y otras, en el marco de la construcción de la administración electrónica, entendida ésta como una vía útil para la modernización de la administración pública

Palabras clave: geo- servicios, administración electrónica, información geográfica, Aragón.

ELECTRONIC GEO-SERVICES OF PUBLIC ADMINISTRATION AT AUTONOMIC AND LOCAL LEVELS IN ARAGON, SPAIN.

ABSTRACT

In this lecture some public geo-services located in Aragon, Spain, are described, setting up a method to typify its integrative phase within other electronic services, as well as with the capacity of interaction with a given user.

***Key words**: geo-services, electronic administration, geographical information, Aragón.*

Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza (España). E-mail: 1apueyo@unizar.es, 2jaso@unizar.es,3severino@unizar.es

1. Introducción

Las innovaciones tecnológicas desde mediados de la década de 1970, en particular las relacionadas con la información y comunicación digitales (TIC), se han revelado como una de las principales fuerzas impulsoras de las transformaciones sociales y productivas que caracterizan actualmente a la sociedad del conocimiento.

Los impactos de las TIC son extensos y difusos, pues no se limitan la actividad o aspecto de la vida socioeconómica o del ámbito privado de los individuos, sino que, con grados variables de intensidad, han llegado a todos los rincones de la sociedad y del territorio independientemente de su grado de desarrollo y nivel sociocultural de la población. Las TIC han posibilitado la renovación radical de procedimientos técnicos y modos de organización de la producción, los transportes, las comunicaciones, la prestación y adquisición de servicios y las actividades de consumo; también han contribuido a la recomposición de los equilibrios entre los agentes sociales y por tanto a la reestructuración de las relaciones de poder; junto con las redes sociales y los nuevos soportes o medios de interacción están conformando un nuevo modelo en las relaciones personales y administrativas.

La influencia de las TIC ha alcanzado también a la administración pública, no sólo en la reorganización de los procesos internos y en las formas del ejercicio de sus funciones, sino también en los modos de interacción con los ciudadanos en general, o con sectores socioeconómicos como las empresas, la educación, la seguridad, la sanidad o los servicios sociales, entre otros. Los gobiernos (Estados Unidos, Reino Unido, España), en todos sus niveles, han promovido programas para incorporar las TIC a las funciones y servicios de la administración, así como en un nuevo modelo de interrelacionarse con los ciudadanos y las entidades jurídicas. Estas acciones se enmarcan en una emergente área de aplicación de las TIC denominada gobierno electrónico, gobierno y a veces gobernanza electrónica, e-gobernanza, (e-government, e-governance), e concretamente en el caso de este estudio en la administración electrónica, por la que se articulan los mecanismos necesarios para que la iniciación, tramitación y terminación de los procedimientos puedan realizarse por medios electrónicos, con plena validez y en plenas condiciones de seguridad jurídica. (Ley 11/2007 de Acceso electrónico de los ciudadanos a los servicios públicos)

En el caso específico de la información geográfica, históricamente las administraciones públicas han sido el principal agente productor de información geográfica y, al mismo tiempo, usuarias masivas de la misma. En todo momento se han utilizado las técnicas más avanzadas disponibles en cada época; por ello, la aparición y difusión de tecnologías digitales para la creación, gestión, distribución, análisis y visualización de información geográfica han propiciado un salto cuantitativo y cualitativo en el valor y uso de esta clase de información, favoreciendo el acceso, actualización, mantenimiento e integración independientemente del productor de la información geográfica. Un ejemplo sería la creación por parte de la Comisión Europea de INSPIRE (Infraestructura de Datos Espaciales en Europa), que es una iniciativa legal (Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial de la UE (DOUE) el 25 de Abril de 2007,) en la que se establecen los estándares y protocolos de tipo técnico, aspectos organizativos y de coordinación, políticas sobre la información que incluye el acceso a los datos y la creación y mantenimiento de información espacial.

Su desarrollo en España es La Infraestructura de Datos Espaciales de España IDEE (Ley 14/2010 sobre las Infraestructuras y Servicios de Información Geográfica en España (LISIGE)), que a través de un geo-portal se facilita a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a los recursos geográficos, datos y servicios geográficos disponibles en España a nivel nacional, regional y local.

No obstante, si bien el empleo de información geográfica está bastante extendido, su difusión digital todavía se haya limitada por las elevadas exigencias tecnológicas y de conocimiento especializado necesarios para su manejo. No obstante, en el segmento de usuarios generales su empleo y consumo está progresando desde los meros datos, hasta los geo-servicios y geo-portales, prestados por la administración u ofrecidos por empresas gracias a la información geográfica proporcionada por las instituciones públicas. Este impulso público favorece la independencia, el mantenimiento y calidad de la información, así como el acceso de los usuarios en la condiciones de equidad social y territorial que no pueden garantizar el sector privado.

En este contexto, el presente trabajo aborda el análisis, caracterización y valoración del uso de la información geográfica por la administración pública de la comunidad autónoma de Aragón, en el nivel del gobierno autonómico y en el municipal, este último ceñido al ayuntamiento de Zaragoza.

2. Planteamiento del tema y objetivos: gobierno electrónico y geo-servicios

El despliegue de las TIC digitales en las tareas de la administración pública contiene un enorme potencial de transformación de los procesos de gobierno en todos sus niveles y dimensiones: político, técnico, económico, cultural y social, e incluso son un elemento básico de los enfoques, nacidos con el presente siglo, sobre la reforma del Estado.

La implantación de infraestructuras de las tecnologías, la disposición de nuevos métodos de organización, las modificaciones institucionales y culturales apropiadas para prestar servicios electrónicos de elevada calidad y valor a los ciudadanos, a las empresas y demás agentes sociales, conforman el ámbito de aplicación y de estudio del gobierno electrónico o e gobierno.

La Comisión Europea (Comisión Europea, 2003: 7) define el e gobierno como "el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en las administraciones públicas, combinado con cambios organizativos y nuevas aptitudes, con el fin de mejorar los servicios públicos y los procesos democráticos y reforzar el apoyo a las políticas públicas"; en el mismo documento (p.4) se señala que "las tecnologías de la información y comunicación pueden ayudar a la Administración a enfrentar varios desafíos. No obstante, el núcleo no debe fijarse en las propias TIC. En su lugar, debe establecerse en el uso de las TIC combinado con cambios organizativos y nueva aptitudes para mejorar los servicios públicos, los procesos democráticos y las políticas públicas. Sobre esto trata el e gobierno" (Traducción propia).

Más recientemente, la propia Comisión Europea, en la página web sobre las tecnologías de la información y telecomunicaciones para el gobierno y los servicios públicos caracteriza el e gobierno del modo siguiente: "el e-gobierno consiste en el uso de herramientas y sistemas por las TIC para proporcionar mejores servicios públicos a los ciudadanos y a las empresas. Las TIC son utilizadas ya extensamente por departamentos de la administración así como por las empresas, pero el e-gobierno comprende más que las meras herramientas. El e-gobierno eficaz significa también repensar la organización y los procesos, y cambiar el entorno para que los servicios públicos sean prestados de forma más eficiente a los ciudadanos que los necesitan. Bien implementado, el gobierno electrónico posibilita a todos los ciudadanos, empresas y organizaciones llevar a cabo sus relaciones con el gobierno de manera más fácil, más rápida y a menor coste" (traducción propia). El concepto gobierno electrónico, por lo tanto, sintetiza bien los múltiples aspectos comprendidos en la vía de la administración pública hacia la sociedad del conocimiento.(http://ec.europa.eu/information_society/activities/egovernment/index_en.htm).

Uno de los ejes transversales más relevantes del e gobierno se identifica con la desmaterialización de la producción de servicios mediante la sustitución de tareas, materiales y personal por información y procedimientos digitales. Es obvio que esta metamorfosis acarrea importantes

repercusiones en las dotaciones de infraestructura y de personal, así como en las modalidades de prestación de los servicios y conlleva la reorganización de los servicios públicos en una administración electrónica en la que sus relaciones con el ciudadano y las entidades jurídicas se redireccionan mediante plataformas digitales, lo que conlleva nuevos modos de autentificación y reconocimiento como son el certificado o firma electrónicos.

La información geográfica participa también en esta tendencia. La información geográfica, analógica y digital ha sido tradicionalmente una materia prima estratégica para la planificación pública en general. La información geográfica digital ha llegado a los usuarios especializados básicamente en su forma elemental, como coordenadas que registran la localización de diversos fenómenos de interés. Sin embargo, los datos brutos se van incorporando a cadenas de procedimientos que añaden valor y conocimiento a la información geográfica, y que llegan al usuario final en forma de geo-servicios. Un ejemplo práctico es la Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro (SEC) http://www.sedecatastro.gob.es/, en donde mediante el reconocimiento de firma o certificado electrónico se accede a una serie de procedimientos catastrales como consulta y certificación, declaraciones, solicitudes, recursos, consultas de expedientes o notificaciones. Este geo-servicio integra la información geográfica con la administrativa, ofreciendo en tiempo real y sin coste documentos con validez administrativa.

2.1. La construcción del gobierno electrónico

Desde mediados de la década de 1990, la confluencia de las innovaciones y avances de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones con las nuevas teorías de gestión nacidas en el sector empresarial, impulsó la aplicación de las TIC en tareas de la administración pública.El debate sobre los modos y consecuencias de la implantación de las TIC en el sector público ha sido muy intenso y fecundo desde sus orígenes (Osborne y Gaebler, 1992; Tapscott, 1996), hasta tal punto que ha dado lugar a un campo específico dedicado al estudio científico de las esferas política, social y administrativa involucradas en la construcción del gobierno electrónico (Grönlund, 2004: 1).

La práctica y los resultados de diversos trabajos de investigación han puesto de manifiesto que la incorporación de las TIC a la administración pública no consiste exclusivamente en un mero problema técnico, sino que abarca múltiples implicaciones propias de una forma diferente de producir, prestar y utilizar los servicios públicos. En grado variable, el uso de las TIC transforma la naturaleza del servicio, el qué de la función pública, y el cómo, cuándo y dónde se proporcionan los servicios (Grönlund, 2001) (véanse también las aportaciones fundamentales contenidas en las actas de las ocho conferencias internacionales sobre EGOV).

En efecto, los servicios del e gobierno superan algunas restricciones respecto de los servicios tradicionales en cuanto a las condiciones de tiempo, espacio y forma. Los servicios virtuales se prestan durante 24 horas al día siete días a la semana, en cualquier lugar que disponga de infraestructuras técnicas apropiadas (habitualmente un ordenador conectado a la Internet, aunque la reciente aparición de nuevos dispositivos móviles y el aumento de la capacidad en transmisión de las redes móviles auguran nuevos sistemas de interconectividad e interacción del usuario) y se suministran de manera distinta, pues no es necesaria la presencia de un empleado público. También es posible acceder a cualquier servicio público desde un solo punto o portal (one-stop-government) (Wimmer, 2001; Traunmüller y Wimmer, 2005), lo que presupone la interconexión técnica, de contenidos y operaciones de los diferentes departamentos de la administración.

El grado de madurez de los sistemas de gobierno electrónico suele establecerse mediante un modelo de fases que se caracterizan a partir de la presencia creciente de dos componentes: la complejidad de los sistemas y de las tecnologías utilizadas, así como el valor de los servicios

prestados a los ciudadanos. El Plan de Administración Electrónica de Aragón (Gobierno de Aragón, s/f: 9) diferencia cuatro niveles en el proceso de desarrollo de la administración electrónica.

- "Nivel 1. Información: Acceso a la información por diferentes canales
- Nivel 2. Interacción: Búsqueda de información; acceso a descargas de documentos (formularios, estadísticas, normativa, etc.)
- Nivel 3. Transacción: Inicio y finalización de trámites (autenticación de usuarios, procesos de negocio integrados en los diferentes canales
- Nivel 4. Integración: Intercambio electrónico automático de información y transacciones entre Administraciones; Sistemas de back office integrados, reingeniería de procesos".

Estos escalones y sus contenidos coinciden con los cuatro "estadios críticos" de la evolución del gobierno que distingue (Bhatnagar, 2004: 20):

- Presencia de páginas web: los departamentos facilitan a los ciudadanos información sobre procedimientos.
- Integración limitada: los departamentos se relacionan entre sí por intranet, que permite la comunicación mediante correo electrónico, las consultas de bases de datos y la descarga de formularios
- Transacciones: los servicios electrónicos están total o parcialmente automatizados, las aplicaciones incluyen certificaciones y licencias
- Transformación: todas las etapas de las transacciones del gobierno, incluidos los pagos, se realizan por vía electrónica, implementadas en nuevos modelos de prestación de servicios en los que participan empresas privadas.

La implementación de las TIC en la administración pública registra avances considerables en los países desarrollados y en vías de desarrollo aunque, al mismo tiempo, plantea dificultades de variada naturaleza (Bhatnagar, 2004; Millard, Shahin et al., 2009). Fountain (2001) reconoce que las tecnologías de la información pueden cambiar las estructuras de las organizaciones privadas y públicas, y pone de manifiesto los problemas institucionales y de gobernabilidad asociados al uso de las TIC y su interacción con las estructuras del Estado. Wimmer et al. (2001) ya advirtieron tempranamente que la implantación directa de los modelos de incorporación de las TIC a las actividades de las empresas (e-business) al gobierno virtual no es viable, aunque aquéllos puedan servir de estímulo y de inspiración en algunos aspectos. Por otro lado, Rivera (2003) da cuenta de las complejas relaciones entre la incorporación de las TIC en la administración pública y las estructuras económicas de los países, que ejemplifica en el caso chileno.

Desde el punto de vista operativo, también se presentan barreras a la difusión de las TIC en la administración pública, como la insuficiencia de las dotaciones de infraestructuras o las carencias de formación técnica de los usuarios y de los empleados públicos. En todo caso, persisten desafíos adicionales en la construcción del gobierno que trascienden las metas de mayor eficiencia (Wimmer, Traunmüller et al., 2001), que se relacionan con la cultura y las estructuras sociales (Garson, 2000), con la función reguladora del Estado, con la equidad social y territorial y con la transparencia y responsabilidad propia de regímenes democráticos. El gobierno electrónico es un medio útil para acometer reformas y mejorar la eficiencia en el sector público, pero el modo alguno es la solución única para este fin.

Pero este derecho tiene una especial trascendencia para el conjunto social, "ya que implica la necesidad de una «alfabetización digital» que evite la conocida «brecha digital», que convierte a las TIC en una forma más de exclusión de colectivos desfavorecidos en lugar de cumplir las funciones de inclusión y progreso social a que están destinadas" (Durán, 2009)

2.2. Información geográfica y geo-servicios

En este contexto de cambio hacia una administración electrónica no se puede obviar que buena parte de las actividades diarias de las personas son de naturaleza geográfica ya que su contenido se relaciona con la localización en que se desarrollan. Asimismo, la organización y el funcionamiento de los mercados revelan estructuras espaciales decisivas, a veces, en los precios de los productos y en la calidad de los servicios. Y esto obliga a que la administración pública disponga masivamente una información actualizada y cada vez más compleja y precisa, pues son básicas las consideraciones geográficas en los procesos de planificación y de toma de decisiones de todo tipo para definir y resolver problemas más o menos urgentes. En ese sentido hay que reseñar la apuesta de la Comisión Europea –INSPIRE, http://inspire.jrc.ec.europa.eu/ - y del Gobierno Español –IDEE, http://www.idee.es- por sistemas de estandarización de la información espacial y geoportales que faciliten la consulta e intercambio de información independientemente de su ubicación.

Por lo tanto, la disponibilidad de una correcta y exacta información geográfica no sólo es útil para comprender y caracterizar fenómenos del mundo real, sino también como referencia para organizar y analizar cualquier información a partir de una cualidad fundamental: la localización.Para las administraciones los modelos de datos de información geográfica son más complejos, ya que el datum de información geográfica (una unidad significativa de información) combina de manera indisoluble información temática, espacial y, opcionalmente, temporal. Así pues, la elaboración, gestión y análisis de información geográfica requiere cierto nivel de equipamiento técnico y de conocimiento especializado, así como su adecuación a las normas internacionales (ISO 19115:2003 Geographic Information – Metadata), europeas (Implementing Rules de la Directiva INSPIRE), o nacionales (Núcleo Español de Metadatos del Consejo Superior Geográfico). Actualmente los geo-portales y las bases de información públicas son los referentes, tanto en las empresas como en la administración pública, para organizar, analizar, visualizar y distribuir todo tipo de datos necesarios para resolver problemas, mejorar procesos, desarrollar planes y definir políticas.

Los geo-servicios electrónicos se componen de información geográfica, utilidades y aplicaciones para la gestión, análisis y visualización de la misma y de los resultados, con un propósito determinado, como obtener la ruta más corta entre dos localizaciones, seleccionar eventos a una distancia dada de un objeto, proporcionar información precisa y compleja sobre un elemento geográfico o facilitar análisis y estudios espaciales de índole diversa.

Un rasgo esencial de los geo-servicios es su orientación hacia usuarios finales que, en su mayor parte, no poseen conocimientos avanzados en el manejo de la información geográfica. Ello implica que las interfaces y procedimientos han de diseñarse para que sean inteligibles a usuarios no expertos en SIG. Por otro lado, esta condición ha podido limitar hasta ahora la difusión de los geo-servicios basados en Internet. La reciente aparición de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes o tablets con sistemas operativos como Android, Ipad OS o Windows Mobile 6 permite integrar multitud de aplicaciones (apps) con geo-servicios para su utilización en cualquier momento y lugar. En el futuro es muy probable que se generalicen los geo-servicios mediante aplicaciones de realidad aumentada añadiéndose a la visión del entorno físico elementos e información virtual.

Gran parte de los servicios relacionados con la información geográfica se encuadran en el nivel 1 del modelo antes citado y consisten en la simple distribución de datos. Sin embargo, los avances en la creación de estándares de datos (OPEN GIS) las infraestructuras de datos espaciales (IDE), la aparición de la realidad aumentada (AR), el incremento de la capacidad de transmisión de las redes, las mejoras de las interfaces (Web 2.0) y otros factores, han facilitado la integración y colaboración entre usuarios y productores de datos y servicios; en otras palabras: han allanado el camino hacia la creación de geo servicios. Estos y otros avances posibilitan, al menos sobre el papel, la aplicación de funciones de los SIG en cualquier ordenador personal y en los teléfonos móviles.

Algunas empresas ofrecen determinados servicios digitales de complejidad variable que abarcan desde la localización de objetos, actividades, servicios, o de direcciones postales hasta el control de flotas de automóviles, camiones o autobuses; la búsqueda de rutas entre varios puntos, o de la mejor combinación de medios de transporte urbano para desplazarse entre varios destinos que satisface algún criterio (número mínimo de trasbordos, recorrido más corto); la organización de diversos servicios de emergencia; el seguimiento en tiempo real de animales anillados para conocer sus patrones de desplazamiento, y otros.

Los diferentes niveles de la administración pública también prestan geo-servicios digitales, si bien los de carácter integrado (estadios 3 y 4 del modelo referido) son muy escasos, pues necesitan elevadas inversiones en datos e infraestructura, los gastos de personal suelen ser considerables, y precisan una organización que permita el flujo de información entre diferentes departamentos. Por otro lado, ciertas determinaciones legales, como las que afectan al secreto estadístico, pueden limitar también el alcance de algunos de los servicios digitales. No obstante en esta próxima década se van a generalizar las sedes electrónicas y los servicios públicos digitales por la imposición de la Ley de Acceso Electrónico de los Ciudadanos a los Servicios Públicos (LAECSP) o 11/2007, que consagra "la relación con las Administraciones Públicas por medios electrónicos como un derecho de los ciudadanos y como una obligación correlativa para tales Administraciones". Esto ha supuesto en los últimos años importantes retos a las Administraciones Públicas del Estado español y está sirviendo para impulsar la administración electrónica (e-administración) estableciendo una amplia oferta de servicios a través de la red. Por estas razones, al menos en España, la mayor parte de los geo-servicios públicos digitales son proporcionados por los institutos o servicios encargados de la creación y mantenimiento de información geográfica; son más escasos, en cambio, los desarrollados por otras instituciones (ayuntamientos, por ejemplo) o departamentos y relacionados con el catastro, la seguridad, la salud, la gestión de emergencias o del medio ambiente, pero con un crecimiento imparable en número y contenidos

2.3. Objetivos

No obstante, como ya se ha comentado, el desarrollo de geo-servicios en la administración pública se encuentra en una fase incipiente. Tanto es así, que en el ámbito de estudio científico del e gobierno no se registran contribuciones sobre el tema, ni en el mismo participan especialistas procedentes de las disciplinas geográficas o espaciales. En una investigación reciente en la que se analizan 3.281 publicaciones sobre e gobierno correspondientes a 3.506 autores, no se recoge ningún autor de campos disciplinares relacionados con las ciencias geográficas o espaciales; un área temática próxima podría ser la de "ciencias sociales", en la que se enmarcan tan sólo el 2% de las contribuciones (Scholl, 2009).

En consecuencia, parece oportuno llevar a cabo un estudio para caracterizar la naturaleza de los geo servicios electrónicos prestados a escala autonómica y local, ya que estos niveles administrativos poseen la mayor parte de las competencias de los servicios públicos que más afectan a la vida diaria de los ciudadanos.

El presente trabajo tiene dos objetivos principales interrelacionados: a) analizar y valorar los geo servicios del gobierno de Aragón y del Ayuntamiento de Zaragoza en el contexto presentado, en materia de las funciones que prestan, su organización, magnitud, su etapa de desarrollo, uso actual y potencial así como por su contribución a la construcción del e gobierno; b) proponer y ensayar un método útil para explorar y valorar la contribución de los geo servicios a la implantación del a administración electrónica a escala local

3. Metodología y datos

Un marco metodológico adecuado para la valoración y análisis de los geo-servicios se puede construir a partir de la estructura de las unidades funcionales y de los flujos de información que configuran un geo-servicio, como se representan en el esquema de la figura 1 (vid. Figura 3-34. Esquema de las unidades y flujo de información de un geo-servicio).

De cada uno de los componentes diferenciados se analizan sus dimensiones significativas a través de las variables e indicadores que las definen, y se estima su complejidad y fase de evolución en cuanto a la integración con otros servicios de administración electrónica. Además se consideran otros aspectos básicos relativos al conjunto del geo servicio, como la organización técnica y funcional, el personal que lo gestiona, y las infraestructuras y tecnología utilizadas.

Los conceptos y categorías mencionados se organizan en una tabla de doble entrada que facilita la toma de los datos y futuros análisis. La evolución y estado de madurez de un geo servicio se puede tipificar a partir de un modelo de etapas como el mencionado con anterioridad; Esteves (2006) ha empleado una versión equivalente, así como Chaín y Tomás (2005) que también han desarrollado un esquema operativo equivalente para propósitos de evaluación. En ambos casos se distingue cinco etapas en el desarrollo del gobierno electrónico: 1) información (información pública en la página web); 2) comunicación unidireccional (descarga de instrucciones y otros documentos); 3) comunicación bidireccional (relleno de formularios, realización de reservas); 4) transacciones e interacción de datos (trámites completo); 5) información y conocimiento intradaministraciones (integración de todos los servicios de administración electrónica).

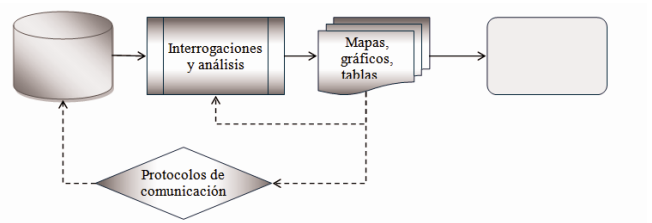


Figura 3-34. Esquema de las unidades y flujo de información de un geo-servicio

La información se ha recogido a partir de la revisión sistemática de los contenidos de los geo-servicios publicados en las correspondientes páginas web del portal de centros educativos de la DGA y del Ayuntamiento de Zaragoza.Por otra parte, se han llevado a cabo entrevistas con los responsables y técnicos de los departamentos en los que se encuadran los geo-servicios para recabar información cualitativa y opiniones acerca de la organización del servicio, sus costes, dificultades de mantenimiento, políticas de desarrollo y de uso y, en fin, sobre la utilidad general, así como los niveles de acceso o uso del geo-servicio .

4. Resultados y valoración de algunas experiencias en geo-servicios en la Comunidad autónoma de Aragón y en la ciudad de Zaragoza.

En los países desarrollados, la modernización de la administración pública y la mejora de los servicios que presta pasan, en gran medida, por la integración de las TIC en los procesos de creación y suministro de servicios a los ciudadanos, a las empresas y a otras organizaciones sociales.

Esta estrategia se sigue de forma decidida en la Unión Europea a partir la Directiva 2006/123/CE, relativa a los servicios en el mercado interior en la que se obliga, entre otros deberes para los Estados miembros, "facilitar por medios electrónicos acceso a los trámites relacionados con las actividades de servicios y a la información de interés tanto para los prestadores como para los destinatarios de los mismos", aunque con ritmos diferentes en cada estado, acordes con su grado de desarrollo económico general y otros factores. En todos los niveles de la organización política de la UE se han aprobado planes para impulsar y ordenar el despliegue de las TIC en la administración pública, inscritos en el marco de funcionamiento de la UE y de los derechos y deberes de los ciudadanos.

En España, como ya se ha enunciado anteriormente, se ha aprobado un conjunto de normas de rango diverso que regulan el desarrollo y funcionamiento de los servicios electrónicos prestados por las diferentes administraciones públicas. En la administración del Estado se observan grandes diferencias en el grado de implantación de servicios electrónicos entre algunos ministerios y departamentos en los que se hallan bien establecidos (Hacienda) y otros, la mayoría, en los que apenas están presentes. En los ayuntamientos el panorama es similar: en la mayoría no existen estos servicios o se prestan de forma aislada y con niveles de eficiencia bajos (Esteves, 2006: 95), pero se observa una obligada generalización de los servicios de administración electrónica.

La Ley 11/2007, de 22 junio, de acceso electrónico de los ciudadanos a los servicios públicos, reconoce una serie de derechos para los ciudadanos y las consiguientes obligaciones para las administraciones públicas en relación a las formas de uso y prestación de los servicios públicos; entre los más importantes de los primeros cabe destacar:

- Derecho a relacionarse con las Administraciones Publicas utilizando medios electrónicos para acceder a información y realizar consultas y llevar a cabo otros tipos de actos administrativos a través de alguno de los canales disponibles.
- Derecho a no presentar datos y documentos en poder de la Administración.
- Derecho a conocer por medios electrónicos el estado de tramitación de los expedientes que les afecten y obtener copias electrónicas de documentos.
- Derecho a obtener los medios de identificación electrónica necesarios; las personas físicas pueden utilizar los sistemas de firma electrónica del DNI.

Por otra parte, el reciente RD 4/2010, de 8 de enero, que regula el Esquema Nacional de Interoperabilidad, establece los criterios y recomendaciones de seguridad, normalización y conservación de la información, de los formatos y de las aplicaciones que deberán ser tenidos en cuenta por las Administraciones públicas para asegurar un adecuado nivel de interoperabilidad organizativa, semántica y técnica de los datos, informaciones y servicios que gestionen en el ejercicio de sus competencias y para evitar la discriminación a los ciudadanos por razón de su elección tecnológica.

Finalmente, las disposiciones aprobadas para trasponer la Directiva 2006/123/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa los servicios en el mercado interior, componen un nuevo marco jurídico y administrativo que ordena la prestación de los servicios entre las empresas y ciudadanos de los estados de la UE. Esta normativa pretende eliminar los obstáculos que se oponen a la libertad de establecimiento de empresas de servicios y circulación de los servicios entre los países de la UE, para convertir, a partir de 2010, un mercado fragmentado en otro mercado interior de servicios único y efectivo.

La aplicación de esta directiva y de otra normativa relacionada con la administración electrónica, comporta, entre otras acciones, la construcción de un portal único por cada país y comunidad autónoma, la normalización de los procedimientos y la interoperabilidad entre los diferentes portales de servicios electrónicos de las administraciones públicas de la UE

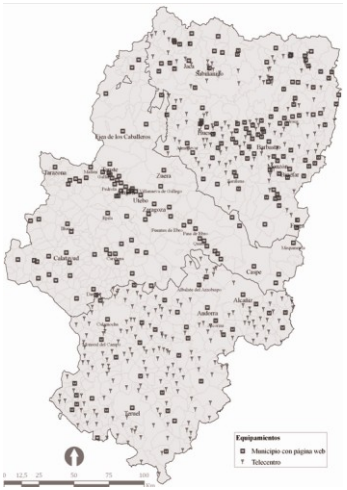


Figura 3-35. Ayuntamientos con página web y red de telecentros en Aragón (2010). Fuente: Red.es (telecentros) y Observatorio Aragonés de la Sociedad de la información (páginas web).

4.1. El marco del desarrollo de los servicios públicos electrónico en Aragón

Desde la formación de la Comunidad Autónoma de Aragón (1978), los responsables de su gobierno han sido conscientes de la conveniencia de disponer de una administración pública moderna, lo que comporta, entre otros aspectos, la necesaria incorporación a la misma de las TIC. La dispersión geográfica de la población y aragonesa es un aspecto que, potencialmente, dificulta o encarece la creación de infraestructuras y la prestación de servicios electrónicos, y a su vez es un contundente argumento para el desarrollo de una administración electrónica y de geo-servicios que permitan acceder a todos los ciudadanos en igualdad de condiciones. Lamentablemente, buena parte del territorio sólo tiene acceso a una oferta limitada de infraestructuras y servicios; así en 2005, 226 municipios (el 31%) carecían de servicios de ADSL y 219 (30%) sólo disponían de estos servicios parcialmente (Gobierno de Aragón, s/f: 11). Los telecentros (figura 3-35), si bien pueden ser una solución para acceder a contenidos de Internet, no son las instalaciones adecuadas para el uso de geo servicios debido a su propia naturaleza (estar ubicados en edificios públicos, horarios de uso limitados, etc.).

Con el fin de impulsar y coordinar acciones para el uso eficiente de las TIC en la administración pública, el gobierno de Aragón ha puesto en marcha varios planes e iniciativas. Los más importantes son el "Plan de Administración Electrónica del Gobierno de Aragón", el "Plan Localidad" y el "Plan Tecnológico para el desarrollo de la administración electrónica en Aragón"; estos tres planes "constituyen un completo marco para el desarrollo de la administración electrónica en la Región" (Gobierno de Aragón, s/f: 88).

El Plan de Administración Electrónica establece cuatro ejes en torno a los cuales se articulan las políticas, proyectos e iniciativas que contempla, así como el análisis y diagnóstico de la situación actual: e-servicios, e-gestión, e-infraestructuras y e-gobernanta. El eje de los e servicios está conformado por "todas aquellas acciones, medidas proyectos y/o iniciativas especialmente destinadas a la creación y definición de las relaciones externas y servicios que el Gobierno de Aragón ofrece a los ciudadanos, las empresas y el resto de entidades en materia de administración electrónica" (Gobierno de Aragón, s/f: 17).

En el "modelo técnico de prestación de servicios de Administración Electrónica" del PAE se considera el "servicio de información geo-referenciada" un "servicio de uso común" (junto, por ejemplo, con el de firma electrónica o el de gestión documental) (Gobierno de Aragón, s/f: 19). Esta importancia deriva del hecho de que la información geográfica es un elemento fundamental para la prestación de servicios electrónicos, e imprescindible para la elaboración de geo-servicios

El Centro de Información Territorial de Aragón es el servicio público encargado de crear y mantener la información geográfica del territorio de la Comunidad Autónoma. La actividad de este servicio, en particular la relativa a la de obtención y gestión de información geográfica, se reglamentará en un decreto del gobierno de Aragón que ya ha pasado la fase de exposición pública. En términos generales se puede afirmar que este servicio ha puesto a disposición de los ciudadanos, las empresas y la administración, un cuerpo de información geográfica de Aragón actualizada y accesible. Los datos se han organizado en un Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR) que facilita el manejo de la información y la descarga de archivos. Además, este Centro presta asistencia técnica a otros departamentos de la administración en materia de uso de información geográfica, para lo que dispone de personal bien cualificado y de recurso tecnológicos suficientes (figura 3-36. Estructura funcional y tecnología del SITAR)

Por otra parte, el Ayuntamiento de Zaragoza inició, en 2004, el proyecto de "Infraestructura de Datos Espaciales del Ayuntamiento de Zaragoza: IDEZar", para crear un cuerpo de información geográfica digital sobre el término municipal, y ponerla a disposición de sus propios departamentos, las empresas y del público en general. Aparte de este objetivo fundamental, el desarrollo de IDEZar tiene implicaciones positivas importantes en materia de difusión de las tecnologías de la información entre los ciudadanos y la propia gestión municipal; a la vez proporciona información fundamental para la planificación y ejecución de políticas municipales, especialmente en materia de medio ambiente, movilidad, cultura, y para diversos objetivos de las empresas y usuarios particulares.

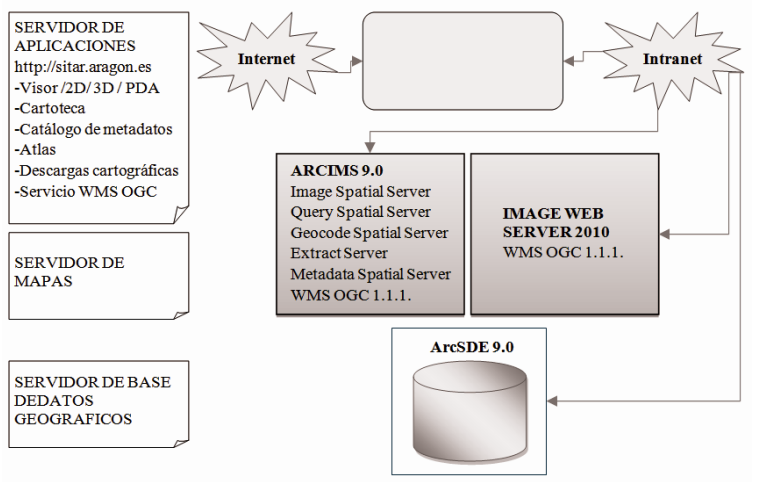


Figura 3-36. Estructura funcional y tecnología del SITAR

IDEZar se enmarca en la iniciativa INSPIRE ("Infraestructure for SPatial InfoRmation in Europe") (European Commission INSPIRE") de la que constituye un nodo local. Esta relación exige que la información geográfica sea estructurada de acuerdo a diversos estándares lo cual facilita su difusión y uso por varios sistemas (Internet, teléfono móvil, etc.). Actualmente, el sistema contiene un considerable volumen de información geográfica sobre aspectos del medio físico y de abundantes clases de elementos propios de la actividad socioeconómica del término municipal de Zaragoza y permite algunas conexiones funcionales con otros nodos de la red. Para seleccionar, analizar y visualizar la información geográfica se han programado varias utilidades que proporcionan al usuario opciones de búsqueda muy flexibles y un grado avanzado de interacción con el sistema (Ayuntamiento de Zaragoza-Web Municipal, 2010). La gran magnitud de la información de IDEZar y las variadas funciones de búsqueda, análisis y visualización hacen que este sistema adquiera un alto grado de complejidad tecnológica y de organización (Portolés-Rodríguez, Álvarez et al., 2005; Álvarez, Muro et al., 2006).

En consecuencia, estas dos grandes geo-bases de la administración pública, y otras públicas (por ejemplo: CartoCiudad (Mas, García et al., 2010)) y privadas proporcionan la información geográfica fundamental para elaborar geo-servicios electrónicos en Aragón.Sin embargo, a pesar de la importancia clave que tiene información espacial en la arquitectura de la administración electrónica, apenas existen geo-servicios públicos desarrollados en torno a la información geográfica, ni en el nivel autonómico ni en el local.

4.2. Algunos ejemplos de geo-servicios en la región de Aragón y en la ciudad de Zaragoza

En los siguientes apartados se describen algunos de los que accesibles al público a través de Internet y en los que los componentes geográficos son importantes:

- Buscador de centros educativos del Gobierno de Aragón
- IDEZar (Infraestructura de datos espaciales de Zaragoza)
- SIGGURZ (Sistema de Información Geográfica de la Gerencia de Urbanismo de Zaragoza)
- TUSZA (Transportes Urbanos de Zaragoza)
- Aplicaciones abiertas para el fomento de la información pública del ayuntamiento de Zaragoza.

Buscador de centros educativos del Gobierno de Aragón

El Buscador de centros Educativos del Gobierno de Argón (Gobierno de Aragón, 2010) está concebido como un geo-servicio para ayudar a los usuarios a elegir centros de enseñanza no universitaria en la ciudad de Zaragoza en función de determinadas características de los mismos, y para calcular la puntuación obtenida en la solicitud de elección de un determinado centro.

La creación de este geo-servicio aborda, además, otros retos que debe afrontar la administración educativa, como proporcionar una plataforma única para intereses de los agentes involucrados en la educación (Consejo Escolar, sindicatos; Justicia de Aragón…), reducir la documentación que genera la gestión de los procesos educativos, disponer de un sistema capaz de simular las demandas de los centros para facilitar la planificación y, en fin, incorporar la distancia entre el domicilio de los alumnos y los centros escolares como un criterio para la adjudicación de centro escolar (Faci, 2010).

La proximidad del domicilio o del lugar de trabajo de los padres es uno de los criterios básicos para admisión de estudiantes en los centros escolares, hasta el punto de que más del 90% de las familias eligen centros cercanos al domicilio familiar (Faci, 2010). El modo tradicional de asignar un valor a la proximidad ha consistido en zonificar el término municipal y dar prioridad a los residentes de cada zona en los centros comprendidos en la misma. Con esta solución es posible que se asignen centros de la zona de un domicilio determinado, más alejados que otros centros de otra zona contigua; esta circunstancia es frecuente en las áreas adyacentes a los límites de las zonas.

Con la aplicación de la tecnología de los sistemas de información geográfica y de los sistemas de posicionamiento global (GPS), es posible obtener la distancia que separa un domicilio o un lugar de trabajo de un centro educativo y considerarla como un elemento de baremo para la elección de un centro. La distancia, calculada por el Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR), se mide en línea recta, y se puede ponderar en función del tipo de suelo (por ejemplo: un parque; una avenida) que separa los puntos que se relacionan (centroides de parcelas catastrales). Por otro lado, se pueden establecer distancias mínimas (y máximas) para tomar en cuenta este criterio en las solicitudes.

Tabla 3-25. Resumen de las características del Buscador de Centros Educativos del Gobierno de Aragón

Componentes y funcionalidad		
1. Datos geográficos		
Contenido y (geometría)		Otras características
-Centros escolares (punto) -Callejero (red) -Zonas escolares (polígonos) -Domicilios o centros de trabajo (punto)		No es posible descargar imágenes o mapas
2. Funciones de interrogación y análisis		
Búsquedas temáticas	-Naturaleza del centro (público, concertado, privado) -Programas educativos (bilingüe alemán, francés,… pizarra digital…) -Atención preferente -Tipo de enseñanza	
Búsquedas espaciales	-Localidad y zona -Provincia, localidad, distrito postal -Dirección postal -Parcela catastral	
Búsqueda por vacantes		No operativo cuando cierra el plazo de solicitudes
Medida de las distancias	-Medición de la distancia en línea recta entre los centroides de la parcela catastral (domicilio) y los puntos que representan los centros escolares	
3. Resultados		
-Texto: listado de los centros que cumplen los criterios de búsqueda		Se puede imprimir
-Mapas: visualización en el mapa de símbolos que identifican y localizan a los centros que satisfacen los criterios de búsqueda		No se pueden descargar los resultados
4. Infraestructura y tecnología		
-Personal y medios informáticos para la creación y gestión de datos temáticos de los centros educativos -Recursos tecnológicos y de personal del SITAR para el manejo de información espacial		

Fuentes: Faci (2010) y Gobierno de Aragón: http://www.centroseducativosaragon.es/Public/default.aspx.

Por otra parte, el geo-servicio dispone de herramientas complementarias que facilitan la búsqueda de centros según diversos criterios y la simulación de los baremos teniendo en cuenta la proximidad. Los usuarios acceden a la aplicación través del portal de centros educativos en el que existen diferentes interfaces de búsqueda en las que el usuario puede introducir diferentes parámetros y criterios de búsqueda. Otras características más importantes de este geo-servicio aparecen en la tabla 3-25. Este geo-servicio ha permitido incorporar un elemento fundamental al proceso de elección de centro escolar, como es la distancia desde el domicilio de los estudiantes, o centro de trabajo de los padres, al centro escolar, de forma eficaz y transparente. Por estas y otras razones este geo-servicio ha recibido, entre enero y octubre de 2010, más de 150.000 visitas.

Los usuarios interaccionan con el geo servicio cuando facilitan los parámetros de búsqueda de los centros escolares y proporcionan al sistema la información necesaria para que éste localice la parcela catastral del domicilio. En consecuencia, este geo-servicio se puede clasificar en la fase 3 de integración, según el modelo de clasificación que seguimos.

IDEZar (Infraestructura de datos espaciales de Zaragoza)

La información geográfica de la infraestructura de datos espaciales de Zaragoza ha multiplicado su uso y utilidad con la incorporación al sistema de recursos (gadgets) para el manejo y visualización de la información en varios canales (Internet, telefonía móvil, GeoRSS) y de otras aplicaciones más complejas que son propiamente geo-servicios, de acceso público o bien para uso interno (planificación de eventos de policía local, gestión de incidencias sobre la vía pública, gestión de medios y recursos de bomberos y protección civil para el plan de emergencias) (Pérez-Pérez, Rodrigo et al., 2009; Fernández, Pérez-Pérez et al., 2010).

Parte de los geo-servicios públicos están dedicados a proporcionar información temática y de la localización de las instalaciones y dependencias municipales, de diversos contenidos del estado del medio ambiente o sobre incidencias en vía pública. En su mayoría se encuadran dentro de la fase 1 del modelo que aquí manejamos. Otros, son más avanzados y permiten la interacción con los usuarios que deben facilitar ciertos valores de parámetros (temáticos, espaciales y temporales) que se utilizan para llevar a cabo determinados cálculos: tal es el caso del callejero, el buscador de rutas de llegada a Zaragoza, o el planificador de itinerarios turísticos en la ciudad de Zaragoza. Estos últimos se encuadran en la fase 3 del modelo referido (Tabla 3-26, Figura 3-37)

Tabla 3-26. Componentes y funcionalidad del IDEZar

1. Datos geográficos	
Contenido y (geometría)	**Servicios**
-Servicios del Ayuntamiento (punto) **-Incidencias en vía pública (puntos)** **-Callejero (red)** **-Información medioambiental (puntos, líneas y polígonos)** **-Otras clases de elementos (manzanas urbanas, delimitaciones administrativas…)** **-Acceso a información de otras geo-bases**	-Servicio de mapas en Internet (WMS) (mapa base de Zaragoza, mapas temáticos, cálculo de rutas, mapa temático de medio ambiente -GeoRSS (cortes de agua, cortes de tráfico, otras afecciones importantes, antena móviles) -Servicios para mashups (Puntos de interés) -Servicio de acceso a datos (SOAP)) (Callejero) -Nomenclátor (de la IDE Inst. Geográfico nacional)
2. Geo-Servicios públicos	
Callejero	El usuario selecciona el nombre de la vía y la clase de información urbana en un panel desplegable con 14 categorías. El programa ofrece información detallada sobre la calle seleccionada y ayuda en las búsquedas ambiguas. Muestra los resultados mediante símbolos en un mapa cuya base son las manzanas urbanas las calles con el nombre, espacios verdes y no construidos y la red hidrográfica. Se pueden añadir también las parcelas catastrales. El mapa se acompaña de herramienta ayudar a la visualización (volver al mapa inicial, volver a la vista anterior, ir al mapa siguiente, mostrar y ocultar un mapa de situación,, mover el mapa, acercar el mapa, alejar el mapa, mostrar la leyenda) imprimir el mapa, obtener ayuda y mostrar la leyenda. Y sobreponer el plano catastral.
Planos temáticos	Colección de mapas con la localización de determinadas categorías de objetos. Se facilitan herramientas de navegación en el mapa.
Localización de centros municipales	Clasificación de los servicios municipales que se presenta en paneles desplegables para seleccionar por el usuario. Se puede explorar su localización en un mapa. Se facilita herramientas de navegación en el mapa.
Zaragoza desde el aire	Visualiza la ciudad de Zaragoza de la imagen de Google Earth©.
Incidencias en vía pública	Se muestra un mapa con las incidencias en vía pública correspondientes a: cortes de agua, cortes de tráfico, afecciones importantes.
Cómo llegar	Este geo-servicio calcula y visualiza la ruta más rápida o más corta de cualquier localidad de España a Zaragoza. El usuario selecciona el tipo de ruta y la localidad.
Márgenes y riberas	Se muestran, sobre una ortofoto los proyectos de márgenes y riberas urbanas del río Ebro en la ciudad de Zaragoza. De cada proyecto se muestra, además información sobre su contenido y estado actual así como varias imágenes.

Medio ambiente	Se muestra información en un mapa con medidas de los niveles de inmisión en el aire de distintas sustancias, medidos en las estaciones de la red de control de la contaminación atmosférica. También contiene un mapa de localización del Galacho de Juslibol, que se completa con abundante documentación.	
Estos geo-servicios disponen de herramientas para navegar por los mapas y la imagen: acercar, alejar (cambio de escala), mover el mapa y volver a la vista original.		
Planifica tu visita	Busca recursos turísticos de acuerdo a las preferencias del usuario, permitiendo seleccionar opciones predeterminadas en 5 categorías temáticas (motivos de la estancia, compañía, preferencias, alojamiento y otros) y el día de la visita. La interfaz puede ampliarse con otras opciones de 4 nuevas categorías temáticas (estilos artísticos, tipo de comida, no me interesan y más preferencias) y la selección de monumentos que se desean visitar.	La ruta propuesta presenta información con el itinerario de los lugares a visitar y el tiempo estimado de la visita; el usuario puede desechar algunos lugares y el sistema recalcula la ruta. Además, se muestra una imagen de cada lugar o monumento y datos sobre los horarios de visita. El documento se completa con la ubicación de cada lugar en un mapa de Google Maps© .En la misma página se tiene acceso a otra información relacionada con el turismo.

Fuente: http://www.zaragoza.es/ciudad/idezar/index.htm

.

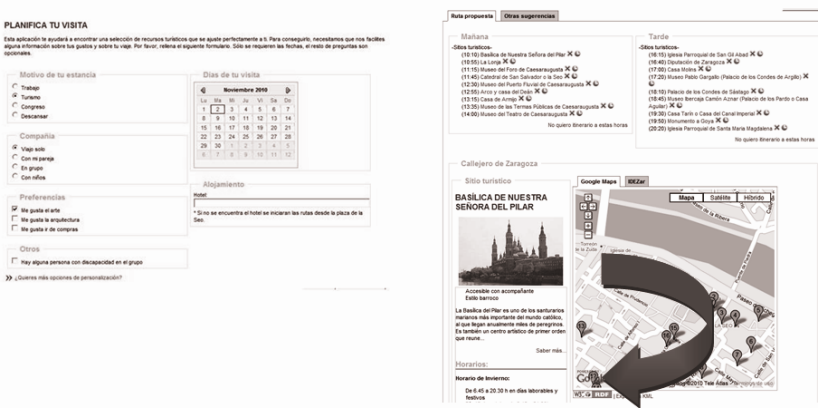


Figura 3-37. Interfaz y resultados del geo-servicio planificador de itinerarios turísticos

Fuente: http://www.zaragoza.es/ciudad/idezar/index.htm

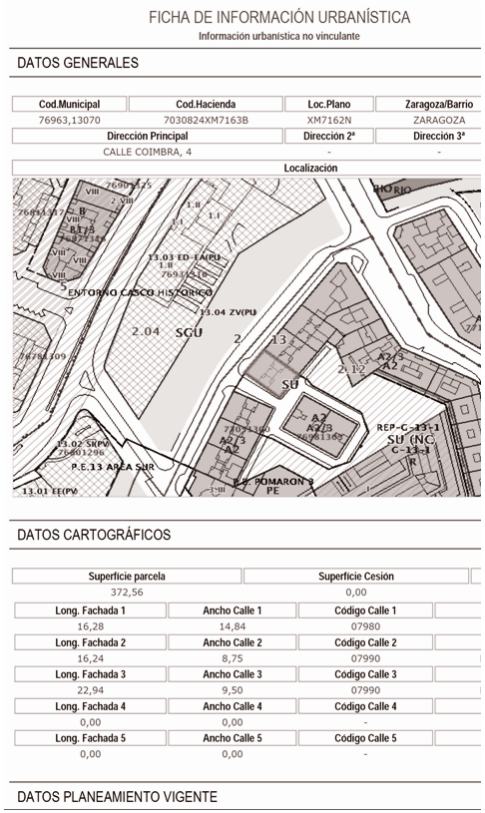
La infraestructura de datos geográficos IDEZar constituye una buena plataforma para la creación de aplicaciones de geo-servicios avanzados, tanto para los departamentos del propio Ayuntamiento como para las empresas.

SIGGURZ (Sistema de Información Geográfica de la Gerencia de Urbanismo de Zaragoza)

Partiendo del Plan General y del conjunto de productos cartográficos existentes en la Gerencia Municipal de Urbanismo de Zaragoza se ha desarrollado un geo-servicio que permite la consulta y difusión de la Información Urbanística. El Servicio de Información Geográfica de dicha gerencia elaboró el Sistema de Información Geográfica para el Control, Explotación y Difusión de la Información Urbanística (denominado SIGGURZ). Su objetivo inicial era la colaboración y transferencia de información entre administraciones y la Dirección General del Catastro (Ministerio de Economía y Hacienda), pero posteriormente se ha convertido en una herramienta de uso interno, con un visor de consulta pública (http://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/oficina/siggurz.htm).

El SIGGURZ conecta con los servidores de la Oficina Virtual de Catastro permitiendo el acceso a la información catastral y la representación de mapas catastrales dentro del portal del Ayuntamiento de Zaragoza y su sistema SIGGURZ. Además de la transferencia de la información urbanística y catastral entre administraciones posibilita la conexión en sentido inverso, es decir que la Oficina Virtual del Catastro pueda integrar la información urbanística municipal en sus aplicaciones, y ofrece una información exhaustiva y completa a los usuarios

En este caso se trata de una aplicación muy técnica que permite, además de la visualización y consulta de datos urbanísticos mediante fichas (figura 3-38), la visualización e identificación de los distintos planes y desarrollo, la ubicación y características de los equipamientos, las zonas verdes, la situación solares o el acceso a la información catastral



FICHA DE INFORMACIÓN URBANÍSTICA

Información urbanística no vinculante

DATOS GENERALES

Cod.Municipal	Cod.Hacienda	Loc.Plano	Zaragoza/Barrio
76963,13070	7030824XM7163B	XM7162N	ZARAGOZA
Dirección Principal		**Dirección 2ª**	**Dirección 3ª**
CALLE COIMBRA, 4		-	-

Localización

DATOS CARTOGRÁFICOS

Superficie parcela	Superficie Cesión	
372,56	0,00	
Long. Fachada 1	**Ancho Calle 1**	**Código Calle 1**
16,28	14,84	07980
Long. Fachada 2	**Ancho Calle 2**	**Código Calle 2**
16,24	8,75	07990
Long. Fachada 3	**Ancho Calle 3**	**Código Calle 3**
22,94	9,50	07990
Long. Fachada 4	**Ancho Calle 4**	**Código Calle 4**
0,00	0,00	-
Long. Fachada 5	**Ancho Calle 5**	**Código Calle 5**
0,00	0,00	-

DATOS PLANEAMIENTO VIGENTE

Figura 3-38. Ficha de información urbanística

TUZSA (Transportes Urbanos de Zaragoza)

Aunque de capital privado es la empresa que presta en régimen de concesión el servicio de transporte público a la ciudad de Zaragoza. En los últimos años además de un geo-servicio a través de su página web o mediante consulta SMS proporciona información en tiempo real sobre la posición de la flota de autobuses y los tiempos de llegada a cada parada para otros servicios del Ayuntamiento de Zaragoza (vgr. IDEZAR) o para empresas privadas que están ofreciendo aplicaciones para dispositivos móviles.

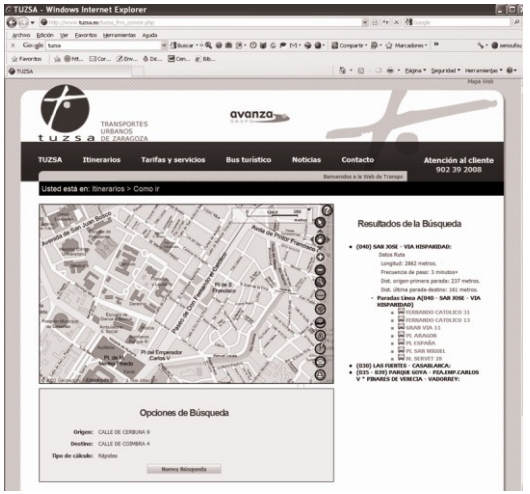


Figura 3-39. Planificación de itinerarios con el geoservicio de TUZSA.

Los geo-servicios de TUZSA (figura 3-39) son algunos de los que mayor demanda potencial van a tener por parte de la población, pues ayudarán a conocer y planificar el desplazamiento de los usuarios conociendo en tiempo real los tiempos de llegada. No obstante, actualmente una gran parte de las consultas de los tiempos e itinerarios se realizan desde dispositivos móviles que ejecutan aplicaciones desarrolladas por otras empresas (a continuación se van analizar algunos ejemplos), siendo TUZSA la que proporciona la información mediante a través de servidores de datos del ayuntamiento de Zaragoza

Aplicaciones abiertas para el fomento de la información pública del ayuntamiento de Zaragoza sobre dispositivos móviles

La oferta de datos abiertos es una iniciativa del ayuntamiento, de acuerdo con la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público, para el fomento y utilización de la información publicada en su web por parte de usuarios y empresas. Para ello se tuvo en cuenta los resultados de una encuesta iniciada en el verano de 2010 en la que se preguntaba la información que sería deseable

disponer libremente. En la mayor parte de las respuestas se solicitaba información sobre el transporte público, tiempos de desplazamientos y disponibilidad de los mismos, lo que ha llevado que la mayoría de las aplicaciones se orienten hacia este tipo de servicio. Actualmente se disponen de las siguientes (http://www.zaragoza.es/ciudad/risp/aplicaciones.htm):

- ZgzBus (http://francho.org/lab/zgzbus/).

Para móviles Android; permite consultar la información de autobuses de Tuzsa (frecuencias, líneas, paradas). También puedes fijar alarmas para que el móvil te avise antes de que llegue tu autobús

- Dónde en Zaragoza http://www.dndzgz.com/web/index.html.

Aplicación para iPhone e iPad que ubica los servicios al ciudadano más cercanos a su posición (paradas de autobús, farmacias, parking, postes de bicicletas, permitiéndote incluso navegar hasta ellos. En un futuro próximo quieren integrar todo tipo de información como bibliotecas, centros deportivos municipales, centros de mayores, ubicación de contenedores, zonas verdes, e incluso cajeros automáticos, paradas de taxis, etc.

- Vive Zaragoza. Exclusiva para Android, permite la consulta de información sobre autobuses, bicicleta y eventos como conciertos, actividades infantiles, etc. que tienen lugar en la ciudad durante ese día.
- Programa de las Fiestas del Pilar.

Tanto para iPhone, iPad o dispositivos con Android, se trata de una aplicación en realidad aumentada en la que el usuario puede filtrar la información atendiendo a el tipo de evento (cultural, lúdico, musical, religioso, deportivo, etc.) y el rango de distancia según su localización geográfica. El servicio de realidad aumentada superpone la información de los distintos eventos sobre la vista de la cámara del dispositivo móvil y facilita el desplazamiento hasta el lugar del evento tanto en automóvil como a pie.

La mayoría de estas aplicaciones se iniciaron en 2010 y muestran la tendencia que van a llevar los geo-servicios en los próximos años, sobre todo cuando confluyan en los dispositivos móviles diferente modelos de consulta y visualización enlazándose realidad aumentada, entornos virtuales, imágenes de síntesis, cartografías dinámicas e interfaces seguros mediante firma digital. Todo ello permitirá el acceso a la información y uso de múltiples servicios públicos de una manera más compleja y completa que lo que se ha conocido hasta el momento

5. Conclusiones

La administración autonómica y local aragonesa no es una excepción a la debilidad de geo-servicios en todos los niveles de la administración pública española.

El desarrollo de los geo-servicios, públicos y privados, está muy condicionado por la disponibilidad de información geográfica con la resolución y formatos adecuados. Otro factor limitante lo constituyen las elevadas exigencias de las infraestructuras y equipamiento necesarios para la gestión y trasmisión de la información geográfica, así como la complejidad inherente a ciertas operaciones de análisis espacial. Pero, tal vez, la causa principal del modesto desarrollo y de los geo-servicios en la administración pública se encuentre en la fragmentación de los departamentos y servicios y la inveterada tendencia a su funcionamiento aislado. Estas razones pueden explicar también las fases embrionarias de integración en que se encuentran los geo-servicios existentes, aunque en el último años se asiste a un aumento muy importante de en el número de consultas a través de dispositivos móviles, lo que indica un cambio de tendencia por la apuesta de las instituciones públicas por la administración electrónica.

Los geo-servicios examinados han recibido numerosas consultas y han sido valorados positivamente por los usuarios, a pesar de las limitadas opciones de interacción que ofrecen. Esta y otras experiencias avalan la creación y difusión de nuevos geo-servicios en el marco del desarrollo de la administración electrónica. El marco legal así como la información geográfica y las infraestructuras técnicas existentes en Aragón permiten que las administraciones públicas elaboren nuevos geo-servicios. Son bastantes las áreas en las que su aplicación resultaría beneficiosa para los ciudadanos y para la propia administración, en especial, en la organización de diversos servicios de emergencia, la prevención de riesgos de todo tipo, la adscripción de usuarios a ciertos equipamientos públicos y otras.

Sin embargo, la utilidad social de los geo-servicios que se lleguen a crear pasa por la necesaria cooperación entre los departamentos y servicios de la Administración implicados en su gestión y los usuarios a los que van dirigidos. La colaboración es más factible en el marco de la construcción de la administración electrónica, concebida como una de las vías para la necesaria modernización de la administración.

Referencias bibliográficas

Álvarez, P., P. Muro, et al. (2006):"IDEZar: un ejemplo de implantación de una IDE en la Administración Local",IX Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Adminsitraciones Públicas (TECNIMAP), Sevilla.

Ayuntamiento de Zaragoza-Web Municipal. (2010): Infraestructuras de datos espaciales de Zaragoza (IDEZAR).Consultada 4 octubre 2010, disponible en http://www.zaragoza.es/ciudad/idezar/index.htm.

Bhatnagar, S. C. (2004):E-government : from vision to implementation : a practical guide with case studies. New Delhi ; Thousand Oaks, Calif., Sage Publications.

Comisión Europea (2003):The Role of eGovernment for Europe's Future. Bruselas. Consultada 4 octubre 2010, disponible en http://ec.europa.eu/information_society/eeurope/2005/doc/all_about/egov_communication_en.pdf

Chaín, C. and P. Tomás (2005):"Análisis comparativo del desarrollo en Internet de los municipios españoles más poblados",Anales de Documentación, 8: 37-49.

Esteves, J. (2006):"Análisis del desarrollo del gobierno electrónico municipal en España",Revista de Empresa, 15: 86-96.

European Commission INSPIRE. Consultada 4 octubre 2010,disponible en http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm.

Faci, F. (2010): "Nuevo criterio de proximidad en la elección de centro basado en la geolocalización". XI Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas. Zaragoza, 6-9 de abril. Consultada el 4 de enero de 2011,

http://www.tecnimap.es/sites/default/files/webform/Nuevo%20criterio%20de%20proximidad%20en%20la%20elecci%C3%B3n%20de%20centro%20basado%20en%20la%20geolocalizaci%C3%B3n.doc

Fernández, M. J., M. J. Pérez-Pérez, et al. (2010):"IDEZar 2.0: interacción, usabilidad y accesibilidad", XI Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas. Zaragoza, 6-9 de abril. Consultada el 4 de enero de 2011.http://www.tecnimap.es/sites/default/files/webform/Ayuntamiento_Zaragoza_IDEZar_2.0.pdf

Fountain, J. E. (2001):Building the virtual state: information technology and institutional change. Washington, D.C., Brookings Institution Press.

Garson, G. D. (2000):Social dimensions of information technology : issues for the new millennium. Hershey ; London, Ideas Group.

Gobierno de Aragón. (2010): "Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Portal de Centros Educativos.". Consultada el 4 de enero de 2011, disponible en http://www.centroseducativosaragon.es/Public/default.aspx.

Gobierno de Aragón (s/f):I Plan Director de Infraestructuras de Telecomunicaciones en Aragón, Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad. Consultada el 4 de enero de 2011, disponible en http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/24/docs/Areas%20generica/Publica/I_PLAN_DIRECTOR_INFRAESTRUCTURAS_TELECOM_ARAGON.pdf

Gobierno de Aragón (s/f):Plan de Administración Electrónica del Gobierno de Aragón. D. d. Presidencia. Zaragoza, Gobierno de Aragón.

Gobierno de Aragón (s/f):Plan Director para el desarrollo de la sociedad de la información en la Comunidad Aragón 2.0.

Grönlund, A. A. (2001):Electronic government: design, applications and management. Hershey, PA, Idea Group Publishing.

Grönlund, A. A. (2004): State of the Art in E-Gov Research. A survey. EGOV 2004, Heidelberg, Springer.

Mas, S., A. García, et al. (2010):"CartoCiudad: Una apuesta colaborativa de las Administraciones Públicas en el ámbito delos callejeros",XI Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas, Zaragoza, 6-9 de abril. Consultada el 4 de enero de 2011, disponible en http://www.tecnimap.es/sites/default/files/webform/352%20Cartociudad_Tecnimap.pdf

Millard, J., J. Shahin, et al. (2009):i2010 eGovernment Action Plan. Progress study (SMART 2008/0042). Final Report. Bruselas, European Commisison. Information Society and Media.Consultada el 4 de enero de 2011, disponible en http://www.dti.dk/_root/media/37436_i2010%20eGovernment%20Action%20Plan%20-%20Progress%20Study.pdf

Osborne, D. and T. Gaebler (1992):Reinventing government : how the entrepreneurial spirit is transforming the public sector. Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co.

Pérez-Pérez, M. J., P. Rodrigo, et al. (2009):"IDEZar 2.0 para la Administración y Gestión de Datos Espaciales de España",JIDEE, Murcia.

Portolés-Rodríguez, D., P. Álvarez, et al. (2005): "IDEZar: an Example of User Needs", Technological Aspects and the International Framework of a Local SDI. 11th EC-GI&GIS Workshop: ESDI: Setting The Framework, Alguero, Cerdeña.

Rivera, E. (2003):Nueva economía, gobierno electrónico y reforma del Estado. Chile a la luz de la experiencia internacional. Santiago, FLACSO-chile, Editorial Universitaria.

Scholl, H. J. (2009):Profiling the EG research community and Its core. 8th International Conference, EGOV 2009. Linz, Austria, Springer.

Tapscott, D. (1996):The digital economy: promise and peril in the age of networked intelligence. New York ; London, McGraw-Hill (Traducción: la economía digital, 1997, MCGraw-Hill, Bogotá).

Traunmüller, R. and M. A. Wimmer (2005): "Online One-stop Government",Wirtschaftsinformatik, 47(5): 384.

Wimmer, M. A. (2001):European Development Towards Online One-stop government: The "eGOV" Project. Viena,ICEC.

Wimmer, M. A., R. Traunmüller, et al. (2001):"Electronic Business Invading the Public Sector: Considerations on Change and Design",Procedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Siciences (HICSS-34), Maui, Hawaii, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

ELABORACIÓN DE UN SIGMA COMO HERRAMIENTA BASE PARA EL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO Y TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TEQUIXQUIAC, EDO. DE MÉXICO

Mónica Chico Avelino[1], Raymundo Montoya Ayala[2]

RESUMEN

Se elaboró un Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA), como base para el Ordenamiento Ecológico y Territorial. Se obtuvo la base de datos geo-referenciada y se elaboró la cartografía de los factores biológicos, físicos y socioeconómicos. Utilizando la base de datos se realizaron tres estudios de caso para demostrar su funcionalidad; riesgo de incendio, análisis de la calidad de la vegetación y la localización optima de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos. Se concluye que el SIGMA es funcional como base de datos, que la información es compatible y puede ampliarse o actualizarse y se puede utilizar en estudios posteriores de ordenación territorial y toma de decisiones. En la aplicación de los casos se sugiere la reforestación en el municipio para favorecer la recarga de acuíferos, y se concluye que existe un riesgo alto de incendio en el municipio, que la calidad de la vegetación es alta pero se puede mejorar y que el área óptima para la localización del VRSU se localiza al Noreste del Municipio, con una superficie de 144.4 has.

Palabras Clave: SIG, SIGMA, Ordenamiento Ecológico y Territorial, Tequixquiac.

ELABORATION OF A GISE AS A BASE FOR THE PROGRAM OF ECOLOGICAL AND TERRITORIAL ORDERING OF THE TEQUIXQUIAC MUNICIPALITY, STATE OF MEXICO

ABSTRACT

An Environmental Geographic Information System (GISE) was developed as support for the Ecological and Territorial Ordering. The geo-referencing database was obtained, and the biological, physical, and socioeconomic factors were evaluated with cartography. Three case studies were carried out to demonstrate their functionality, fire risk, analysis of the quality of the vegetation and the optimum location of a Garbage dump of Urban Solid Residues. It was concluded that SIGMA is functional as database, and the information is compatible; it can be extended or updated by itself and can be used in later studies of territorial planning and decision-making. In the application of the cases, the reforestation in the municipality is strongly suggested to favor the charge of water. Indeed, there is a high fire risk in the municipality diminishing the quality of the vegetation, and the optimal area for the location of the VRSU is located to the Northeast of the Municipality, with a surface of 144, 4 hectares.

Key words: *GIS, GISE, Ecological and Territorial Ordering, Tequixquiac*

FES Iztacala, UNAM. Av. de los barrios, No. 1, Col. Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. CP. 54090. [1]vocesantiguas@hotmail.com,[2]lcazallas@terra.es

1. Introducción

En los últimos años, la preocupación por los problemas ambientales ha crecido como consecuencia del deterioro acelerado de la calidad de vida. Después de muchas décadas de explotación intensa y acelerada de los recursos naturales, nuestro territorio muestra grados significativos de perturbación en los ecosistemas que lo componen. Es por eso que México debe contar con más y mejor información sobre las necesidades de desarrollo de la capacidad relacionada con los aspectos ambientales, la cual vincula entre sí los ámbitos natural, social e institucional del desarrollo, para identificar los conflictos inherentes y conducir el proceso hacia el desarrollo sustentable (Delgado y Rodríguez, 1996, 5).

Para lograr el desarrollo sustentable se han establecido ciertas estrategias tanto políticas como ecológicas que comprenden principios metodológicos para alcanzar estos objetivos como son los programas de ordenamiento ecológico y territorial.

El Ordenamiento Ecológico y Territorial puede definirse como el conjunto de criterios, normas y planes que regulan las actividades y asentamientos sobre el territorio con el fin de conseguir una adecuada relación entre territorio, poblaciones, actividades, servicios e infraestructuras y el ambiente, y así contribuir a la mejora del estilo de vida, la gestión responsable de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y utilización racional del territorio (Gómez, 2002, 30).

Al hablar de Procesos de Ordenamiento Ecológico del territorio es conveniente mencionar la totalidad de las modalidades en las que se pueden presentar estos, así como sus características más sobresalientes y la distribución de competencias. De esta forma, la LGEEPA en sus artículos 5° fracción IX, 7° fracción IX, 8° fracción VIII y los artículos 19 Bis al 20 Bis 7, establece las siguientes modalidades: Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT), Programa de Ordenamiento Ecológico Marino (OEM), Programa de Ordenamiento Ecológico Regional (OER), Programa de Ordenamiento Ecológico Local (OEL).

Programa de Ordenamiento Ecológico Local (OEL). Abarca la totalidad o parte del territorio del Municipio. Tienen como objetivo determinar el diagnóstico de las condiciones ambientales y tecnológicas, así como regular los usos del suelo fuera de los centros de población. En ellos se establecen los criterios de regulación ecológica de los centros de población, para que sean integrados en los programas de desarrollo urbano con carácter obligatorio para las autoridades municipales. El procedimiento que se debe cubrir, para la formulación del Ordenamiento ecológico y territorial al nivel municipal según la INE-SEMARNAT-SEDESOL (2005), comprende 5 etapas consecutivas: Caracterización, Diagnóstico, Pronóstico y prospectiva, Propuesta e Instrumentación.

Sin embargo para este trabajo la que corresponde es la fase de caracterización, la cual tiene como objetivo integrar un Sistema de Información para el Ordenamiento Ecológico y Territorial Municipal (SIOETM), con los insumos y subproductos cartográficos y estadísticos necesarios, organizados por subsistemas, que permitan llevar a cabo las etapas subsecuentes y desarrollar una propuesta de Ordenamiento con uno sustento técnico sólido.

Todos los municipios del país requieren del conocimiento del estado actual de sus recursos naturales para potenciar su conservación, debido a que se ha desarrollado una alta explotación y presión humana sobre los recursos naturales, que los han llevado a un estado de degradación que debe ser frenado y aminorado.

Como consecuencia de esto es frecuente la recopilación, tratamiento y análisis de la información para una investigación ambiental que resulta laboriosa, compleja y costosa. Por tal motivo es importante promover y ejercitar nuevas tecnologías geográficas de manejo y gestión territorial. Cabe mencionar que la información ambiental suele ser a su vez información geográfica, por lo tanto los Sistemas de Información Geográfica tiene actualmente una principal aplicación en temas ambientales a través de la generación de cartografía temática que apoye en el proceso.

Un SIG puede definirse como una base de datos que permite evaluar, analizar y representar dichos datos de forma espacial. Sin embargo esto depende del autor que se cite, por ejemplo Cebrian (1988, 277), lo define como "una base de datos computarizada que contiene información espacial". Por su parte Barredo (1996, 3), comenta que "un SIG es un modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la tierra, establecido para satisfacer necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concretas".

En un SIG, los objetos espaciales pueden entenderse como la representación de los hechos espaciales en una capa temática. Los objetos se representan en función de los distintos tipos de unidades de observación que se pueden distinguir en la realidad (Cebrian 1988, 290); a partir de las propiedades geométricas de un hecho real, obtenemos en un principio los datos geográficos contenidos en ella, con lo cual se lleva un proceso de abstracción y discretización de una información originalmente continua pudiendo luego, dependiendo del modelo de datos que utilicemos, representar los objetos por medio de puntos, líneas y áreas, en un modelo de datos vectoriales, o celdas en un modelo ráster.

Los Sistemas de Información Geográfica tienen actualmente una principal aplicación en temas ambientales, que tiene un gran potencial y su uso va aumentando al igual que su diversificación.

Una importancia del uso de los SIG es su capacidad de manejar información de todo tipo de temáticas y sobre todo su aplicación práctica para diversos tipos de estudios en el ámbito territorial, ya sean descriptivos o prescriptivos. Desde estudios que tienen como objetivo informar sobre características para conocer el estado en el que se encuentran los recursos hasta concretar recomendaciones para dirigir las decisiones a tomar en cuanto a ciertas problemáticas ambientales, que también confieren a la actividad humana que depende de ellas. Es por ello que para este trabajo se ha considerado la aplicación de tres modelos a partir de la utilización del SIGMA.

Es así como en este proyecto se ha definido a un Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA), como una base de datos geo-referenciada en la cual se incluyen datos físicos, biológicos, socioeconómicos y ambientales que nos permite obtener cartografía temática, es decir, podría entenderse como el proceso de caracterización de un territorio en el cual se integra toda la información existente de dicho territorio con el fin de tener un conocimiento de los recursos para así poder establecer estrategias de gestión y manejo de los recursos naturales y ambientales.

2. Antecedentes

En 1997 la Secretaria de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Gobierno de Jalisco, realizó el Modelo de Ordenamiento Ecológico Territorial y un Sistema de Información Geográfica Ambiental (SIGA), en el cual se puede consultar en línea la Información Cartográfica Digital del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco a Escala 1:250,000. Entre los resultados más importantes, para la gestión de los recursos naturales, está la cartografía de zonas prioritarias para la conservación en el estado. El estudio, al igual que la cartografía generada como resultado de este Modelo de Ordenamiento Ecológico, se realizó a Escala 1:50,000, y entre la cartografía base utilizada se encuentran las zonas urbanas, los Límites Municipales, Carreteras Federales y Estatales, censos poblacionales y Curvas de Nivel, entre otros.

La Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México en 1999, llevó a cabo el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México el cual se realizó en cinco fases. La primera de ellas fue la descriptiva en el cual se abarcaron los subsistemas del medio físico, social y económico. La otra fase fue la de diagnóstico, en el cual se evalúo la calidad y estado del aire, suelo, agua, recursos bióticos (flora y fauna), usos de suelo como ganadería, agricultura, silvicultura e industria. Fase de regionalización en donde se establecieron niveles de regionalización y tipificación ecológica. La fase propositiva en el establecimiento de zonas de atención prioritaria, factibilidad ambiental, modelo de ordenamiento ecológico del territorio y criterios de regulación ecológica. Y por último la fase de gestión e instrumentación, instrumentos de control, regulación, fomento, coordinación, económicos y de planeación por municipio.

La elaboración de un SIGMA tiene como propósito contribuir en la orientación y planeación del desarrollo de las actividades humanas con el fin de contribuir al ordenamiento como un instrumento para el fomento del desarrollo de actividades productivas y mejora del medio ambiente, es por ello que se plantean los siguientes objetivos para este proyecto.

Objetivo general

Elaborar el Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA) que sirva como base para la caracterización en el desarrollo del Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Tequixquiac, Edo. de México.

Objetivos Particulares: Generar la base de datos y la cartográfica de los factores biofísicos y socioeconómicos del municipio, Determinación del riesgo de incendio potencial, Realizar el análisis de la calidad de la vegetación, Evaluar la localización más optima para un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos, en el Municipio de Tequixquiac.

3. Materiales, datos y métodos

Para la elaboración del SIGMA se realizó una base de datos en formato digital para lo cual se recabó la información hasta el momento existente sobre el Municipio de Tequixquiac, consultando fuentes como INEGI, IGECEM, SMN-CNA y CONABIO en la que se incluyeron factores Físicos, Biológicos y Socio-económicos.

Climatológicos

Se hizo la recopilación de factores como Temperatura Máxima Normal Anual (°C), Precipitación Normal Anual (mm), Evapotranspiración Normal Anual (mm), entre otros. Con esta información, se realizaron una serie de interpolaciones, mediante el método IDW, el cual toma cada uno de los puntos ,los cuales tienen una influencia local que disminuye con la distancia, une los puntos más cercanos a los puntos que se encuentran más lejos, creando así datos continuos para cada elemento con la ayuda del programa ArcView GIS 3.1, en el cual se importó la base de datos en formato DBASE IV elaborada a partir de la consulta de 27 estaciones meteorológicas con influencia en el municipio de Tequixquiac.

Socio-económicos

Algunos de los aspectos socio-económicos que se incluyeron en el SIGMA fueron Densidad Poblacional, Población Femenina y Masculina, Población perteneciente al Sector Primario, Secundario y Terciario, Población Analfabeta de 15 años, Población que no asiste a la escuela de 6 a 14 años, Grado de Escolaridad, Hogares con Jefatura Femenina y Masculina. A partir de esta información se obtuvieron los crecimientos poblacionales en porcentaje del año 2000 al 2005.

3.1. Casos de Estudio

Determinación del riesgo de incendio potencial

El riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002, 55).

Un incendio es una reacción química la cual necesita calor, oxígeno y combustible para que se inicie y continué. Cuando un fuego incontrolable inicia en un espacio de vegetación natural se convierte en un incendio forestal. Sin embargo, la probabilidad de que esto suceda depende de las causas de ignición y las precondiciones medioambientales, entre estas están la calidad y distribución del combustible, el agua y factores humanos (Juárez, 2008, 13). Se realizó a partir de la modificación del modelo de Montoya *et al*., 2008, el cual se centró en la probabilidad de que inicie el fuego y a la facilidad de que se propague. Para que se inicie y propague un incendio son necesarios tres elementos: el combustible, un comburente y una fuente de calor que inicie el proceso de combustión. A continuación se analizan los distintos factores que influyen en su desarrollo. Vegetación, constituye la fuente de combustible de los incendios, tomando en cuenta las características propias de las especies vegetales existentes que caracterizan su combustibilidad (presencia de gomas, aceites o resinas, follaje inflamable) y aquellos aspectos de la estructura de las formaciones vegetales que favorecen el inicio e intensidad del incendio. En función de este elemento se reclasificó el mapa de vegetación y usos del suelo para obtener una cartografía de la combustibilidad Intrínseca de la vegetación, partiendo de la clasificación propuesta (Tabla 3-27).

Tabla 3-27. Clasificación de la vegetación, a partir de su combustibilidad intrínseca,

Tipos de Vegetación	Combustibilidad intrínseca	Valor
Agricultura de riego y Zonas Urbanas	Baja	1
Agricultura de temporal	Media	2
Matorral Xerófito	Alta	3
Pastizal y Bosque	Muy alta	4

Nota: valores de 1 para los riesgos más bajos y 4 para los riesgos más altos.

Características físicas locales: exposición y fisiografía. Para esto se deben incluir dos tipos de factores: los climáticos y los ligados al relieve. Los factores climáticos son determinantes en el desarrollo de un incendio; por una parte condicionan las especies que pueden vivir en un determinado lugar y por tanto determinan el tipo de biomasa combustible, y por otra modifican el contenido en humedad. En este caso se consideraron la Precipitación, Temperatura y Evapotranspiración, haciendo promedios de dos semestres por año de enero-junio (primer semestre) y julio-diciembre (segundo semestre). Se obtuvo el mapa de Componentes meteorológicos a partir de las reclasificaciones establecidas (Tabla 3-28 y 3-29).

Tabla 3-28. Clasificación de la temperatura para el riesgo de incendio del Municipio de Tequixquiac.

Temperatura °C	Evapotranspiración mm	Clase
0 – 4.9	80-100	1
4.9 -8.9	60-80	2
8.9 – 12.9	40-60	3
12.9 -16.9	20-40	4
16.9 – 20.9	0-20	5

Tabla 3-29. Clasificación de la precipitación para el riesgo de incendio del Municipio de Tequixquiac.

Precipitación mm	Clase
80-100	1
60-80	2
40-60	3
20-40	2
0-20	1

Los factores ligados al relieve utilizados han sido la exposición y la fisiografía. La exposición condiciona el grado de humedad local. En las zonas más expuestas al sol, hay menos humedad y el calor acumulado genera una brisa desde los valles hacia las cumbres, que favorece la

propagación de un posible fuego. La exposición se clasifica en función del grado de humedad que conlleva. Las exposiciones oeste y norte o noroeste presentan un grado de humedad máximo, mientras que las solanas están afectadas por vientos desecantes del sur (Tabla 3-30). El comportamiento de un incendio está muy influenciado por la diferente configuración del terreno, siendo más agresivo en cañones y vaguadas cuando el viento sigue su dirección; en cumbres muy quebradas por esperarse remolinos a sotavento. El incendio es más débil en cerros donde el cambio de rasante dificulta el avance, o en los llanos donde su avance es más lento; en función de esto se propuso la reclasificación que se puede observar en el Tabla 3-31.

Tabla 3-30. Clasificación de la exposición para el riesgo de incendio del Municipio de Tequixquiac

Clase 1.	Exposiciones N, NO, O
Clase 2.	Exposiciones E, NE, T. V.
Clase 3.	Exposiciones S, SE, SO

Tabla 3-31. Clasificación de la geomorfología en clases fisiográficas en cuatro clases.

Geomorfología	Fisiografía	Valor
Laderas irregulares, aluvial coluvial, coluvial, terrazas, terrazas degradadas, escarpe de terrazas y cono de deyección.	Formas de fondo de valle	1
Laderas planas, pendientes convexas.	Formas de ladera irregular	2
Vertientes, vertientes irregulares, pendiente, rellanos y aluvial.	Formas de ladera plana	3
Planicies culminantes, divisorias, crestas, collados o puertos, cerros residuales y lomas residuales.	Superficies culminantes	4

Distancia a usos de riesgo**.** La práctica de usos de riesgo se ha considerado en función de los usos Agrícolas y Ganaderos y cualquier otro que represente una actividad antrópica. El riesgo se considera a partir de la distancia de ese uso al resto del territorio. Distancia a vías de comunicación. La probabilidad de que una fuente de calor inicie un incendio aumentará con la accesibilidad del punto. Dicha accesibilidad se estima en función de la distancia a vías de comunicación, partiendo de la clasificación pospuesta por Montoya *et al.*, 2008 (Tabla 3-32).

Tabla 3-32. Clasificación del riesgo de incendio del Municipio de Tequixquiac considerando distancias

Clase	Respecto a usos agrícolas y ganaderos	Respecto a vías de comunicación
Clase 1.	Distancia de 0 a 400 m	Distancia de 0 a 400 m
Clase 0.	Distancia > 400 m	Distancia > 400 m

Pendiente. Si se quiere analizar no sólo la probabilidad de inicio de un fuego si no su facilidad para propagarse, es necesario contemplar otro tipo de factores como la pendiente, estimando la velocidad de propagación del incendio a partir de la pendiente, entonces a mayor pendiente, mayor velocidad de propagación y por tanto mayor riesgo de incendio, estableciendo así una reclasificación (Tabla 3-33).

Tabla 3-33. Clasificación de la distancia a vías de comunicación para el riesgo de incendio del Municipio de Tequixquiac.

Clase 1.	**Pendiente < 4.5 °**
Clase 2.	Pendiente entre 4.5° y 9°
Clase 3.	Pendiente entre 9° y 18°
Clase 4.	Pendiente entre 18° y 45°
Clase 5.	Pendiente>45°

A partir de cartografía incorporada y digitalizada en el SIGMA, y tomando como base los factores y clasificaciones consideradas, se tiene el esquema propuesto para el desarrollo del modelo y la integración de estos aspectos del medio, como se observa en la figura 3-40.

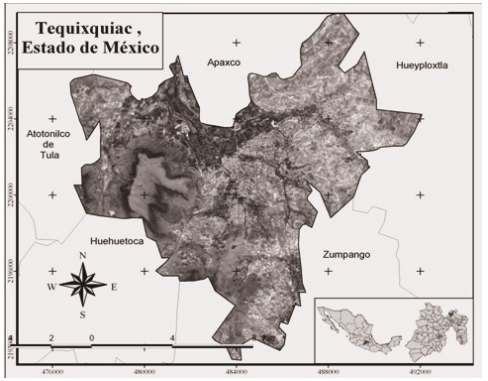


Figura 3-40. Localización del área de estudio, mostrando la colindancia de Tequixquiac
Fuente: Marco Geoestadístico Municipal.

Valoración de la calidad de la vegetación

La calidad se entiende como grado de excelencia o cualidad para no ser alterado o destruido, en este caso, las unidades de vegetación presentes en el territorio. Para este estudio el modelo que se empleó fue modificado de Montoya *et al*., 2001, en el se valoraron dos factores: la etapa sucesional y la singularidad de la vegetación.

Etapa sucesional. Se refiere a las secuencias naturales, en las cuales un organismo o grupo de organismos reemplaza a otro en un hábitat tendiendo a una etapa hipotética llamada clímax, la cual representa el final del proceso de colonización de un medio con características determinadas. Aquellos medios con mayor acercamiento a su estado de clímax poseerán una estructura más compleja y estable y mejor adaptada a las condiciones ambientales. Se admite, por tanto, que a mayor acercamiento al clímax, mayor calidad. Se asignó a cada tipo de vegetación encontrado un valor entre el 1 y el 4, siendo la clase 4 la de mayor proximidad al clímax y la clase 1 la de menor. Quedando excluidas de esta valoración las Zonas Urbanas, por carecer de vegetación continúa (Tabla 3-34).

Tabla 3-34. Clasificación de la vegetación en función de su etapa sucesional

Clase	Unidad de vegetación
1	Agricultura de temporal
2	Agricultura de riego
3.	Pastizal
4	Matorral Xerófito y Bosque

Tabla 3-35. Clasificación de la vegetación en función de la singularidad

Clase	Unidad de vegetación
1	Agricultura de temporal, Agricultura de riego y Pastizal
2	Matorral Xerófito y Bosque Fragmentado

Singularidad. Se ha incluido en este criterio la presencia de endemismos y de formaciones raras. Se considera un endemismo como aquella especie que aparece exclusivamente en un determinado territorio de extensión variable. La rareza indica la abundancia relativa de las distintas formaciones vegetales, dentro del área de estudio. Considerando esto se ha asignado a cada tipo de vegetación inventariado dos valores, siendo la clase 2 de mayor calidad (Tabla 3-35).

Para la determinación de la calidad de la vegetación se han integrado los aspectos de singularidad y de nivel de sucesión, tomando como base la cartografía de Vegetación y usos de suelo, incorporada al SIGMA, dicha integración se muestra en la Figura 3-41.

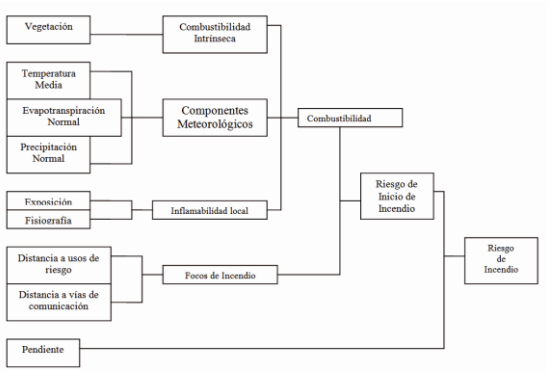


Figura 3-41. Integración temática para el modelo de calidad de la vegetación.

El desarrollo de las actividades cotidianas dentro de la sociedad se encuentra ligado con la generación permanente de desechos sólidos. Los residuos sólidos urbanos (RSU), más comúnmente denominados basura, son todos aquellos materiales provenientes de la actividad humana y que el ser humano desecha diariamente (Hernández *et al.*, 1999, 1).

El siguiente propuesto fue tomado y modificado de Martínez-Alegría *et al.*, 2000 y Martínez-Graña *et al.*, 2005. Los aspectos del medio considerados en la realización del trabajo de la capacidad para la localización de VRSU en el municipio son los siguientes.

*Pendiente***.** Las zonas más llanas tienen mayor capacidad para la construcción del vertedero de residuos sólidos urbanos. Por otro lado, las zonas con pendientes superiores al 15° de pendiente se han excluido al considerar que no tienen capacidad para albergar estas instalaciones (Tabla 3-37).

Tabla 3-37. Clasificación de la pendiente para la localización del VRSU del Municipio de Tequixquiac.

Clase 0.	**Pendiente mayor de 15°**	**Excluyente**
Clase 1.	Pendiente entre 9 ° y 15 °	**Menor capacidad**
Clase 2.	**Pendiente menor de 9°**	**Mayor Capacidad**

Capacidad portante. Las litologías presentes en la zona se han agrupado en dos clases en función de la capacidad portante para la instalación del VRSU, estableciendo una reclasificación para este factor (Tabla 3-38).

Tabla 3-38. Clasificación de las litologías para obtener la capacidad portante para la localización del VRSU del Municipio de Tequixquiac.

Clase 1.	Menor capacidad: Aluviales, coluviales y mixtos aluviales-coluviales
Clase 2.	Mayor capacidad: Rocas ígneas, metamórficos (por fracturación) y los restantes terrenos cuaternarios

Distancia a vías de comunicación. Cuanto menor es la distancia más fácil y barato será el transporte de los RSU y el acceso al posible Vertedero. Se formuló una clasificación del territorio según la distancia a carreteras principales o secundarias (Tabla 3-39).

Tabla 3-39. Clasificación de las vías de comunicación para establecer la distancia a estas para la localización del VRSU.

Clase 0.	No Apto: Más de 2 km de cualquier carretera.
Clase 1.	Entre 1 y 2 Km a carreteras locales (terracería).
Clase 2.	Menos de 1 Km a carreteras locales (terracería).
Clase 3.	Entre 1 y 2 Km a carreteras generales o vías rápidas (asfaltadas).
Clase 4.	Menos de 1 Km a carreteras generales o vías rápidas (asfaltadas).

Distancia a los recursos hidrológicos (ríos y cuerpos de agua). Se clasifican planteando dos clases según el caudal de los recursos hidrológicos y la distancia a los cursos de agua superficial (Tabla 3-40). Distancia a fallas y fracturas. Una falla es una grieta en la corteza terrestre, y a partir de estas pueden ocurrir ciertos movimientos a lo largo de ellas. Por tanto, es un factor de restricción para el establecimiento del VRSU, ya que no se puede establecer en zonas de fallas por el riesgo de contaminación en los mantos freáticos. En función de las fallas se propone clasificar el territorio en dos clases (Tabla 3-41). Área de Amortiguamiento de los Núcleos Urbanos. Dado que este tipo de instalaciones generan ciertas problemáticas, ya que en el proceso de descomposición se forman lixiviados que traen consigo la producción de importantes cantidades de gases y como consecuencia de olores, aunado a los efectos sobre la salud pública y por la contaminación ambiental, lo cual provoca un cierto rechazo social, en función de esto se propuso una reclasificación (Tabla 3-40).

Tabla 3-40. Valor de aptitud considerando las distancias

Valor	Clase	Respecto a recursos hidrológicos	Respecto a fracturas	Respecto a núcleos urbanos
0	No apto	Menor a 400 m de un río.	Menor a 1 Km de las fallas y fracturas	**Menor a 1 Km a los núcleos urbanos**
1	**Apto**	**Mayor a 400 m de un río.**	**Mayor a 1 Km de las fallas y fracturas**	**Mayor a 1 Km a los núcleos urbanos.**

Vegetación y usos del suelo. Este elemento se considera en cuanto al uso del suelo, de forma que como primer paso, en el modelo se excluyen las zonas cuya superficie está ocupada de forma mayoritaria por las unidades protegidas e importantes de la vegetación y usos del suelo. Esto condiciona en gran medida las posibilidades de instalación, ya que no es posible instalar VRSU sin cambiar las actividades actuales. En algunos casos la legislación vigente y el planeamiento urbanístico establecen la limitación para su desarrollo. Para este factor se establecieron 4 clases (Tabla 3-41).

Tabla 3-41. Clasificación de la vegetación y usos de suelo para la localización del VRSU del Municipio de Tequixquiac.

Clase 0.	No apto: Zonas Urbanas Excluyente.
Clase 1.	Menor aptitud: Bosque fragmentado
Clase 2.	Matorral Xerófilo
Clase3.	Mayor aptitud: Agricultura de riego, Agricultura de temporal y Pastizal.

Tomando como base la cartografía temática concentrada en el SIGMA se procedió a la integración partiendo de los criterios y clasificaciones ya mencionados, la cual se muestra en la Figura 3-42.

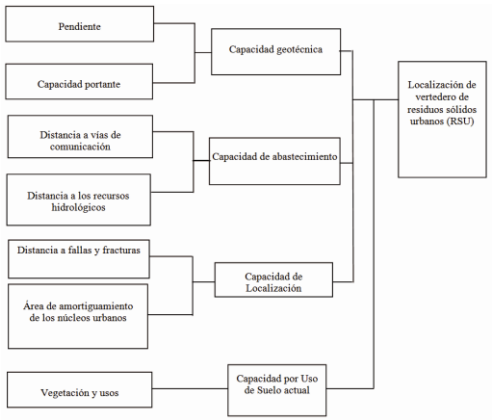


Figura 3- 42. Modelo para la localización óptima de vertedero de residuos sólidos urbanos (VRSU), del Municipio de Tequixquiac, en el cual se muestra el emplazamiento de la información partiendo de los criterios considerados.

Delimitación espacial

El municipio de Tequixquiac se localiza al norte del Estado de México, a 120 kilómetros de la ciudad de Toluca y se localiza en las coordenadas UTM latitud norte 2, 195, 618 m mínima, 2, 206, 853 m máxima, longitud oeste 493,892 m mínima, 476, 311 m máxima. Limita al norte con el municipio de Apaxco y municipio de Hueypoxtla, al sur con el municipio de Zumpango; al poniente con el municipio de Huehuetoca y el estado de Hidalgo (figura 3- 1). El municipio cuenta con una extensión de 141.28 km2, que representan el 0.63% del territorio estatal. La vegetación dominante en este municipio es el Bosque, siendo el Feozem la unidad de suelo que más superficie comprende.

Delimitación Temporal

La recopilación y elaboración del SIGMA, además del desarrollo de los casos aplicados, se realizó en un período que comprendió de octubre del año 2008 concluyendo en enero del 2010.

La información con la cual se realizó el SIGMA es proveniente de diversas fuentes y como consecuencia, de diferentes temporalidades.

En cuanto a la información base que se incorporó al SIGMA como son Vegetación y usos de suelo, Hidrología, Edafología, Litología, Infraestructura, es información del año 2003, que se obtuvo del IGECEM.

La información climatológica consiste en datos de elementos del clima de un intervalo de 30 años (1970 – 2000) de las estaciones meteorológicas correspondientes al área de estudio del Sistema Meteorológico Nacional- CNA, mientras que los datos de los aspectos socio-económico y culturales fueron de los años 2000 y 2005 de los censos poblacionales de INEGI.

3.2 Los datos

Con el fin de compilar la información hasta el momento existente del Municipio de Tequixquiac para la elaboración del SIGMA, los insumos y productos mínimos necesarios para desarrollar la caracterización utilizados fueron los siguientes:

Cartografía Básica: Climatología (SMN-CNA), Litología, Hidrología, Edafología, Vegetación y usos de suelo, Núcleos Urbanos, Vías de Comunicación (IGECEM, 2003), Modelo Digital de Elevación. Factores Socioeconómicos (INEGI 2000 y 2005). La escala de trabajo fue 1:50,000. El producto fue la base de datos generada, el programa que se utilizó fue el Sistema de Información Geográfica Arc View GIS Versión 3.1.

3. Descripción y análisis de resultados

Dentro de los principales resultados generados fueron la elaboración de la base de datos y la cartografía de los factores incorporados en el SIGMA, con el fin de que estos contribuyan a la toma de decisiones sobre diversas temáticas.

En cuanto a la vegetación que presenta el municipio de Tequixquiac se tiene que los principales tipos de vegetación son: el Bosque Fragmentado que representa el 30.49 % del territorio, mientras que el Pastizal representa el 23.13 % del territorio. El Matorral Xerófilo, el cual abarca un 17.05 %, la agricultura de riego y de temporal cubren el 9.05 % y 5.99 respectivamente. Las áreas reforestadas corresponden a sólo el 2.24 % del territorio, mientras que el resto del porcentaje del territorio es de zonas urbanas representando el 12.05 % del territorio

municipal (figura 4). Es importante mencionar que la vegetación se encuentra fragmentada, que el mayor porcentaje de la población se dedica al sector terciario o de servicios, además de que el municipio no cuenta con los suficientes recursos hidrológicos, se recomienda reforestar con especies de pino y encino propias de la región.

En cuanto a los recursos hidrológicos. Tequixquiac no cuenta con cuerpos de agua. Se sabe que el más cercano al centro de Tequixquiac se sitúa en el Municipio Hueypoxtla a 8.731 Km de distancia. Sin embargo cuenta con un amplio número de ríos de 2do nivel de temporal, lo que nos sugiere que el Municipio cuenta con muy pocos recursos hidrológicos, los cuales son insuficientes para las actividades agrícolas. Dada esta situación las actividades de reforestación en las zonas con menos calidad en la vegetación podrían contribuir a la recarga de acuíferos.

A partir de la información obtenida se encontró que en cuanto a los tipos de suelos para Tequixquiac se encuentran principalmente el Feozem que comprende el 40.84 %, mientras que el Vertisol representa el 37.74 % y por último el Cambisol con un 21.42 % del territorio (figura 3-43). Considerando que el Feozem es la unidad de suelo que más área abarca en el municipio, sería conveniente que se buscaran alternativas de cultivos que sean altamente productivas en este tipo de suelo o forestales para poder incrementar este tipo de vegetación.

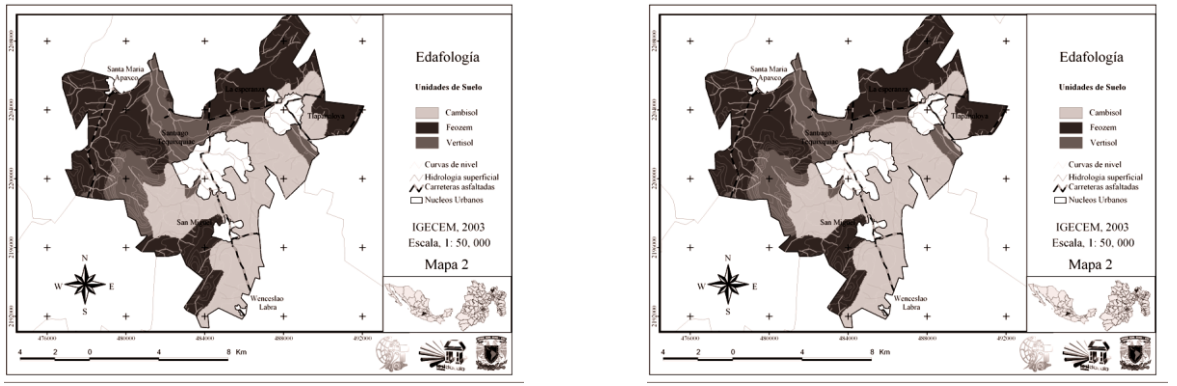


Figura 3-43. Edafología y vegetación del área de estudio.

Factores Climáticos

En cuanto a los factores climáticos a partir de la base de datos se realizaron interpolaciones de los factores climatológicos de 24 estaciones aledañas y 3 pertenecientes al Municipio (Estación "El Tajo", "Tlapanaloya" y "La Mora") y también se realizó su cartografía de estos, la cual se presenta en la figura 3-44. Así mismo se calcularon los promedios de los valores Mínimos y Máximos de Temperatura obtenidos de dichas interpolaciones, como se muestra en la Tabla 3-43.

Tabla 3-42. Valores mínimos y máximos en °C de las temperaturas

Temperatura	Valor Mínimo °C	Valor Máximo °C
Mínima Normal Anual	6	6.91
Media Normal Anual	14	15.47
Máxima Normal Anual	22	25
Mínima Diaria	-4.79	-1.38
Máxima Diaria	29.61	34.99
Mínima Mensual	2.85	3.64

Fuente: Datos de Temperatura 1970- 2000. Sistema Meteorológico Nacional.

Para la Temperatura Máxima Normal, se registraron para los meses de abril y mayo las más altas temperaturas con valores de 24 a 28 °C, mientras que para la Temperatura Mínima Normal los valores más bajos se registraron en el mes de enero y febrero con 6 a 6.9 °C. Se realizaron las interpolaciones para las precipitaciones y para la evapotranspiración de las cuales se obtuvieron los valores mínimos y máximos que se representan en la Tabla 3-43.

Tabla 3-43. Valores mínimos y máximos de las precipitaciones y la evapotranspiración

	Valor Mínimo mm	Valor Máximo mm
Precipitación Normal Anual	570.61	849.97
Precipitación Máxima Diaria	37.36	48.54
Precipitación Máxima Mensual	103.83	166.90
Evapotranspiración Normal Anual	1521.63	1684.51

Fuente: Datos de Precipitación y Evapotranspiración 1970-2000. Sistema Meteorológico Nacional

Se identificó que el mes de febrero es el que registró la precipitación más baja con valores de 5 a 10.99 mm, mientras que julio fue el mes que presentó mayor precipitación con valores de 113.27 a 181.99 mm. Sin embargo al obtener mapas continuos de precipitación se observa que los meses en los que más llueve son junio, julio, agosto y septiembre, por lo que sería conveniente aprovechar al máximo este periodo del año, ya que a partir de estos análisis se hace evidente que se cuenta con mayores recursos hídricos.

Respecto al predominio de los climas que se distribuyen en el territorio del Municipio se tiene que el clima con más extensión es el Seco semiárido, ocupando un 53.01 % del total del territorio, mientras que el 46.99 % restante es Templado subhúmedo (Mapa 7). Esto nos indican que el clima es un tanto regular en el Municipio, es decir, que no hay demasiadas oscilaciones térmicas, esto se atribuye a la orografía, ya que

Tequixquiac comprende la transición del Valle de México al Valle del Mezquital, además de que la zona se encuentra en la zona de vientos alisios, estos vientos proceden húmedos del Golfo de México que son modificados por el Eje Neovolcánico, de esta manera y como un efecto la disminución de humedad de los vientos y su baja capacidad para producir lluvia, lo cual brinda la información necesaria que permitiría establecer estrategias para proponer cultivos de interés que se adapten a estos tipos de climas a partir de las condiciones fisiográficas, de temperatura y de humedad, aptitud del suelo, con el fin obtener mejores aprovechamientos del suelo dentro del territorio.

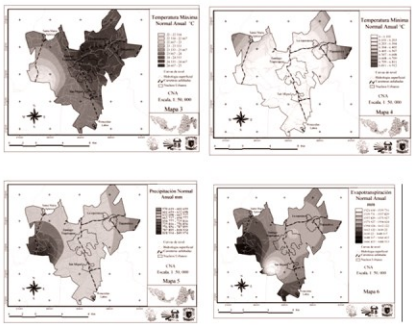


Figura 3-44. Temperatura máxima, mínima, precipitación y evapotranspiración.

Variables altimétricas

La altitud es uno de los principales aspectos para los estudios del medio físico. Con la altitud se determina la cliserie de los distintos tipos de vegetación, (MOPT, 1992, 199). Los valores de altitud para Tequixquiac se obtuvieron tomando como base el Modelo Digital de Elevación (MDE) 1: 50 000, con datos que van de 2165 a 2591 msnm, (figura 3-45).

La pendiente nos permitirá decidir la asignación de actividades a desarrollar en la zona o su impacto, ya que puede limitar los usos del terreno debido a que la pendiente no será la misma que se requiera para los usos agrarios que para los usos urbanos. López y Blanco, (1976, 75) proponen una clasificación agrológica que establece que las pendientes que van de 0 a 7° se recomiendan como suelos agrícolas, mientras que para los suelos con cultivo ocasional las pendientes sugeridas son de 7 a 11°. Las pendientes de 11° en adelante son más adecuadas como usos de suelos forestales. Utilizando el MDE se calculó la pendiente teniendo como resultado valores de 0 como valor mínimo y 35.91 ° como máximo (representando las zonas planas y las de mayor grado de inclinación respectivamente).

Se calcularon las curvas de nivel a una equidistancia de 10 m utilizando el MDE. Las curvas de nivel son la representación grafica de los puntos del terreno situados a la misma cota sobre el nivel del mar, que se trazan a intervalos fijos de altitud (equidistancia) (MOPT, 1992,189). Esta separación horizontal de las curvas de nivel da referencia de la pendiente del terreno, ya que a medida que las curvas se aproximan la pendiente se hace mayor, proporcionando la altitud y los accidentes morfológicos del terreno, lo cual suele estar relacionado con los tipos de

vegetación. La orientación también se calculó a partir del MDE, la cual se determina a partir de la exposición de la superficie terrestre respecto a los puntos cardinales la orientación influye en la energía radiante que llega a la superficie, cómo y cuánto influye en la insolación (MOPT, 1992, 196). Por ejemplo, si se quiere implementar o hacer un estudio de capacidad para usos agrarios, la exposición nos permite junto con la pendiente determinar un coeficiente de insolación, y así establecer el efecto de ésta en el territorio. De igual forma la orientación del relieve determina a su vez una variada exposición de las vertientes al sol, lo que da lugar a una desigual distribución de la vegetación entre solana y umbría. Por último, a partir del MDE se calculó la iluminación con el fin de obtener el sombreado topografico con un azimut de 315° (ángulo de la dirección en la que se encuentra la fuente de luz partiendo del Norte) y una altitud de 45° (pendiente o ángulo de la fuente de luz sobre el horizonte).

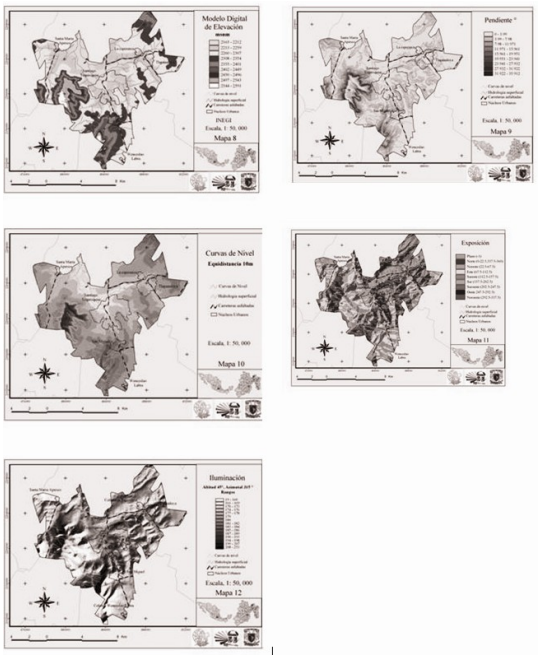


Figura 3-45. Variables altimétricas

Factores Socio-económicos

En cuanto a la población, se puede decir que en el Municipio de Tequixquiac se encontró un crecimiento poblacional del año 2000 al 2005 del 10.73 %

De las 13 localidades existentes en el municipio, la que menor población registra es La Arenilla localizada en el Noreste del Municipio, con una población total para el censo 2000 de 10 personas lo cual puede deberse a que se encuentra en el límite con el municipio de Hueypoxtla, mientras que para el año 2005 se registraron 14 habitantes, en tanto a la localidad que más población registró fue la cabecera de Tequixquiac con 18,845 habitantes para el año 2000, mientras que para el censo 2005 fue de 20,610 habitantes con lo cual podemos ver un incremento del 9 % como se puede observar en la Tabla 3-44.

Es importante mencionar que los datos del censo proporcionados por INEGI para la localidad El Cenicero carecen de información para los dos años (2000 y 2005). Mientras que La Arenilla en los aspectos de Población Femenina y Masculina no se cuenta con información para el censo 2000 (figura 3-46)

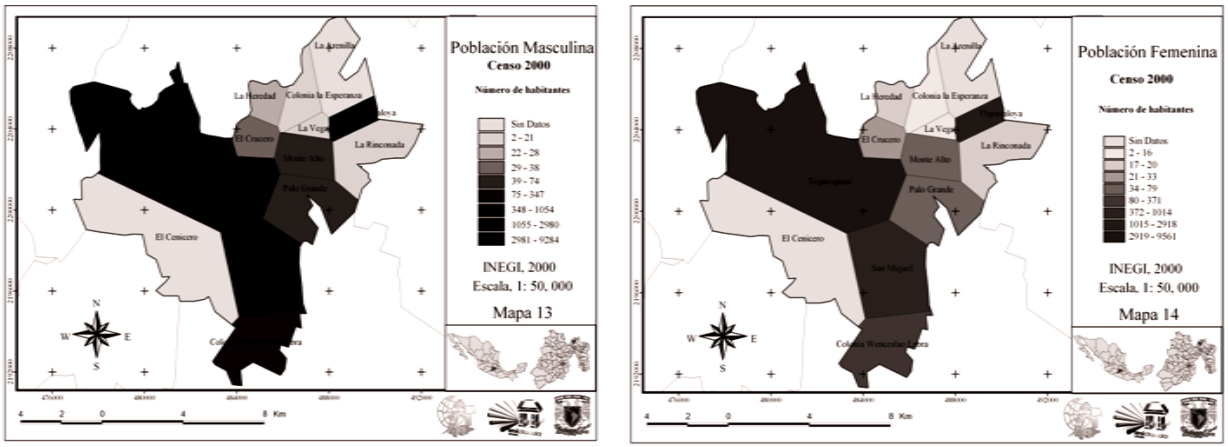


Figura 3-46. Población

Tabla 3-44. Población total para cada una de las localidades

Nombre de la Localidad	Población (Censo 2000)	Poblacional (Censo 2005)
El Cenicero	Sin datos	Sin datos
El Crucero	71	109
La Arenilla	10	14
La Esperanza	37	55
La Heredad	48	59
La Rinconada	37	37
La Vega	36	44
Monte Alto	153	143
Palo Grande	141	176
San Miguel	2068	2505
Tequixquiac	18845	20610
Tlapanaloya	5898	6294
Wenceslao Labra	718	1029

Fuente. Datos de Población 2000 y 2005. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

La localidad que presentó mayor crecimiento poblacional en porcentaje fue El Crucero con un aumento del 53 %, y el que presento el menor crecimiento fue Tlapanaloya con un 6 %. La localidad de Monte Alto presentó una disminución del 6 %, lo que se atribuye a la migración. En cuanto a la población Femenina del Municipio de Tequixquiac, la colonia La Esperanza es la que presenta el mayor crecimiento con un 6.87 %, mientras que Tlapanaloya, al igual que en la densidad poblacional, presenta el menor crecimiento con un 0.74 %. Para la población Masculina, las localidades de El Crucero y Wenceslao Labra son las que presentaron mayor crecimiento poblacional en la población con un 4.4 %, mientras que Monte Alto es la que presentó menor crecimiento con 0.13 %. La que mostró una disminución fue la Heredad con un 2 %. La población Masculina representa un 49.14 % de la población total del municipio.

En cuanto a la población ocupada en los sectores productivos primario, secundario y terciario, se identificó que para el sector primario, la localidad que mayor población registró fue la cabecera municipal de Tequixquiac con 898 individuos. Para el sector secundario La Vega con 2782. En cuanto al sector terciario, la localidad que más habitantes mostró, con 2770, fue La Heredad. Con estos datos se concluye que el sector primario ocupa un 15.63 %, mientras que el sector secundario un 40.93 % y el sector terciario o de servicios un 43.44% de la población económicamente activa. Estos datos indican que la mayoría de la población del municipio se dedica principalmente a las actividades que no producen bienes materiales de forma directa, sino servicios como comercio, transporte, comunicaciones, finanzas, turismo, lo cual

indica un cambio en las actividades en la población ya que poco a poco se va abandonando ese estilo de vida, en el cual la población obtenía sus recursos: ahora se opta por obtenerlos de un comercio establecido.

La población analfabeta, de 6 a 14 años en todas las localidades del Municipio, presenta un aumento de más del 50 % siendo la localidad de Palo Grande la que mayor crecimiento presentó con un 95 % y presentando el menor con un 65 % la localidad de la Vega, lo que nos muestra que el sector de la población emigra de este lugar para estudiar y sólo se quedan las personas que no pueden estudiar, como la gente mayor, ya que se tiene el conocimiento de que muchas son las personas del municipio que emigran para estudiar, como ocurre incluso a nivel nacional o que los sistemas de educación no llegan a este municipio, lo cual nos indica un déficit educativo.

Aplicación del SIGMA a tres modelos prácticos

Determinación del riesgo de incendio potencial

Se aplicó el modelo de riesgo de incendio y se obtuvo el riesgo de incendio potencial para el Municipio; se elaboró la cartografía correspondiente para ambos semestres (Tabla 3-45 y 3-46) y se calcularon las hectáreas correspondientes a cada clase de riesgo de incendio en el territorio:

Tabla 3-45. Riesgo de incendio potencial durante el primer Semestre de enero a junio:

Clase	Categoría de Riesgo	Superficie (ha)
1	Muy bajo	13
2	Bajo	4537.25
3	Medio	5069.25
4	Alto	4117.50
5	Muy alto	391.75
	Total	14128.75

Tabla 3-46. Riesgo de incendio potencial durante el segundo semestre de julio a diciembre.

Clase	Categoría de Riesgo	Superficie (ha)
1	Muy bajo	340.75
2	Bajo	4654.25
3	Medio	4650.25
4	Alto	4115.25
5	Muy alto	368.25
	Total	14128.75

Partiendo de estos datos se tiene que para el primer semestre, el 0.99 % del territorio total del municipio presenta un riesgo muy bajo, mientras que un 32.11 % un riesgo bajo y un 35.87 % de la superficie un riesgo medio. El 31.76 % presenta riesgo alto, y esto nos indica que

el territorio del Municipio de Tequixquiac tiene un riesgo alto de incendio, ya que para esta categoría presentó una extensión con 4,509.25 ha de 14,128.75 ha que comprenden al total Municipal.

Se puede concluir que el Municipio de Tequixquiac tiene un riesgo de incendio Medio, ya que tanto en el primer semestre como en el segundo, la mayor superficie del territorio mostró este tipo de riesgo, mientras que la menor superficie de la zona presentó el riesgo Muy bajo, ya que incluso en el primer semestre el porcentaje de superficie fue de sólo de 0.09%, equivalente 13 ha. Sin embargo y a pesar de que la diferencia entre los valores de ambos semestres no se torna muy evidente, las superficies del territorio que presentan los riesgo Bajo y Muy Bajo presentan un aumento del 2 % y más del 100% respectivamente, contrario a las superficies con los riesgos Alto y Muy Alto que en su caso el riesgo se volvió nulo, lo que nos refiere a una disminución del riesgo incendio en el segundo semestre al cual también podríamos llamar periodo de lluvias, ya que de hecho Juárez (2008, 57), menciona que los incendios son estacionales dominando en el primer periodo del año (enero-junio), por lo que este comportamiento puede atribuirse a los factores climáticos como es el caso de la precipitación, que trae consigo que la humedad relativa y la evapotranspiración aumenten, proveyendo de agua y evitando así la desecación de la vegetación y por lo tanto la hace menos susceptible al inicio de un fuego, ya que en el transcurso de este periodo las temperaturas son altas y la precipitación es baja, a diferencia del segundo periodo del año que se encuentran los meses en los que mayor precipitación presentan como son julio, agosto y septiembre, lo cual es determinante para el riesgo de incendio.

En cuanto a la relación de la pendiente con el riesgo de incendio se tiene que en las de ladera en donde ésta es mayor es en la cual se presentaron las zonas de riesgo Muy Alto, con valores de pendiente de 17.24° a 38.79°, mientras que para las zonas con riesgo Bajo presentan pendientes de 0° a 11.14 °, lo cual nos demuestra que la pendiente es determinante para que un fuego se propague, ya que el fuego tiene un comportamiento ascendente, es decir, que va de abajo hacia arriba. Como lo argumenta Rothermel (1972, 13), la pendiente está directamente relacionada con la extensión y dirección del fuego, lo cual es importante identificar ya que si se ubican las áreas en donde el riesgo es muy alto, por muy poca superficie que ocupen, se pueden establecer estrategias para monitorear cómo son las torres de vigilancia de guarda bosques y así prevenir que inicie un fuego o en su caso identificar estas zonas para contrarrestarlo, como en este caso del Municipio de Tequixquiac, que es en las zonas montañosas, en donde se encuentra el riesgo Alto y Muy Alto ubicado en la zona Oeste del Municipio. Por su parte, el riesgo bajo que es el que mayor porcentaje de territorio abarca y presenta una distribución más homogénea.

En cuanto a la vegetación se refiere, los tipos que presentaron el riesgo Medio, Alto y Muy Alto fueron el Pastizal, el Matorral Xerofilo y Bosque, lo que indica una relación entre el tipo de vegetación y la inflamabilidad, como lo expone Juárez, (2008, 53) y menciona que las características del tipo de vegetación tienen gran influencia en el desarrollo de los incendios forestales. El Pastizal generalmente es en donde existe el mayor índice de incendios, esto debido a que como su desarrollo se presenta en zonas planas y abiertas, los vientos fluyen de tal manera que se da una combustión fácil y rápida. Catchpole (2002,56) menciona que cuando se encuentra presente un viento, que es el principal elemento, éste modifica la flama al contacto con la superficie del combustible y complementado con las actividades antrópicas es en donde se da mucho la actividad de la quema, para preparar el territorio con miras a una actividad de agricultura, lo cual representan otro factor de riesgo. En cuanto al Matorral Xerofilo, es un tipo de vegetación que presenta poca humedad y se desarrolla en climas secos, lo cual es favorable para que se inicie un fuego , ya que las altas temperaturas, la baja humedad y la cantidad de combustible aumentan la probabilidad de la ignición de un incendio (Juárez , 2008, 56). Por otro lado el Bosque, que es un tipo que presenta especies que tienen como característica la presencia de resinas que son de alta inflamabilidad, de igual forma la leñosidad de sus componentes vegetales le confiere un mayor riesgo, y las actividades de deforestación que están directamente relacionadas con los incendios forestales (Juárez , 2008, 54).

Valoración de la calidad de la vegetación

En tanto al estudio de la calidad de la vegetación se elaboró la cartografía correspondiente (Tabla 3-47) y se obtuvieron los valores de frecuencias para cada una de las clases de calidad de la vegetación. Importante recordar que quedan excluidas las zonas urbanas (1,702.75 ha), ya que carecen de vegetación que son los siguientes:

Tabla 3-47. Índice de calidad de la vegetación

Clase	Calidad	Superficie (Ha)
Clase 1.	Calidad Baja:	1,022.50
Clase 2.	Calidad media:	1,255.00
Clase 3.	Calidad media alta:	3,349.25
Clase 4.	Calidad alta:	6,799.25
	Total:	12,426.00

Como se puede ver en los valores, en el territorio dominan las clases de calidad de la vegetación Media Alta y Alta ocupando un 23.7 % y 48.15% respectivamente, mientras que las clases Baja y Media abarcan una superficie de 7.23 % y 9.06% del total del territorio que comprende 14128.75 ha.

En cuanto al tipo de vegetación que presentó la calidad más Baja fue la Agricultura de Temporal. Realmente este tipo de vegetación no tiene singularidad, ya que la mayoría de los cultivos se enfocan en ciertas especies de interés ya sea comercial o cultural, de igual manera para su nivel de sucesión, ya que su estructura es simple y no existe nivel de sucesión, lo que no lo lleva a un estado de clímax y sobre todo porque la sucesión refiere un aumento en la energía, biomasa o estructura dentro de un ecosistema, que es transferida desde las etapas iniciales hasta las finales de dicho proceso, entonces es en las últimas etapas en las que tienen el mayor incremento, por lo tanto una alteración en cualquier estadio de la sucesión provoca cambios rápidos y catastróficos, caracterizados por una disminución en la madurez, a lo que Margalef (citado por Walker, 2005, 3), llamó *retrogresión*. Para la clase Media de calidad el tipo de vegetación que ocupa ese territorio fue la Agricultura de riego, la cual se encuentra en constante cambio, lo que permitiría una acumulación de energía. Sin embargo en este tipo de vegetación sucede algo similar a la Agricultura de Temporal, por sus características propias. Estas actividades traen consigo un alto grado de erosión y por lo tanto perdida de nutrientes, lo cual se relaciona con el nivel de sucesión, porque al aumentar la biomasa en este proceso habrá un incremento en la eficiencia de los ciclos de nutrientes y de la especialización de un individuo en su medio. Al no existir la cantidad necesaria de nutrientes en el suelo, las especies vegetales presentarán ese déficit y la sucesión no podrá llevarse a cabo y por ende, la singularidad.

Por último, la clase Alta la presentó el Matorral Xerofilo y el Bosque Fragmentado, lo cual se atribuye a que estas unidades de vegetación tienen componentes que poseen mayor singularidad, debido a que pueden presentar individuos propios del sistema, con una gran importancia ecológica. De igual forma es en donde más se puede llegar a presentar un alto nivel de sucesión, pues existen en ellos varios estratos como

son herbáceo, arbustivo y arbóreo, lo cual indica o pone de manifiesto las relaciones de competencia. De igual forma su biomasa desarrollada es amplia, lo que incrementa su estructura y por lo tanto un aumento en la transferencia de energía.

Localización óptima de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos (VRSU)

Una vez realizado el modelo presentado para la localización del VRSU, se obtuvieron los valores de frecuencias para las áreas No Aptas y Aptas del Municipio de Tequixquiac, siendo éstos:

Tabla 3-48. Superficie (ha) ocupada por las zonas óptimas para establecimiento de un vertedero

No Aptas:	13, 286.25
Aptas:	842.5
Total:	14128.75

Partiendo de estos valores se puede decir que sólo un 5.97 % del Territorio del Municipio de Tequixquiac es apto para el establecimiento de un vertedero de RSU (figura 8).

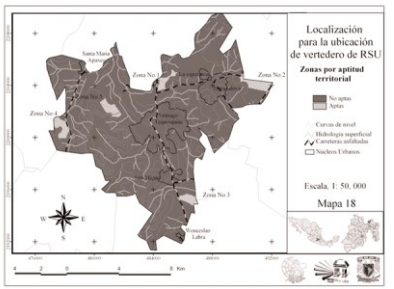


Figura 3-47. Zonas aptas para la ubicación de un vertedero de RSU.

La vida estimada de un vertedero de RSU está directamente relacionada con la superficie del mismo. A partir de esto y del análisis del modelo de la localización de vertedero de RSU en Tequixquiac se establecieron cinco áreas de las zonas aptas con formas regulares (polígonos), descartando aquellas fragmentadas que presentaran formas lineales o corredores. La determinación de la aptitud de estos sitios se realizó en función de la superficie en hectáreas, las cuales se muestran en la Tabla 3-49.

Tabla 3-49. Superficie de las cinco áreas seleccionadas para la ubicación del vertedero de RSU

No. de Área	Superficie (ha)
1	73.37
2	144.14
3	77.18
4	117.46
5	103.56

Fuente: Estudio de la localización óptima de un VRSU, en el Municipio de Tequixquiac.

La superficie mínima es de 50 has, pero a fin de disponer de un resguardo de superficie se considera un umbral de 100 has, para una vida estimada del vertedero de 50 años (Martínez-Alegría, *et al.*, 2000). Por lo tanto, el área más óptima para la ubicación del vertedero de RSU, en función de la superficie en hectáreas es el área No. 2, como se puede ver en la Tabla 3-49, ya que ésta cuenta con poco más del umbral considerado de 100 has, lo que proyectará a un mayor tiempo de vida útil del vertedero. Esta área se encuentra hacia el este del núcleo urbano de Tlapanaloya De esta manera, la planificación de dicha actividad dentro del proceso de Ordenamiento Territorial se podrá realizar partiendo del conocimiento del medio.

6. Conclusiones

A partir de la recopilación de información, incorporación y digitalización de la información, hasta el momento existente del municipio de Tequixquiac, se puede concluir que la vegetación en el municipio se encuentra fragmentada, por lo que sería importante establecer planes de reforestación dentro del programa de ordenamiento territorial para incrementar la calidad de la vegetación y del paisaje, sobre todos en las áreas con susceptibilidad de recarga de mantos acuíferos y a su vez seleccionar las especies de acuerdo con las condiciones climáticas que presenta el Municipio, para asegurar su desarrollo.

El Feozem es la unidad de suelo que más área abarca en el municipio, por lo tanto se podrían buscar alternativas de cultivos que sean altamente productivas en este tipo de suelo como son maíz, fríjol, cítricos, algunos frutales y pastos para la agricultura.

El sector terciario presenta un aumento dentro de la dinámica poblacional del municipio, es por eso que impulsar y apoyar las actividades que comprenden a este sector, con el fin de promover el desarrollo económico que propicie y conserve el empleo, puede contribuir a elevar el nivel de ingreso y por lo tanto aumentar la calidad de vida de la población

Las áreas que presentan el mayor riesgo de incendio abarcan en conjunto un 31% del territorio total del Municipio, es por esto que es prioridad establecer la extensión comprendida con riesgo Alto y Muy Alto como Zonas de Peligro y establecer programas de monitoreo

constante, con el fin de instaurar Planes de Prevención Incendios Forestales, que incluyan las características y distribución de la vegetación, el riesgo de incendio, situación del terreno y cortafuegos, entre otros.

La calidad de la vegetación es alta en el municipio, por lo que es importante limitar el desarrollo de actividades humanas en función de los núcleos urbanos, para evitar un deterioro en la vegetación y por lo tanto en el Ecosistema.

La zona más óptima para la localización de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos se localiza al Noreste del municipio, contando con una superficie de 144.4 ha, la cual comprende más de la superficie para una vida estimada de 50 años. Existe un aumento de la generación de Residuos Sólidos Urbanos, lo cual está estrechamente ligado con la falta de educación y conciencia ambiental por parte de la población, por lo que es esencial ampliar los estudios de composición de residuos sólidos a escala local para identificar las fuentes de generación que intervienen.

Los trabajos que tienen como objetivo recabar toda la información existente de un sitio son de mucha importancia, ya que permite contar con información elemental y sobre todo una gran utilidad para aplicar una gran cantidad de estudios en todos los ámbitos, que permiten establecer estrategias de gestión que son fundamentales para la toma de decisiones, las cuales determinan la calidad de vida de la población.

Referencias bibliográficas

Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina, C. J. (2002): Riesgos Naturales. Barcelona, Ariel Ciencia.

Barredo, J. I. (1996): Sistemas de información geográfica y evaluación multi-criterio en la ordenación del territorio. Madrid, RA-MA Editorial.

Catchpole, W. (2002): "Fire properties and burn patterns in heterogeneous landscapes", en Bradstock, R.A. et al.,(Ed.): Flammable Australia: the fire regimes and biodiversity of a continent. Australia, pp. 49-75.

Cebrian, J. (1988): "Sistemas de Información Geográfica", en Bosque, J. (Ed.). Aplicaciones de la Informática a la Geografía y las Ciencias Sociales, Madrid, Síntesis. pp. 89 – 108.

Delgado, M. y Rodríguez, M. (1996): "La gestión ambiental en municipios metropolitanos: Los retos frente al siglo XXI". Gaceta del Instituto Nacional de Ecología, 9, 2, pp.15-21.

Gómez, O. D. (2002): Ordenación Territorial. Madrid, Agrícola Española.

Hernández B. M.; González, L. G.; Alvarado, V. M. (1999): Estudio de la Evolución de los Residuos Sólidos Urbanos de Metepec en Biorreactores Piloto. México. Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. [Consulta: 10-12-2009]. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/hernandez2.pdf

INEGI. (2001): Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. México, INEGI.

INE-SEMARNAT-SEDESOL. (2005): Términos de Referencia para la Elaboración del Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial. México, INE-SEMARNAT.

Juarez, O. S. (2008): Forest Fire Risk Model for Michoacan, México. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, the Netherlands. [Consulta: 15-02-2010]. Disponible en http://www.itc.nl/library/papers_2008/msc/nrm/orozco.pdf

LGEEPA. (2005): Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México. SEDUE.

López Cadenas de Llano, F. y Blanco, M. 1976. Hidrología Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Monte, Madrid, España.

Martínez.-Alegría, R.; Tabeada, J.; Ordóñez, C.; Lanaja, J. M. (2000): Análisis Multicriterio para la Selección de Emplazamientos de Vertederos de Residuos Sólidos en el Entorno de Valladolid. Delegación del Gobierno de Castilla y León. España. Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medioambiente.[Consulta 22-03-2010]. Disponible en http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=677

Martínez-Graña, A.; Goy, J. L.; Zazo, C.; Picón, I.; de Bustamante, I. (2005): Cartografía geoambiental aplicada a la gestión de residuos del Espacio Natural Protegido "Las Batuecas – Sierra de Francia". Salamanca. Departamento Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. [Consulta: 04-04-2010]. Disponible en http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo40/Geo40-78.pdf

Montoya A. R.; Bernal, N. N.; Godínez, C.; Prado, G. E. (2001): "Planificación física con base ecológica para el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla". México. CONACYT / UNAMFESI / I30002-B.

Montoya, A. R.; Benavides, G. L.; De la Cruz, R. L. I. (2008): "Valoración de Riesgo de Incendio e Inundación en el Edo. de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica". XVIII Congreso Nacional de Geografía. Zacatecas, Zac. México. pp.16.

M.O.P.T. (Ministerio de Obras Públicas y Transportes). (1993): Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico. Madrid, España. Monografías de la Secretaria del Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente.

Secretaria de Ecología, Gobierno del Estado de México. (1999): Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. Toluca, Estado de México.

Secretaria de Ecología de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (1997): Sistema de Información Geográfica Ambiental (SIGA). Gobierno de Jalisco. México. [Consulta: 20-11-2009]. Disponible en http://siga.jalisco.gob.mx/ordenamiento/

Rothermel, R. C. (1972): A Mathematical model for Predicting firespead in wildland fuels. Ogden, Intermountain forest and range experiment station, Department of Agriculture. [Consulta 20-02-2010]. Disponible en http://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_rp115.pdf

Walker, L. R. (2005): "Margalef y la sucesión ecológica", Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, 14, 1, pp. 66-78.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL DE LERMA (SIGLerma), ESTADO DE MÉXICO

Antonio De Jesús Gutiérrez Hernández, Cuahutémoc Gutiérrez Pérez, Emmanuel Odorico Villavicencio Olivera [1]

RESUMEN

El presente trabajo describe la implementación de un sistema de información geográfica desde el interior de la administración pública municipal de Lerma, en el Estado de México, para hacer más eficiente la prestación de servicios públicos a través de una plataforma en web, basada en un repositorio de datos geoespaciales, creado a partir de la homologación y recopilación de información geográfica, todo esto con apego al marco jurídico que rige a los municipios. Del mismo modo se abordan las deficiencias que presentaba el municipio de Lerma en la administración de la información geográfica y su prestación de servicios públicos de carácter territorial.

Palabras clave: SIG, Información Geoespacial, Administración Pública, Gobierno, Servicios públicos.

A GIS FOR LERMA MUNICIPALITY (SIGLerma), STATE OF MEXICO

ABSTRACT

This work describes the implementation of a Geographic Information System(GIS) within the municipal government of Lerma, in the State of Mexico, enabling a more efficient delivery of public services through a web platform, based on a geospatial data repository, created from the approval and collection of geographic information, all this in accordance with legal framework governing municipalities. Similarly, it addresses the shortcomings of the municipality of Lerma in geographical information management and services of territorial nature.

***Key words**: GIS, Geospatial Information, Public Administration, Government, Public Utilities.*

Ayuntamiento de Lerma. 52000, México. E mail: sigmunlerma@gmail.com

1. Introducción

A principios de 2009, el municipio de Lerma, Estado de México, al igual que otras entidades de este nivel de gobierno, no contaba con una infraestructura de datos espaciales homologada montada en una plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitiera en dado caso elaborar un mapa de localización geográfica para integrarlo a otro tipo de documentación como el Plan de Desarrollo Municipal. La necesidad de información cartográfica por parte de los funcionarios públicos a cargo de cada uno de los departamentos al interior de la administración era palpable, por el simple hecho de que ellos requerían como mínimo de un croquis de localización para poder llevar a cabo su labor cotidiana al momento de tomar de decisiones importantes, para servir de manera eficiente a la población.

Desorganización, falta de personal capacitado, conflictos internos entre el personal de la administración pública, son algunos de los factores que no permitían dar paso a proponer ideas innovadoras para mejorar la calidad de los productos cartográficos, que se necesitaban para tomar decisiones y complementar documentación importante para gestionar los recursos que otorgan los estados y la federación a este nivel de gobierno. Desafortunadamente tampoco se contaba con el equipamiento necesario para que el personal llevara a cabo de manera eficiente sus tareas, sin tomar en cuenta la experiencia en áreas cartográficas.

Resulta sencillo de explicar el conflicto que causa a muchas dependencias de gobierno la falta de homologación de su información, es como tener una alacena desordenada. En la administración pública del municipio de Lerma ocurría algo similar, pues la información geográfica se generaba, actualizaba, respaldaba con alto grado de desorden, lo que no permitía que las distintas entidades y dependencias de la administración pública municipal le dieran un uso pertinente. Diferentes escalas, archivos de salida, formatos, formas de respaldo, entre otros, provocaban la pérdida de información geográfica; sumado a esto, los conflictos internos entre cada departamento aumentaban y esto no daba paso a que existiera un común acuerdo entre los servidores públicos, provocando que cada uno hiciera lo que creía correcto sin apegarse a ninguna metodología estructurada.

Existía una necesidad importante de comenzar a plantear la implementación de un SIG Municipal. Sin embargo, en México la mayoría de los proyectos de SIG están orientados a la cuestión catastral pues ha resultado ésta la mejor vía de conseguir los recursos materiales y financieros, atacando sólo una fracción del total de problemas de carácter territorial. Es por ello que resulta importante desarrollar proyectos de este ámbito en un nivel jerárquico más allá de la instancia catastral dentro de la administración pública municipal, que le permitan el control total de la información geográfica del territorio. En este punto ubicamos a la Secretaría Técnica que tiene las atribuciones para participar en la coordinación, regulación y monitoreo de los procedimientos al interior de la administración pública municipal, por tal motivo el proyecto SIGLerma se concibió desde esta instancia teniendo como objetivo desarrollar un SIG que permita la generación, actualización, consulta, edición y análisis de datos geoespaciales, para el municipio de Lerma, Estado de México, buscando hacer más eficiente la prestación de servicios públicos al interior de la administración.

El SIGLerma es el instrumento que permite a los funcionarios públicos la toma de decisiones de carácter territorial, brindando servicios públicos eficientes a la comunidad, así como la mejora de estrategias que determinen sitios óptimos para la ubicación de un bien o servicio dentro del espacio geográfico del municipio, como son la demanda que existe en alguna localidad en brindar el servicio de recolección de basura, alumbrado público, conocimiento de la obra pública, información sobre la infraestructura municipal, entre otros, atendiendo oportunamente las quejas de la ciudadanía. Basado en ello se diseñó una estrategia de coordinación institucional que permitiera el acceso a cada uno de los departamentos al interior de la administración pública municipal, con la finalidad de hacer una evaluación e inventario a

detalle de la información geográfica y metadatos, obteniendo las necesidades de la administración pública municipal en su conjunto, el tipo de información y las áreas y/o departamentos que utilizarán la herramienta.

El SIGLerma fusionó distintas áreas del conocimiento, desarrollando e implementando una aplicación geoinformática, para gestión de la información geográfica al interior de la administración, con proyección a la ciudadanía del trabajo realizado por el ayuntamiento, dando vida y sentido a la cartografía digital, contribuyendo a generar nuevo conocimiento en las distintas entidades y dependencias de la administración pública municipal de Lerma; busca a su vez ir cerrando la brecha que existe con el paradigma de las geotecnologías en el sector público.

Este proyecto lo podemos destacar en la totalidad de la entidad mexiquense, por la forma en la que se ha desarrollado, desde la concepción, las problemáticas encontradas, los procesos concebidos para la generación de información geográfica y el flujo de ésta, que se detallará en lo posterior.

2. Antecedentes

De manera general, entendemos al municipio como un ente colectivo y social en un marco de múltiples dimensiones, pero ante todo como una institución social, política y jurídica; sociológicamente es una agrupación de familias situadas en un mismo territorio para satisfacción de las necesidades originadas por las relaciones de vecindad (por tanto es un ente natural que surge de manera espontánea); jurídicamente el municipio se define como ente público menor, territorial y primario. Según la Ley Orgánica Municipal del Estado de México, Titulo I del Municipio, Capítulo primero: Disposiciones Generales, en su Artículo 1, párrafo segundo: El municipio libre es la base de la división territorial y de la organización política del Estado investido de personalidad jurídica propia, integrado por una comunidad establecida en un territorio, con un gobierno autónomo en su régimen interior y en la administración de su hacienda pública, en términos del artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Podemos distinguir tres elementos claves que integran al Municipio: *Población.* Conjunto de individuos que viven en el territorio del municipio, que conforman una comunidad viva y diversa, con su compleja y propia red de relaciones sociales, económicas y culturales. *Territorio.* Espacio físico determinado jurídicamente por los límites geográficos, que constituye la base material del municipio y que es el ámbito natural para el desarrollo de la vida comunitaria. *Gobierno.* Conducción político-administrativa del quehacer municipal, a través del Ayuntamiento.

La última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación del 1 de junio de 2009, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su Título Quinto: De los Estados de la Federación y del Distrito Federal; artículo 115, Fracción III, establece que: Los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales; b) Alumbrado público; c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos; d) Mercados y centrales de abasto; e) Panteones; f) Rastro; g) Calles, parques y jardines y su equipamiento; h) Seguridad pública, en los términos del artículo 21 de esta Constitución, policía preventiva municipal y tránsito; i) Los demás que las Legislaturas locales determinen según las condiciones territoriales y socioeconómicas de los Municipios, así como su capacidad administrativa y financiera.

Por otro lado el Título Quinto: Del Poder Público Municipal; Capítulo Tercero: De las Atribuciones de los Ayuntamientos de la Constitución Política del Estado de México menciona en su artículo 122 que los ayuntamientos de los municipios tienen las atribuciones que establecen la Constitución Federal, esta Constitución, y demás disposiciones legales aplicables. Los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos que señala la fracción III del artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Los municipios ejercerán las facultades señaladas en la Constitución General de la República, de manera coordinada con el Gobierno del Estado, de acuerdo con los planes y programas federales, estatales, regionales y metropolitanos a que se refiere el artículo 139 de este ordenamiento.

El servicio público municipal es la actividad que tiene por objeto reglamentar y controlar las tareas de necesidad pública, cuya utilidad es efectiva cuando existe de manera regular y continua la prestación del mismo, conforme a la reglamentación publicada para cada entidad, y aunque no se menciona de manera precisa, se puede apoyar de herramientas que faciliten la toma de decisiones en cuanto a servicios públicos se refiere.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), utiliza una tipología sencilla para la clasificación de los municipios, basada en el tamaño de su población:

- Rurales: entre uno y dos mil 499 habitantes.
- Semi-rurales: entre dos mil 500 y 15 mil habitantes.
- Urbanos chicos: entre 15 mil uno y 49 mil 999 habitantes.
- Urbanos medios: entre 50 mil y 499 mil 999 habitantes.
- Metropolitanos: más de 500 mil habitantes.

Esta clasificación nos permite identificar diferencias notables entre los municipios por el número de habitantes, que pueden estar ligadas al presupuesto anual asignado por la federación para cada uno de ellos.

A medida que la población del municipio de Lerma crece, la exigencia de mejores de servicios públicos aumenta, originando que sus gobernantes se vean en la necesidad de implementar mejores estrategias públicas. En este ámbito, la Ley Orgánica Municipal vigente en el Estado de México, la cual menciona y establece en su Título Cuarto: Régimen Administrativo, Capítulo Primero: De las Dependencias Administrativas; en el artículo 86: Para el ejercicio de sus atribuciones y responsabilidades ejecutivas, el ayuntamiento se auxiliará con las dependencias y entidades de la administración pública municipal, que en cada caso acuerde el cabildo a propuesta del presidente municipal, las que estarán subordinadas a este servidor público. En su Capítulo Séptimo: De los servicios públicos establece en su artículo 125 que los municipios tendrán a su cargo la prestación, explotación, administración y conservación de los servicios públicos municipales, considerándose enunciativa y no limitativamente, los siguientes:

I. Agua potable, alcantarillado, saneamiento y aguas residuales;
II. Alumbrado público;
III. Limpia y disposición de desechos;
IV. Mercados y centrales de abasto;
V. Panteones;
VI. Rastro;

VII. Calles, parques, jardines, áreas verdes y recreativas;
VIII. Seguridad pública y tránsito;
IX. Embellecimiento y conservación de los poblados, centros urbanos y obras de interés social;
X. Asistencia social en el ámbito de su competencia, y atención para el desarrollo integral de la mujer, para lograr su incorporación plena y activa en todos los ámbitos;
XI. De empleo.
Se puede decir entonces que jurídicamente el municipio tiene la facultad como ente independiente, de administrar de manera óptima los recursos para prestar servicios públicos de calidad a la ciudadanía teniendo como vía a la administración pública.

Dentro de la administración pública municipal de Lerma, en el Reglamento Orgánico Municipal en su Capítulo Décimo Quinto: De la Secretaría Técnica, en su Artículo 82, establece que es la dependencia encargada de intervenir en los programas y políticas, buscando los equilibrios necesarios para dar seguimiento a los asuntos públicos y desarrollar nuevas potencialidades. A la Secretaría Técnica le corresponde:

I. Participar en la búsqueda del equilibrio entre eficacia, legitimidad y eficiencia en el ámbito de la acción pública;

II. Proponer alternativas de gestión que incluyen la participación de la iniciativa privada en los servicios públicos pero siempre reservando la delicada responsabilidad pública para las instituciones y sus titulares;

III. Participar en la coordinación de los servicios de la administración municipal para que estos sean de calidad, siempre dentro de un marco de mejora continua;

IV. Desarrollar planeación estratégica para las actividades al interior de la administración municipal y proponerla para su aplicación;

V. Participar en el seguimiento de los asuntos públicos municipales. Proponer, organizar y coordinar los criterios de control, evaluación y seguimiento de los programas de la administración pública municipal. Lo anterior sin perjuicio de las atribuciones que tengan la contraloría y las demás dependencias de la administración pública municipal, y con la debida coordinación.

VI. Proponer, el diseño y elaboración de los documentos administrativos que coadyuven a la delimitación de las estructuras orgánico-funcionales y, así mismo proponer los manuales de organización y funcionamiento de las dependencias que integran la administración pública municipal;

VII. Proponer los lineamientos para la evaluación, control y seguimiento de los programas operativos de la administración pública municipal;

VIII. Efectuar, en coordinación con las dependencias de la administración pública municipal, el análisis y diagnóstico de los procesos de trabajo y proponer la implementación de alternativas de modernización administrativa que permitan mejorar su funcionamiento;

IX. Proponer, en su caso, la reorientación los procedimientos de trabajo que realizan las dependencias de la administración pública municipal en la operación de sus programas;

X. Aplicar guías técnicas para la elaboración de instrumentos administrativos que requieran las dependencias administrativas, para con ello, trabajar coordinadamente con las áreas administrativas que lleven a cabo diversos trámites administrativos;

XI. Apoyar al Presidente Municipal en el desarrollo de estudios, proyectos y trabajos especiales que coadyuven a mejorar la función administrativa del municipio, incluyendo a los organismos públicos descentralizados;

XII. Elaborar propuestas para el manejo eficiente y eficaz de los recursos materiales, así como para el manejo de los servicios generales que se prestan en apoyo a las dependencias de la administración pública municipal;

XIII. Participar en el desarrollo los procedimientos internos con las áreas que se involucren en la realización de trámites administrativos para así alcanzar la calidad e implementar mecanismos de innovación;

XIV. Proporcionar, a través de la unidad de Informática, la asesoría que requieran las dependencias de la administración pública municipal en la instalación y operación del equipo de cómputo con que cuenten;

XV. Brindar, a través de la unidad de informática, el mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de cómputo y a los implementos utilizados por las diferentes áreas de la administración pública municipal y en su caso, llevar el seguimiento y control del equipo cuyo mantenimiento o reparación se otorgue por empresas externas;

XVI. Elaborar una propuesta, en coordinación con la secretaría del ayuntamiento, para la debida integración y actualización del inventario del equipo de cómputo, así como de los programas y sistemas con que cuentan las dependencias de la administración pública municipal;

XVII. Difundir entre las dependencias de la administración pública municipal, los lineamientos establecidos por la unidad de informática para la operación, establecimiento y control de los sistemas de cómputo y vigilar su cumplimiento;

XVIII. Proponer en coordinación con la subdirección de administración, el diseño de programas de capacitación para el personal del Ayuntamiento en lo relativo a la utilización de equipos y programas de cómputo;

XIX. Evaluar los avances de los diferentes programas y proyectos considerados en el plan de desarrollo municipal, sin perjuicio de las atribuciones que le competen a la contraloría municipal;

XX. Elaborar su programa operativo anual; y,

XXI. Las demás que le señalen otros ordenamientos legales y las que le encomiende el ayuntamiento o el Presidente Municipal.

Sin embargo, en el municipio de Lerma no existía una dependencia que administrara la información geográfica y mucho menos que regulara la creación de ésta en las entidades y dependencias de la administración pública municipal. La actuación de toda la administración pública incide siempre en alguna medida sobre el territorio que administra. Se estima que en torno al 80% de la información que maneja una administración pública es geo-referenciable (Castro, 2005).Con lo cual resulta imperante implementar un SIG, así como una infraestructura de datos espaciales.

3. Metodología

3.1. Municipio de Lerma, Estado de México, México

El Municipio de Lerma está ubicado en el Valle de Tollocan, correctamente Tolocan; se localiza en el centro del Estado de México y se divide en seis regiones: Región I. Huitzizilapan, Región II. Tlalmimilolpan, Región III. Atarasquillo, Región IV. Ameyalco, Región V Lerma, Región VI. Tultepec y una Zona Industrial. Colinda con los municipios de Xonacatlán, Jilotzingo, Otzolotepec, y Naucalpan de Juárez al norte, Capulhuac al sur, Huixquilucan y Ocoyoacac al este, y por último San Mateo Atenco, Metepec y Toluca al oeste. Actualmente cuenta con una superficie de 23, 258.76 hectáreas, así mismo representa el 12.7% del total estatal. Se localiza entre los 19°17" latitud norte, -99°31" longitud oeste (Mapa 1).

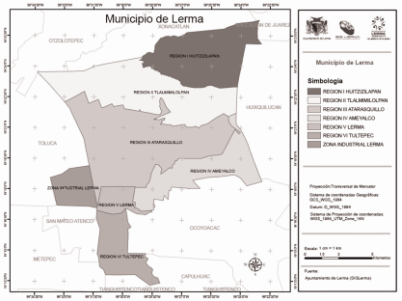


Figura 3-48. Regionalización del Municipio de Lerma

El municipio ha tenido un crecimiento variable desde los últimos 50 años; la Tasa de Crecimiento Media Anual de Población durante el período 1970–1980 registró un incremento del 4.56%; mientras que en el lapso de 1990-1995 aumentó a 3.48%; en tanto que de 1995 a 2000 se posicionó en 4.96%; finalmente para el período 2000-2005 disminuyó a 0.98%. Cabe mencionar que el alto crecimiento poblacional es producto de políticas en materia urbana que constantemente direccionan el crecimiento hacia esta zona. De 1950 hasta 1990 la tasa de crecimiento del Estado de México fue mayor a la del Municipio, sin embargo de 1991 al 2005, la tendencia cambió, siendo más elevado el promedio de Lerma, con 105,578 habitantes. Según datos preliminares del INEGI en su censo 2010 coloca al municipio de Lerma con una población total de 135,229 habitantes enmarcándonos según la tipología sencilla generada por éste mismo órgano en la clasificación *urbano medio*.

Ayuntamiento de Lerma

EL ayuntamiento de Lerma en su Reglamento Orgánico Municipal establece en su Título Primero de la Administración Pública Municipal, Capítulo Único en su Artículo 7: El Gobierno Municipal se encuentra integrado de la manera siguiente:

I. El Ayuntamiento, como Órgano Superior de Gobierno del Municipio;
II. La Administración Pública Centralizada, cuyo superior jerárquico es el Presidente Municipal y se encuentra integrada por la propia Presidencia Municipal, la Secretaría del Ayuntamiento, la Contraloría Interna, la Tesorería y las Direcciones;
III. La Administración Pública Descentralizada, la cual se encuentra integrada por los Organismos Públicos Descentralizados y Fideicomisos.

En este contexto, la estructura de la administración pública centralizada se encuentra enunciada en su Título Segundo de la Administración Pública Centralizada en su Capítulo Tercero de la Integración de la Administración Pública Centralizada en su Artículo 20: Para el ejercicio de sus atribuciones y responsabilidades ejecutivas, el Ayuntamiento se auxiliará de las siguientes dependencias, las que estarán subordinadas al Presidente Municipal:

1. Presidencia Municipal
1.1 Secretaría Particular
1.2 Relaciones Públicas
1.3 Asesores
1.4 Coordinación de Planeación
2. Secretaría del Ayuntamiento
2.1. Subdirección de documentación
2.2. Subdirección de vinculación
2.3. Subdirección jurídica y consultiva
2.4. Coordinación de Apoyo al Cabildo
2.5. Unidad de Transparencia
2.6. Asesores
3. Tesorería Municipal
3.1. Subdirección de administración
3.2. Subdirección de Contabilidad y presupuestación
3.3. Subdirección de catastro
3.4. Subdirección de ingresos y egresos
4. Contraloría Interna
4.1 Subcontralor Interno Municipal
4.2 Departamento de Auditoria Administrativa y Financiera
4.3 Departamento de Auditoria de Obra
4.4 Departamento de Responsabilidades y Procedimientos Jurídicos
5. Dirección de Desarrollo Social
5.1. Subdirección de Atención a la Mujer y Bienestar Social
5.2. Subdirección de apoyo a la educación
5.3. Subdirección de deportes, cultura y recreación
6. Dirección de apoyo a la Salud
7. Dirección de Administración Territorial
7.1. Subdirección de Ecología
7.2. Subdirección de Transporte
7.3. Subdirección de Obras Públicas
7.4. Subdirección de Servicios públicos
7.5. Subdirección de Asuntos metropolitanos
7.6. Subdirección de Tenencia de la tierra y límites territoriales
8. Dirección de Desarrollo Económico
8.1. Subdirección de desarrollo agropecuario
8.2. Subdirección de fomento industrial y comercio
9. Dirección de Gobernación
9.1. Subdirección de Control y Vigilancia
9.2. Subdirección de Control de Gestión
10. Dirección de Seguridad Pública, Transito y Protección Civil
10.1. Subdirección General
10.2. Subdirección de Seguridad Pública
10.3. Subdirección de Transito
10.4. Subdirección de Protección Civil
11. Dirección de Desarrollo Urbano
12. Secretaría Técnica
12.1 Departamento de Planeación, Seguimiento y Evaluación
12.2 Gestión de Programas
12.3 Departamento de Informática

Del mismo modo, en su Título Tercero de la Administración Pública Municipal Descentralizada, Capítulo Único de los Organismos Descentralizados de Carácter Municipal, en su Artículo 84: La Administración Pública Municipal Descentralizada se integra por los Organismos Públicos Descentralizados del Gobierno Municipal. Y en el Artículo 85: Son entidades de la Administración Pública Municipal Descentralizada, el Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Lerma (OPDAPAS LERMA), y el Sistema Municipal para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF LERMA).

Información Geográfica en las Entidades y Dependencias del Ayuntamiento de Lerma

Del conjunto que integra la administración pública municipal de Lerma, existen entidades y dependencias que manejan mayor flujo de información geográfica, en la primera etapa del SIGLerma fueron consideradas: Dirección de Administración Territorial, Dirección de Desarrollo Urbano, y Subdirección de Catastro; coordinadas a través de la Secretaría Técnica.

a) *Dirección de Administración Territorial*. En el reglamento orgánico municipal Capítulo Décimo Primero de la Dirección de Administración Territorial, en su Artículo 56: es la dependencia responsable de ejecutar la obra pública aprobada por el Ayuntamiento; realizar la prestación de los servicios públicos municipales, así como atender los asuntos metropolitanos, la tenencia de la tierra y límites territoriales. Así mismo le corresponde, en el ámbito de la competencia municipal, la aplicación de la normatividad en materia de ecología y protección al ambiente.

b) *Dirección de Desarrollo Urbano*. En el Capítulo Décimo de la Dirección de Desarrollo Urbano establece en su Artículo 55: es la dependencia responsable de coordinar las acciones en materia de ordenamiento territorial y desarrollo urbano, en los términos del Libro Quinto del Código Administrativo del Estado de México.

c) *Subdirección de Catastro.* En el Capítulo Sexto de la Tesorería Municipal en su Artículo 39 establece: para el despacho de los asuntos establecidos en las fracciones LXIV a la LXVIII, del artículo 35 de este ordenamiento, la Tesorería las ejercerá a través de la Subdirección de Catastro.

LXIV. Vigilar la actualización del catastro municipal, de conformidad con las características específicas de cada bien inmueble del territorio municipal, así como custodiar la información catastral;

LXVIII. Integrar, conservar y mantener actualizado el registro alfanumérico de los inmuebles ubicados en el territorio del municipio donde proceda.

3.2. Definición de Productos Informativos y Análisis de la Información

Productos Informativos

Los productos informativos nos permiten definir todo aquello que se desea obtener del sistema necesario para tomar decisiones de manera acertada, siendo los servicios públicos los que en primera instancia son prioridad para la administración 2009-2012, definiendo en su primera etapa los siguientes:

A) Producto de Infraestructura Municipal

Título. Infraestructura Municipal

Sinopsis. Infraestructura municipal se refiere a los sistemas en general, de propiedad y operado por los municipios. Este producto informativo pretende mostrar mediante un modelo espacial de la infraestructura municipal con la que cuenta el municipio de Lerma y que puedan ser consultadas por los diferentes usuarios que así la requieran, dicha información será presentada en tablas y mapas para su consulta.

Tabla 3-50. Requisitos del mapa de infraestructura municipal.

Area de Estudio	**Lerma**
Capas de Información	Límite político, regiones, localidades, manzanas, centros turísticos, vialidades principales, vialidades secundarias, calles, inmuebles, escuelas, panteones, centros de salud, centros recreativos, casas de cultura, iglesias, industrias, bases de taxis.
Proyecto	Aplicación Geográfica de Administración Territorial Lerma (AGAT)
Descripción	Mapeo de la infraestructura del municipio de Lerma.

Beneficios

- Se mejora el tiempo de salida del producto, proporcionando información actualizada de la infraestructura del municipio.
- Se crea una consulta eficiente de la infraestructura municipal, mejorando el tiempo de respuesta por parte de la administración pública hacia los consultantes de mencionada información.
- Genera una visión global de la infraestructura del municipio, proyectando rasgos o problemas que no se pueden identificar sin la superposición de la información.
- Conocimiento general de la infraestructura actual del Municipio de Lerma por parte de sus habitantes.

B) Producto de Medio Físico Municipal

Título. Medio Físico Municipal

Sinopsis. El medio físico municipal es el conjunto de los componentes naturales abióticos que condicionan los usos del suelo. Es considerado como fuente de recursos, soporte de actividades y receptor de residuos. Este producto informativo pretende informar mediante un modelo territorial el medio físico del municipio de Lerma, con el fin de ser consultadas por los diferentes usuarios que así la requieran, dicha información será presentada en tablas y mapas para su consulta.

Tabla 3-52. Requisitos del mapa de medio físico municipal

Área de Estudio	**Lerma**
Capas de Información	Límite político, regiones, hidrología, cuerpos de agua, tipo de suelo, temperatura, precipitación, clima, vegetación densa, usos de suelo.
Proyecto	AGAT
Descripción	Mapeo del medio físico del municipio de Lerma.

Beneficios

- Se mejora el tiempo de salida del producto, proporcionando información actualizada del estado del medio físico del municipio.
- Se crea una consulta eficiente del medio físico municipal, mejorando el tiempo de respuesta por parte de la administración pública hacia los consultantes de mencionada información.
- Genera una visión integral del medio físico del municipio, proyectando el estado del mismo y los posibles problemas que se están generando dentro de éste, que no se podrían identificar sin la superposición de la información.

C) Producto de Seguimiento de Obras Públicas

Título. Seguimiento de Obras Públicas

Sinopsis. La infraestructura u obra pública todo trabajo que tenga como objeto la creación, renovación o construcción, de los bienes que son de servicio social que una administración emprende por sí misma o mediante contratos con personas particulares. Este producto informativo pretende dar el seguimiento de las obras públicas implementadas en el municipio de Lerma, a fin de que la información básica sea consultada por los diferentes usuarios que así la requieran, y la información de valor agregado para la toma de decisiones sea gestionada específicamente por la dirección de administración territorial y subdirección de obras públicas.

Tabla 3-53. Requisitos del mapa de alumbrado público

Área de Estudio	**Lerma**
Capas de Información	Obras públicas, usos de suelo, infraestructura municipal.
Proyecto	AGAT
Descripción	Mapeo del seguimiento de Obras Públicas del municipio de Lerma.

Beneficios

- Se mejora el tiempo de salida del producto, proporcionando información actualizada para el seguimiento adecuado de las obras públicas implementadas en el municipio.
- Se genera una gestión eficiente de las obras públicas en el municipio, mejorando el tiempo de respuesta por parte de la administración pública hacia los demandantes de servicios y hacia los gestores internos de la dirección de administración territorial y obras públicas.
- Proporciona un medio de seguimiento dinámico para identificar avances de las obras públicas implementadas, proyectando la visión integral del trabajo desarrollado en el municipio por parte de la administración 2009-2012.
- Se ubica el universo de obras públicas ejecutadas en el municipio de Lerma.
- La ciudadanía puede consultar de manera ágil la ejecución de obra pública en su localidad.

D) Producto de Alumbrado Público

Título. Alumbrado Público

Sinopsis. El alumbrado público es el servicio público que consiste en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objeto de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades. Este producto informativo pretende visualizar la infraestructura de luminarias del municipio de Lerma, a fin de que la información básica sea consultada por los diferentes usuarios que así la requieran, y la información de valor agregado para la toma de decisiones sea gestionada específicamente por la dirección de administración territorial y la subdirección de servicios públicos.

Tabla 3-54. Requisitos del mapa de alumbrado público

Area de Estudio	**Lerma**
Capas de Información	Luminarias, postes, infraestructura municipal.
Proyecto	AGAT
Descripción	Mapeo del alumbrado público en el municipio de Lerma.

Beneficios

- Se visualiza de manera integral el inventario de las luminarias del municipio de Lerma, proporcionando información actualizada para el mantenimiento del mismo.
- Eficientar la respuesta de acción para brindar un mejor servicio en los reportes por parte de la ciudadanía.
- Identificar el consumo energético de la red luminaria y el costo económico que produce al municipio.
- Control de reportes para altas y bajas de luminarias.

E) Producto de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos Municipales (RSUM)

Título. Recolección de RSUM

Sinopsis. El servicio de recolección de residuos sólidos gestiona material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, residuos sólidos de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica. Este producto informativo pretende visualizar las rutas de recolección de RSUM de Lerma, a fin de ser consultadas por los diferentes usuarios que requieran el servicio.

Tabla 3-55. Requisitos del mapa de recolección de RSUM

Área de Estudio	**Lerma**
Capas de Información	Rutas de recolección, infraestructura municipal.
Proyecto	Aplicación de Consulta de Información Geoespacial Municipal Lerma
Descripción	Mapeo de recolección de RSUM de Lerma.

Beneficios

- Se visualiza de manera integral las rutas recorridas para la RSUM.
- Identificar zonas carentes del servicio permitiendo implementar estrategias para la eficiente recolección de RSUM.
- Reducción de recursos económicos, humanos y de infraestructura de recolección.
- Eficientar la respuesta de acción para brindar un mejor servicio a la ciudadanía.
- Identificación de ruta, horario y días a la semana, de recolección de RSUM en su domicilio por parte de la ciudadanía.

Análisis de Información

La información geográfica en administración pública municipal de Lerma se encontraba deficiente, puesto que su almacenamiento era disperso y desorganizado, o simplemente no existía. Para conocer el estado real de la información se creó una tabla de inventario para conocer con cuál se contaba y cuál debería de crearse.

Tabla 3-56. Inventario de información geográfica

DATO	ORIGEN	FORMATO			
		Digital	Análogo	Campo	Tabla
Manzanas	Catastro y Desarrollo Urbano, proyección NAD27 zona 14	X		X	
Localidades	INEGI y Desarrollo Urbano, Proyección ITRF92 y proyección NAD27 zona 14	X			X
Regiones	Desarrollo Urbano y Catastro, proyección NAD27 zona 14	X			
Espacios Públicos	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Centros de Salud	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Base de Taxis	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Escuelas	Educación y Administración Territorial, sin proyección			X	X
Vialidades Principales	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	X
Calles	Administración Territorial, Desarrollo Urbano, Catastro proyección a UTM WGS84 zona 14, UTM NAD27 zona 14	X		X	X
Inmuebles	Catastro, proyección a, UTM NAD27 zona 14	X			
Industrias	Catastro, UTM NAD27 zona 14	X			
Centros Turísticos	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Casa De Cultura	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Panteones	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Iglesias	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84			X	

	zona 14				
Cuerpos de Agua	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Ríos	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Canales	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Rutas de Recolección	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	X
Zonas de Inundación	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Usos de Suelo	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			X
Luminarias	Administración Territorial, proyección UTM NAD27 zona 14			X	
Postes	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	
Obras Públicas	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona 14			X	X
Inmuebles Públicos	Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Centros Comerciales	Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Mercados	Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Canchas Deportivas	Administración Territorial, proyección a UTM WGS84 zona14			X	
Bomberos	Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Protección Civil	Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Línea Férrea	Desarrollo Urbano, proyección UTM NAD27 zona 14	X			
Suelos	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), proyección a UTM WGS84 zona 14	X			
Vegetación	CONABIO, proyección a UTM WGS84 zona 14	X			
Precipitación	CONABIO, proyección a UTM WGS84 zona 14	X			
Temperatura	CONABIO, proyección a UTM WGS84 zona 14	X			
Clima	CONABIO, proyección a UTM WGS84 zona 14	X			
Limite Político	Desarrollo Urbano y Catastro, proyección UTM NAD27 zona 14	X			

3.3. Alcance del proyecto

El proyecto SIGLerma gestiona la información geográfica del municipio de Lerma para la Administración 2009-2012 a través de la creación de un repositorio de datos geográfico en la Secretaría Técnica, de fácil acceso montada en la red local, así mismo parte de ella con acceso en la web. En este contexto se implementó y divulgó una herramienta geo-informática que administra los servicios públicos e infraestructura municipal, vinculando la información geográfica entre las diferentes dependencias del Municipio de Lerma, así mismo dicha información servirá de enlace para agilizar atenciones a la ciudadanía.

Para ello se creó el aplicativo AGAT, el cual permite la gestión de datos para la administración 2009-2012, como lo es información básica del municipio englobando la infraestructura y el medio físico municipal; aunado a esto, se permite la consulta de información especializada de la Subdirección de Obras Públicas y la Subdirección de Servicios Públicos para la asistencia interna de la Dirección de Administración Territorial logrando con ello agilizar los servicios prestados a la ciudadanía, en este contexto se concederá al usuario general acceder a la información básica.

Dicha información está ligada a una base cartográfica. Para el mejor entendimiento de los servicios prestados por parte de la administración pública, la información se implementa en el contexto municipal y regional, proyectando una perspectiva integral del estado actual del municipio. La eficacia en el desarrollo de dicha aplicación es la concentración de elementos pertinentes como lo son:

- Limite político
- Regiones
- Ejidos
- Localidades
- Manzanas
- Vialidades principales
- Vialidades secundarias
- Calles
- Inmuebles públicos
- Construcciones
- Escuelas
- Panteones
- Centros de salud
- Centros turísticos
- Centros comerciales
- Mercados
- Canchas deportivas
- Casas de cultura
- Iglesias
- Industrias
- Bases de taxis
- Bomberos
- Protección Civil
- Línea férrea
- Hidrología
- Cuerpos de agua
- Suelos
- Usos de suelo
- Vegetación
- Precipitación
- Temperatura
- Clima
- Capas de información especializada
  - Obras públicas
  - Luminarias
  - Postes
  - Rutas de Recolección RSUM

A) *Consulta de datos.* El sistema establece las funciones de consulta de información a partir de la selección del objeto en el mapa, o a partir de un panel de consulta, arrojando la información del objeto u objetos seleccionados.

B) *Búsqueda de Infraestructura Municipal.* Es una función implementada en el aplicativo AGAT para la búsqueda de calles, localidades, escuelas y manzanas en base a una palabra o palabras claves.

C) *Tematización.* La representación de las capas de información es a través de la tematización de los datos geográficos, logrando con ello responder a preguntas simples y bien definidas o vagas, logrando un mejor entendimiento del servicio brindado por la administración pública.

D) *Análisis espacial.* Dentro de las funciones que caracterizan a un sistema de consulta SIG encontramos a las funciones de análisis espacial, fundamentales para apoyar en la resolución de decisiones del usuario, el producto AGAT tendrá las funciones de:

- *Análisis por Buffer.* Función que permite la obtención del área de influencia de una entidad a partir de una distancia.
- *Análisis de proximidad.* Función para analizar localizaciones o rasgos mediante medición de distancias entre ellos. La distancia entre dos puntos A y B puede ser medida según una línea recta o mediante el curso de una red tal como una red de calles.
- *Superposición.* Mediante la superposición de dos capas o mapas con rasgos espaciales y atributos asociados se crean capas o mapas resultado, con nuevos rasgos y relaciones entre atributos.

E) *Reporte de Servicios de alumbrado público.* Es una función implementada en el producto para reportar las lámparas dañadas que impiden la visibilidad de la población para el desarrollo de las actividades cotidianas.

F) *Consulta de Obra Pública.* Interfaz de consulta para la proyección a la ciudadanía de la obra pública generada por la administración 2009-2012.

G) *Impresión de Ficha Técnica de Obra Pública.* Es una función implementada que permite llevar el seguimiento de la obra pública mediante la impresión de la ficha técnica.

H) *Administración de Obra Pública.* Modulo implementado para el seguimiento dinámico de obra pública.

I) *Impresión de Reporte Obra Pública.* Es una función implementada que permite llevar el seguimiento de las obras públicas por región según la situación en que se encuentren.

J) *Quejas y Sugerencias.* Función implementada para la recolección de dudas, quejas y sugerencias por parte de la ciudadanía.

K) *Redes Sociales,* Ligas hacia las redes sociales que enlazan al SIGLerma con la ciudadanía.

3.4. Generación de la Base de Datos Geográfica

Diseño de Datos

El diseño de datos corresponde a la forma de representar el mundo real en un modelo de datos, de tal forma que éste sea útil para el usuario que los ve. Tal diseño debe estar sistematizado y homologado para tener una referencia clara del territorio. Con el objetivo de lograr lo anterior, se establecieron estándares de geo-referenciación en los cuales se crearían o transformaría la información geográfica, propuestos en base a la facilidad de localizar cualquier punto en la tierra, además de ser usada por la mayoría de herramientas geo-tecnológicas, tomando en cuenta la superficie del municipio.

Tabla 3-57. Estándares para la Homologación de Información Geográfica

Datum	**D_WGS_1984**
Proyección	Transversal de Mercator
Sistema de Proyección de coordenadas:	WGS_1984_UTM_Zone_14N
Escala	1:5000
Formato	.SHP

Una vez establecidos los estándares para la homologación de información geográfica se catalogó en dos vertientes para el tratamiento de ésta, de tal modo que en lo posterior pudiese conjuntarse mediante un identificador (id) el cual enlaza al objeto geográfico con sus atributos.

1. *Alfanumérica:* Letras, números y otros caracteres que aportan información cuantitativa y cualitativa la cual muchas veces es representada mediante un SIG o productos de salida como lo es un mapa.
2. *Gráfica:* Elementos gráficos que sirven como modelo para describir toda o una parte de la superficie terrestre que contiene información seleccionada, generalizada y simbolizada, generalmente conocida como *cartografía.*

Al mismo tiempo se generó un diagrama (figura 3-49) para simplificar el proceso de ordenación y estandarización de los datos geográficos, todo esto mediante diferentes técnicas según el tipo de datos que se obtuvieran de las diferentes fuentes de información. Existieron diferentes problemas como el tipo de dato (largo, entero, doble, texto, etc.), diferentes proyecciones cartográficas o sin proyección, digitalización errónea, modelos de datos geográficos incorrectos, etc. La figura 3-49" describe de manera genérica el procesamiento de la información todo con el objetivo de generar un repositorio de datos geoespaciles de calidad.

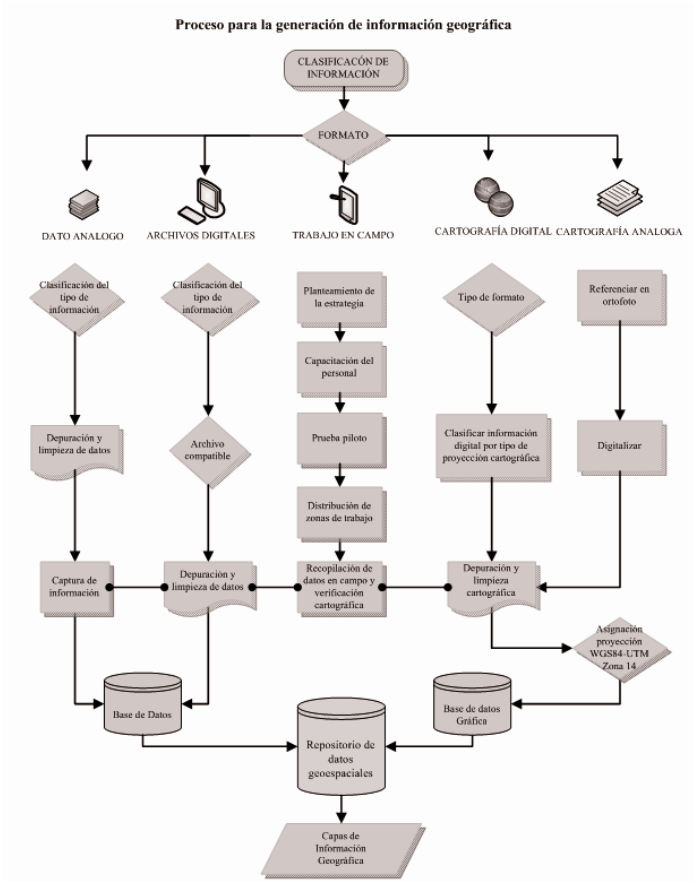


Figura 3-49. Proceso para la generación de información geográfica

Logística y recopilación de datos

Como es sabido, los componentes fundamentales de un SIG son los datos y éstos se llevan entre el 60-80% del presupuesto, es por ello que se tuvo estricto apego al proceso para la generación de información geográfica, teniendo como objetivo saber de dónde se extraerá la información y de acuerdo al tipo de dato tomar la acción pertinente para su tratamiento y adherirlo a un repositorio de datos geoespaciales, de acuerdo con el diagrama 1 del diseño de datos el tratado de la información fue la siguiente:

A) Datos análogos: Son aquellos que se encuentran escritos físicamente en hojas de papel, y por lo regular su resguardo es en archiveros que se clasifican de acuerdo al tipo de información, para convertir ésta a modo digital, se capturo en una interfaz la cual fue generada en un SGBD con el fin de facilitar su captura y gestión.

B) Archivos digitales: En el municipio de Lerma existe información digital, generada por cada departamento, la información se encuentra en su mayoría en formatos de texto .doc, de presentación .pptx y hojas de cálculo .xls. Estos datos fueron estandarizados y homologados en un SGBD para ser conjuntados en lo posterior en nuestro repositorio de datos geoespaciales.

C) Logística y recopilación de datos en campo: Es la fase que nos permite tomar las estrategias adecuadas para levantar datos en el terreno, es el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización, especialmente la distribución de la información geográfica, siendo de vital importancia ya que es la fases de mayor costo, de modo que si no se planifica correctamente se puede fracasar en la calidad de los datos y por consecuencia generar más gastos para su rectificación. Es por ello que se implemento la metodología siguiente:

- *Planteamiento de la estrategia:* Es la instancia donde se generan las alternativas para definir lo más óptimo en el quehacer del trabajo de campo, esto se realizó mediante un análisis FODA en el cual se genera un balance de *fortalezas* las cuales deben utilizarse, las *oportunidades* que deben aprovecharse, *las debilidades* que deben eliminarse y las *amenazas* que deben sortearse. Con la matriz FODA podemos tener una visión para toma de decisiones en cuanto al personal, infraestructura, tiempo, logística y recursos en materia de levantamiento de campo.
- *Capacitación del personal:* En esta fase se capacitó al personal en las diferentes técnicas de recopilación de datos y llenado de formatos predefinidos, así como la asignación y uso de herramientas de campo, como lo es el uso de equipos receptores GPS, distanciómetros, estaciones totales, entre otros, según el tipo de levantamiento de información.
- *Prueba piloto:* Después de capacitar al personal y haber definido la estrategia en campo se realizó una prueba piloto, la cual tiene como propósito dar un panorama de las dificultades con las que nos podemos encontrar en la recopilación de datos en campo, del mismo modo la prueba piloto sirve para retroalimentar la estrategia planteada en un principio y de ser necesario reestructurarla para tener mejores resultados.
- *Distribución del personal en la zona:* Es importante antes de empezar una recopilación de datos en campo reconocer el terreno donde se trabajará, pues esto da un panorama al recopilador, sobre los problemas que puede llegar a tener en el terreno.
- *Recopilación de datos en campo:* Trabajo que se ejecuta en el terreno para recopilar la información geográfica.

- *Depuración de datos y homologación:* Después de la recopilación de los datos en campo se depura y se homologa la información en escritorio, este tratamiento de información se realiza en paquetería GIS para generar las especificaciones establecidas con anterioridad.
- *Revisión de la información:* En esta fase se revisa la información con la finalidad de que cumpla con las especificaciones técnicas y de calidad, de no ser así se regresa al paso anterior.
- *Aprobación:* Se da el visto bueno para su integración en el repositorio de datos geoespaciales.

D) Cartografía digital: ésta fue tratada de acuerdo con el tipo de formato que existía en el municipio de Lerma, en este punto lo que más comúnmente se encontró fue .dwg que es una archivo nativo de los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), los errores que se encontraron fue de digitalización (diferentes tipos de modelo de datos, sin topologías, redundancia de información, los datos no tenían liga a la cartografía.) Todos estos errores fueron estandarizados y homologados en formato .SHP y se les asigno la proyección WGS84 UTM-zona 14.

Cartografía análoga: Este tipo de dato se encuentra en planos de papel los cuales fueron generados tiempo atrás como apoyo para ubicación de algún bien, servicio o delimitar su territorio, para integrar esta información en nuestro repositorio de datos geoespaciales, tomamos como referencia ortofotos digitales escala 1:3000 y de ahí se partió para generar la nueva cartografía digital basándonos en los planos históricos que se encontraban dentro de la administración pública del municipio de Lerma.

Creación de la Base de Datos Geográfica

Después de la homologación de la información geográfica se concibió la forma en que se relacionan y almacenan las entidades geográficas dentro del repositorio de datos geoespaciales, para ello se estableció una definición completa de los elementos y sus atributos a modo de cumplir el alcance del proyecto.

El modelo lógico-conceptual (Figura 3-50) muestra la solución y funcionalidad para la creación del modelo físico, en la que se incluye la información a utilizar y su estructura de almacenamiento.

A partir del modelo lógico conceptual se creó un repositorio de datos geoespaciales el cual contiene las relaciones geográficas almacenadas en formato .SHP a la cual se accede para generar los productos informativos necesarios en la administración pública municipal de Lerma.

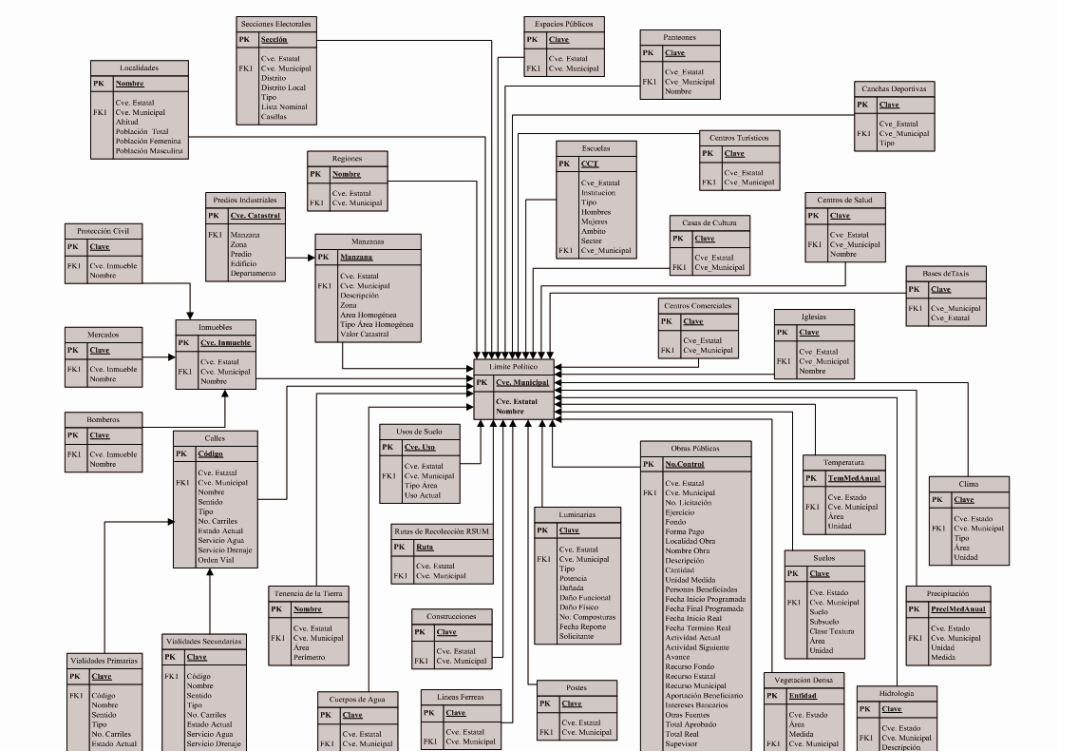


Figura 3-50. Modelo lógico-conceptual BDG

3.5. Desarrollo de la Aplicación

Análisis y Diseño de la Aplicación

Para lograr el alcance planteado del proyecto, se implementó una aplicación geo-informática en plataforma web que permite la consulta de información geográfica, obra pública, alumbrado público, recolección RSUM, para una mejor prestación de servicios públicos dentro de la administración 2009-2012 en el municipio de Lerma. Desprendido de esto, las actividades que se definieron para ejecutar dentro del producto son:

- Acceder a la Aplicación
- Visualizar Capas de Información
- Consulta de Datos
- Ubicar Entidades Geográficas(Calles, Localidades, Manzanas, Escuelas)
- Administrar Servicio de Alumbrado Público
    - Reportar Luminarias
    - Consultar Luminarias Reportadas
    - Imprimir Reporte de Luminarias Dañadas
- Obra Pública
    - Consultar Obra Pública
    - Imprimir Ficha Técnica de Obra Pública
- Administrar Obra Pública
    - Consultar Ejecución de Obra Pública
    - Generar Seguimiento de Obra Pública
    - Imprimir Reporte de Obra Pública
    - Imprimir Ficha Técnica Administrativa de Obra Pública
- Recolección de Residuos Sólidos Urbanos Municipales
- Consultar Sector Industrial
- Buffer
- Proximidad
- Superposición
- Enviar dudas y sugerencias

En este contexto se desarrollaron los casos de uso de los requerimientos funcionales indicando a mayor detalle lo que se requiere obtener del producto en base a acciones ordenadas por el usuario, visualizados en el diagrama "caso de uso general" siguiente (Figura 3-52)

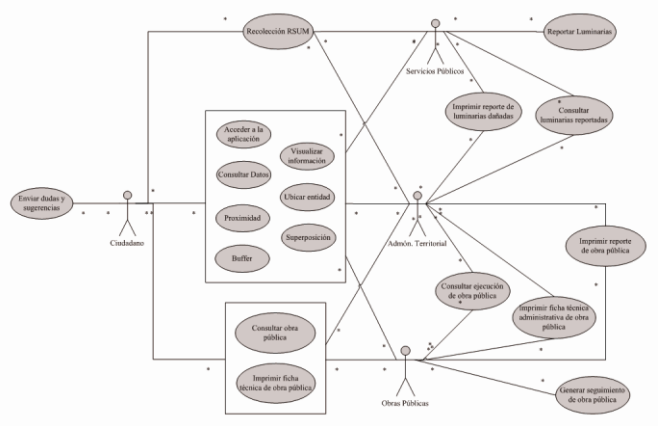


Figura 3-52. Casos de uso general

A partir del conocimiento a detalle de la funcionalidad del producto se generó el diseño conceptual y lógico del dominio del aplicativo AGAT. Para lograr el objetivo perseguido se establecieron 12 clases y 14 interfaces en las que el usuario interactúa directamente al consultar el sistema, las cuales se presentan a continuación asociadas entre ellas (figura 3-53).

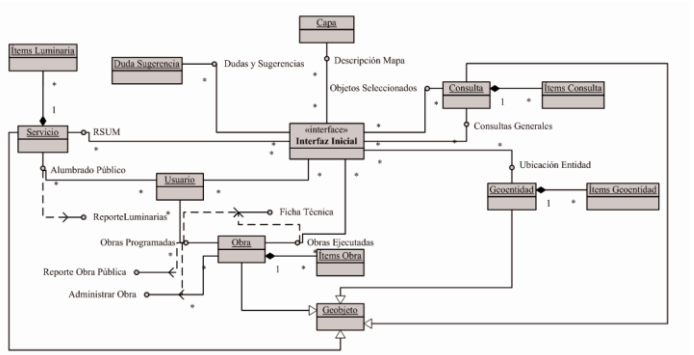


Figura 3-53. Modelo lógico-conceptual del AGAT

Construcción del AGAT

Con base en el análisis y diseño de la aplicación, la arquitectura propuesta para el desarrollo de la aplicación web consistió en una aplicación en Active Server Page (ASP) .NET que sirva de enlace entre los clientes remotos y el repositorio geográfico ubicado en el servidor, de esta forma cualquier usuario que esté conectado a la red y con navegador Microsoft® Internet Explorer®, Safari® o Mozilla Firefox® podrán consultar la información geográfica por medio de la aplicación, sin instalar ningún software en el cliente.

La plataforma Microsoft® .NET proporciona las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones *web* en forma distribuida, entre las que se encuentran Microsoft® .NET Framework y Visual Studio® .NET. Una de las principales características de .NET Framework es que su entorno de ejecución se basa en "*Common Language RunTime*" (CLR), el cual permite desarrollar aplicaciones en ASP .NET y así ejecutar aplicaciones en el servidor con clientes distribuidos en *internet* o *intranet*. Asimismo, evita conflictos de versiones y proporciona seguridad de ejecución en la red. ASP .NET es un componente de .NET Framework, el cual puede contener programas escritos en cualquier lenguaje soportado por éste, en nuestro caso la aplicación está escrita en C#.

Para iniciar los servicios de ASP.NET en la implementación de la aplicación web fue requerido el servidor web *Internet Information Services* (IIS), el cual tiene la capacidad de ejecutar paginas Active Server Page Extended (ASPX), y que permite visualizarlas local y remotamente.

Así mismo, para la visualización de mapas en web fue necesario el uso del servidor de mapas *MapGuide® Open Source* (OS); un desarrollo de código abierto para construir aplicaciones *Web mapping*. Está basado en aplicaciones de información en línea, SIG interactivos, procesamiento de imágenes rápidas y confiables, con el fin de visualizar, consultar y analizar información geográfica a través de la red. *MapGuide® OS* permite crear y publicar mapas e información de diseño de forma rápida y sencilla para su distribución interna o en la web.

Sin embargo, usar solamente el servidor de mapas no era suficiente para lograr la funcionalidad solicitada, puesto que se requería acceder a las funcionalidades de *MapGuide® OS* desde la aplicación ASP .NET por lo que fue necesario usar la Application Programming Interface (API) de éste, en extensión .NET para el desarrollo de aplicaciones que nos permitió manipular la información geográfica en tiempo de ejecución dando un uso más dinámico por parte del usuario a la aplicación.

Otro punto importante en la generación de la aplicación es la conexión a la base de datos geográfica, está se realizo mediante el uso del *Feature Data Objects* (FDO) API; que proporciona una interfaz genérica basada en comandos para un serie de fuente de datos de distintas tecnologías, la cual permite almacenar, recuperar, actualizar y analizar datos geográficos, usando el proveedor OSGeo FDO para archivos .SHP fue posible acceder a los datos del repositorio de datos geoespaciales. Posteriormente se diseñó y creó la interfaz grafica de la aplicación web con del uso de la arquitectura descrita anteriormente, se desarrolló el sitio web a partir del modelo conceptual el cual nos dicta la forma de las páginas y elementos presentes en el dominio del AGAT, así como su agrupación entre ellos.

Implementación y Pruebas

La implementación del producto AGAT se realizó en dos fases. La primera parte fue montar la aplicación sobre un servidor local, en el que se alojo el repositorio de datos geoespaciales y la aplicación web con acceso a cualquier ordenador conectado a la red local del Ayuntamiento. La segunda fase fue montar la aplicación web sin las funcionalidades de administración y una réplica del repositorio de datos geoespaciales en un servidor conectado a la web, está se realizó en el Sistema Estatal de Informática (SIE), el cual nos otorgó las facilidades

para el uso de su infraestructura, de tal modo que podemos acceder a la aplicación desde internet con la dirección *http://www.edomexico.gob.mx/SIGLerma*.

Los requerimientos de implementación para el producto AGAT en sus dos fases fueron: un servidor de hardware con capacidad en memoria RAM de 2 GB, espacio libre en disco duro de 5 Gb, con conexión Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). En cuanto a los requerimientos del software: sistema operativo *Windows® Sever®* 2008, *Microsoft® .NET Framework 2.0* para soporte de aplicaciones .ASPX, IIS como servidor web y servidor de mapas MapGuide® OS 2.1. Los requerimientos en el equipo del cliente en cuanto a hardware son: memoria RAM de 526 Mb mínimo, espacio libre en disco de 30Mb, con conexión TCP/IP. En cuanto a *software* sólo se requiere tener el navegador *Microsoft® Internet Explorer®, Safari® o Mozilla Firefox®*. Las pruebas se ejecutaron considerando los escenarios básicos y alternos donde se probaron las funcionalidades de la aplicación, así como las ideas de pruebas generados por el equipo de desarrollo.

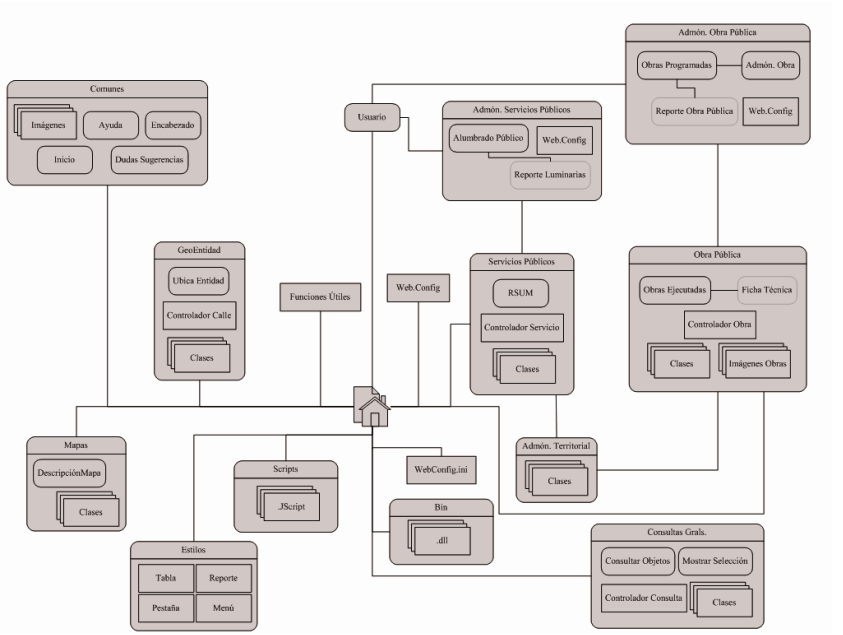


Figura 3-54. Modelo conceptual web AGAT

4. Descripción y Análisis de Resultados

Una vez montada la aplicación AGAT y divulgada al interior de la administración pública Municipal de Lerma, se ha visto un flujo y acceso a la información geográfica de manera más eficiente y rápida, lo cual soluciona problemas sencillos de ubicación o de referencia, así como dificultades de análisis y/o respuesta en la demanda de servicios públicos. La mejora en los servicios públicos de carácter territorial hacia la ciudadanía es palpable, puesto que los directivos buscan tomar decisiones desde una base territorial, obteniendo mejores resultados al momento de ejecutar una acción, un ejemplo de ello es la recolección de RSUM.

Al tener un repositorio geográfico homologado no existen discrepancias en el flujo de la información geográfica, logrando con ello que cada entidad y dependencia de la administración pública municipal de Lerma estén en un mismo contexto sobre la infraestructura municipal. La herramienta geotecnológica generada ha sido una parte medular del proyecto ya que por medio de ella se gestiona la administración de servicios públicos, dando una visión global y detallada de la demanda de éstos, así como su distribución en la ciudadanía buscando homogeneizar los servicios. Así mismo esta herramienta sirve de apoyo básico para la ubicación sencilla de la infraestructura que se encuentra en el municipio, así como los factores que la rodean. El implementar el SIGLerma desde el interior de la administración pública municipal reduce en gran medida los costos que conllevan la generación de una base de información geográfica y el desarrollo de geotecnologías.

5. Conclusiones

El uso de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) hasta hace algunos años en nuestro país no se había implementado del todo en los sectores públicos o privados donde se tomaban decisiones que tenían relación con datos espaciales; la administración pública actual enfrenta retos mucho más desafiantes, pues el desarrollo de la tecnología y la presión social por parte de los ciudadanos para recibir mejores servicios alerta a los servidores públicos sobre una demanda importante de mejora en el proceso de toma de decisiones. Se trata entonces de impulsar el uso de este tipo de tecnologías al interior de la administración pública municipal porque consideramos que es la herramienta que permite mejorar la toma de decisiones de carácter territorial, pues sabemos como ya se mencionó que alrededor del 80% de las problemáticas que se presentan sobre el territorio, tiene que ver con asuntos geográficos.

En la actualidad el SIGLerma sirve como apoyo para la administración de servicios públicos como lo es el mantenimiento alumbrado público, seguimiento y evaluación de la recolección de RSUM, seguimiento y evaluación de obra pública, estudios de factibilidad para la ubicación de un bien o servicio, tenencia de la tierra, además de administrar la información estadística y geográfica del municipio de Lerma para su divulgación y uso. El aplicativo AGAT se encuentra en la *web* sirve como vínculo con la ciudadanía para atender la prestación de servicios públicos, reportando así alguna luminaria descompuesta, ruta de recolección de RSUM o enterándose de la obra pública que se ejecuta en su comunidad, además de poder hacer búsquedas de la infraestructura municipal. El SIGLerma ejemplifica el esfuerzo de recuperación, generación y homologación de información geográfica que pasó de estantería a un uso estratégico en complemento con la implantación de TIG, sumando el interés y solidaridad entre sus diferentes actores, siempre buscado un objetivo común. Como menciona Tomlinson (2007, p.199) "un buen personal de SIG es una herramienta de valor incalculable para un gerente. El dinero pude comprar más hardware y software, pero no puede crear la motivación y el entusiasmo que son esenciales para un personal y un SIG exitoso". De tal modo que sin haber

antecedente alguno en el Estado de México podemos afirmar que este proyecto es el primer SIG municipal generado desde el interior de la administración pública de este orden.

Sin duda alguna, la actual revolución digital, nos acerca aún más a ir cerrando la brecha tecnológica que existe en nuestro país, el SIGLerma es, sin ninguna objeción, el resultado de un trabajo de investigación profesional a conciencia que llevó alrededor de dos años para su desarrollo, lo que representa hoy para la administración pública 2009-2012 del municipio de Lerma no un gasto, sino una inversión; pues le ha dado la oportunidad a los funcionarios públicos que ahí desempeñan su trabajo, una mejor herramienta para tomar decisiones que tienen que ver con la mejora de los servicios públicos municipales; para nosotros representó el proyecto en SIG más ambicioso y una ventana de oportunidad para poder encontrar un empleo.

Referencias bibliográficas

Buzai, Gustavo Daniel, (1999). Las nuevas Geotecnologias. Buenos Aires, Argentina: E-lugar Editores.

Bosque, Joaquín, (1997). Sistemas de Información Geográfica (2da ed.). Madrid, España: Editores Rialp, S.A.

Castro, Ricardo Luis, Administración Pública y La Cuestión Federal; la Red, Nación, provincias y municipios, [documento en línea], Argentina, Universidad nacional de Villa Maria, 2005, [citado 11/01/11], (No. 1), Formato Pdf, disponible en internet: http://www.aaeap.org.ar/ponencias/congreso5/ponencias_completas/CASTRO,%20RICARDO%20-%20Modernizacion%20de%20la%20gestion%20de%20la%20informacion%20territorial%20utilizando%20SIG.pdf

Cruz Gregg, Ma. Angélica, Servicios Públicos de calles, Parques y Jardines, [documento en línea], México DF, Biblioteca Jurídica Virtual, 2004, [citado 11/01/11], (No. 2), Formato Pdf, disponible en internet: http://www.bibliojuridica.org/libros/4/1736/37.pdf

James L, Johnson, (2000). Bases de Datos; Modelos, Lenguajes, Diseños. México: Oxford

Jorrin Abellan, Sergio, Arquitectura e-gis y su aplicación en los servicios basados en la Localización, [Docuemnto en linea], España, Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection, 2005, [citado 20/01/11], (No. 1), Formato .Doc, Disponible en Internet: www.isprs.org/publications/related/semana.../front/.../S24.doc

Tomlinson, Roger, (2007). Pensando en el SIG (3er ed.), California, USA: ESRI Press.

Seen A. James, (1992). Análisis y Diseño de Sistemas de Información. México (2da ed.). México: Editorial Mc Graw Hill.

Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, Última reforma publicada DOF 29-07-2010. México Distrito Federal.

Gaceta de Gobierno, Estado de México (2009): Lineamientos y Especificaciones Técnicas Para la Generación y Actualización de Información Geográfica. (No. 28). Toluca de Lerdo, México.

Prontuario del Estado de México (2009): Ley Orgánica Municipal del Estado de México. Toluca de Lerdo, México.

Pisan, Francis, (2002). La nueva geografía de Internet, Revista Chasqui No. 79, pp. 66-71.

ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD DE LAS TIENDAS DE AUTOSERVICIO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE TOLUCA, MEDIANTE TÉCNICAS DE SIG

Rubén Flores Flores1, Rodrigo Huitrón Rodriguez2, Raquel Hinojosa Reyes3, Francisco Alejandro Izquierdo Peralta3

RESUMEN

Se analiza la accesibilidad y nivel de interacción espacial de las tiendas de autoservicio en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca (ZMCT), con respecto a su población, en función de la red vial urbana que articula este territorio. Este análisis se sustenta principalmente en técnicas cuantitativas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) Arc View 3.3 en específico sus módulos 3D Analysis y Network Analysis, así como MapInfo 8.5 y su herramienta Voronoi. Los resultados obtenidos mediante estas técnicas se remitieron a mostrar las variaciones espaciales continuas de accesibilidad de las tiendas de autoservicio y la identificación de los lugares con mayor nivel de interacción espacial (atracción), con lo que finalmente se elaboró una zonificación donde se muestra las posibilidades de población de la ZMCT para acceder a estos centros de consumo.

Palabras clave: Accesibilidad, interacción espacial, técnicas cuantitativas, SIG

ACCESSIBILITY ANALYSIS OF SELF-SERVICE STORES IN THE METROPOLITAN AREA OF THE CITY OF TOLUCA, THROUGH GIS TECHNIQUES

ABSTRACT

The accessibility and spatial interaction level of convenience stores in the metropolitan area of Toluca (ZMCT) are analysed with respect to its population, according to the urban road network that links the territory. This analysis is based primarily on quantitative techniques to provide Geographic Information Systems (GIS) Arc View 3.3 in particular their modules 3D Analysis and Network Analysis and MapInfo 8.5, as well as Voronoi tool. The results obtained by these techniques were referred to show continuous spatial variations of accessibility to supermarkets, and the identification of areas with higher level of spatial interaction (attraction), which eventually drew up a zoning which shows the possibilities of the population within ZMCT to have access to these centers of consumption.

Key words: *Accessibility, spatial interaction, quantitative techniques, GIS.*

Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec s/n, C.U. (México). E mail: [1]superpantera2@hotmail.com, [2] huitronrr@gmail.com, [3] r_hinojosa28@hotmail.com, [4]horusl7@hotmail.com

1. Introducción

Los efectos de los procesos globalizadores han empujando al comercio moderno, a través de sus diferentes esquemas como lo son las tiendas de autoservicio que han transformado la estructura y funcionamiento comercial de diferentes ciudades de nuestro país en las últimas décadas, ocasionando cambios sobre el espacio geográfico de estas aglomeraciones urbanas. Las tiendas de autoservicio son puntos importantes de consumo por la diversidad de bienes y servicios que ofertan a los consumidores; dependiendo de las características que tiene cada formato de tienda aumenta su nivel de especialización. Por esta razón la demanda ha aumentado entre los diversos sectores de la población.

La distribución espacial de las tiendas de autoservicio sobre las zonas urbanas ha coincidido con el crecimiento de estas, lo que significa que este tipo de establecimientos en ocasiones sigue la dirección de los nuevos sub-centros de desarrollo en dicha urbes. En otras ocasiones la distribución de estas tiendas genera aglomeraciones en ciertas zonas dando lugar a una especialización de los espacios urbanos, dicho proceso es conocido como economías de localización, lo que propicia que exista una mayor atracción de consumidores. Ante esta situación, se puede decir que la ubicación de las tiendas de autoservicio en cierta zona de la ciudad es indicativa del nivel de complejidad económica o desarrollo económico de dicha zona.

En este sentido el desarrollo económico y social de un espacio geográfico comienza a tener sustento en diferentes tipos de movimientos realizados sobre las redes de transporte y comunicaciones, por lo que es fundamental que estas se encuentren en un estado funcional y eficiente. A nivel intraurbano estas condiciones resultan importantes para acceder a los servicios distribuidos en lugares concretos de la ciudad.

Las condiciones del comercio y de la infraestructura vial parecen estar implícitamente ligadas una con otra, ya que a través de las vialidades los consumidores pueden movilizarse hacia las tiendas de autoservicio reduciendo así el efecto de la fricción de la distancia que es una característica que determina a la accesibilidad física o locacional. Haciendo referencia a lo anterior el análisis espacial, a través de sus técnicas de investigación entre ellas las técnicas cuantitativas que ofrecen los SIG, brinda elementos para medir las diferentes accesibilidades e interacciones espaciales en diferentes escalas de análisis.

La problemática a estudiar en el presente trabajo surge al considerar el incremento de las tiendas de autoservicio, en las últimas décadas, que se ha manifestado en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca (ZMCT) debido, en términos generales, a la injerencia de procesos globalizadores y al crecimiento poblacional de la zona, esto a su vez ha originado una novedosa distribución espacial de las tiendas de autoservicio que en el plano parece corresponder con el desarrollo del territorio metropolitano.

Hoy en día, las tiendas de autoservicio constituyen un pilar en la estructura comercial en el espacio de económico de la ZMCT, pues cumplen la función de centros de abastecimiento cotidiano para la población, misma que busca disponer de los bienes y servicios que ofrecen las tiendas de autoservicio. Esta disponibilidad está determinada por la accesibilidad tanto física como social que presenta cada tienda de autoservicio.

En el caso de este trabajo se hace la referencia a la accesibilidad locacional. De este modo la red vial urbana que articula el territorio de la ZMCT juega un papel muy importante en relación de la distancia entre la población y las tiendas de autoservicio.

Ante dicha problemática, el objetivo general de este documento de investigación se centra en analizar la accesibilidad y el nivel de interacción espacial (atracción espacial) de las tiendas de autoservicio en la ZMCT, en función de su red vial urbana.

Este trabajo se justifica con base en el interés de estudiar la dinámica comercial por su complejidad y novedad sobre determinados territorios, así como adentrarse a la organización de las redes que articulan a un territorio que son fundamentales para su funcionamiento, bajo el rigor del análisis espacial, que tiene la ventaja de auxiliarse en técnicas cuantitativas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como son los casos del *ArcView* y del *Mapinfo* que permiten hacer cálculos sobre las redes y evaluar las condiciones locacionales de ciertas actividades económicas como el comercio, y que proporcionan los insumos necesarios para el análisis de accesibilidad.

La estructura de este trabajo se presenta de la siguiente manera, en primera instancia se hace introducción del trabajo, para enseguida hablar del estado de la cuestión. Después se abordan los apartados referentes al caso de estudio que recae en el análisis de accesibilidad, la delimitación espacial y temporal de nuestra zona de estudio, la descripción de los datos utilizados y la descripción de la metodología seguida para hacer los cálculos y representaciones de la accesibilidad e interacción espacial (atracción gravitacional). Finalmente se abordan los apartados de discusión de resultados y las respectivas conclusiones.

2. Estado del arte del tema en cuestión

La accesibilidad es un elemento básico en el análisis locacional de cualquier actividad económica, con dos acepciones generales la física y la social, la primera de ellas con un enfoque espacial de la actividad y la segunda con un enfoque conductual y cultural de los grupos sociales que buscan acceder a esta actividad, por esta razón se han abundado en los intentos de su cuantificación por la importancia relativa para cada tipo de actividad económica. En lo que se refiere a la accesibilidad física o locacional se puede señalar que está estrechamente ligado al concepto de "distancia" en este sentido la accesibilidad es una función de la "cercanía" o "proximidad" a un determinado bien o servicio. Gutiérrez Puebla (1998) señala que, actualmente, la accesibilidad depende cada vez más de la distancia a las infraestructuras de transportes pues estos son, en definitiva, los que permite el acceso a los bienes y servicios. Es por ello que en este trabajo se decidió calcular la accesibilidad y el nivel de interacción espacial de las tiendas de autoservicio basados en la red vial urbana de este territorio metropolitano, para tal objetivo se emplearon las técnicas cuantitativas de los SIG como el análisis de redes, delimitación de áreas de influencia, interpolación de puntos y representación de isolíneas que ofrecen en específico los software *ArcView* 3.3 y *MapInfo* 8.5.

Las técnicas cuantitativas de los SIG usadas para poder llevar a cabo el análisis de accesibilidad de este trabajo se fundamentan en los principios teóricos la Teoría del Lugar Central, la Teoría Gravitacional y la Teoría de la Interacción Espacial propios del estudio locacional, así como de la Teoría de los Grafos que se refiere al análisis de redes. De igual forma estas técnicas de los SIG, han sido utilizadas en anteriores trabajos geográficos demostrando un grado de confiabilidad por los resultados obtenidos,

Tal es caso del Proyecto de investigación titulado *"El comercio moderno al menudeo de alimentos industrializados en la ciudad de Toluca y su zona metropolitana"*, dirigido por Rodrigo Huitrón Rodríguez en el 2006 y desarrollado en la Facultad de Geografía, cuya clave de registro es UAEM2289/2006, y que es el antecedente directo y la base fundamental para el desarrollo de este trabajo. Entre algunas aportaciones de

dicho estudio se distingue el análisis locacional de las tiendas de autoservicio en el cual se delimitaron las áreas de influencia que tienen los diferentes formatos de tiendas de autoservicio en la ZMCT además de que se identificaron las variables que orientaron a su ubicación.

Otro trabajo geográfico que ha sido un marco de referencia para esta investigación es el titulado *"Análisis de accesibilidad e interacción espacial a través del potencial dinámico: su aplicación a los partidos de la cuenca del Río Luján en Argentina*", realizada por el Alejandra Mieréz en el 2004, en la Universidad Nacional de Luján, Argentina. Esta tesis hace referencia al análisis de la redes y se emplea la teoría de los grafos para determinar las características topológicas de la red carretera de la cuenca del Rio Lujan y de cómo éstas intervienen para determinar la accesibilidad a los diferentes partidos (localidades) pertenecientes a esta cuenca.

Otro de esos trabajos geográficos es el denominado "*La organización espacial de la red de carreteras de Aragón. Aplicación metodológica de la teoría de los grafos"* realizado por José Garrido Palacios en 1995, en el Departamento de Geografía y Ordenamiento del Territorio de la Universidad de Zaragoza, España, en el cual se hace el análisis de la organización espacial de los diferentes tipos de redes viales en la Provincia de Aragón, mediante la aplicación de la Teoría de los Grafos. Ambos trabajos muestran la aplicación de cálculos en sus redes viales, para obtener posteriormente matrices de las características físicas de las redes (como distancia, número de nodos, número de arcos, etc.). Con estas matrices se aplican índices topológicos de accesibilidad que dan como resultado la accesibilidad de las localidades de sus zonas de estudio.

Finalmente también es importante mencionar como referencia para este trabajo el artículo de Julián Mora y José Antonio Gutiérrez de 2003, que lleva por nombre *"Aplicación de técnicas SIG en la planificación del transporte por carretera en Extremadura (España)"*, en el cual se aborda el análisis de redes e interpolación de puntos como una herramienta muy apropiada para el cálculo de los niveles de accesibilidad y la elaboración de la cartografía de los resultados para los núcleos de población de Extremadura, mediante un SIG, y que sirven como instrumento para la planificación de infraestructuras en el territorio desde un punto de vista económico y espacial.

Mientras que estos últimos trabajos se refieren a la accesibilidad de las localidades, la presente investigación se centra en la accesibilidad a las tiendas de autoservicio, ello tiene un sentido de correspondencia ya que tratan de comprender el papel que juegan las redes viales para poder acceder a ciertos puntos (como localidades o servicios) de sus zonas de estudio.

3. Materiales, datos y métodos

3.1. El caso de estudio

El análisis de la accesibilidad e interacción espacial de las tiendas de autoservicio se llevó a cabo, en primer lugar, a partir de la conceptualización del caso a estudiar que es estructura comercial de la ZMCT en donde se consideran a los siguientes elementos que la conforman: la red vial urbana, las tiendas de autoservicio y la población.

Enseguida se realizó su moldeamiento en los SIG antes mencionados, donde cabe hacer notar que estos tres elementos se conciben como grafo, es decir que las tiendas y la población son los nodos y la red vial se comporta como los conectores de los nodos de este grafo. A partir de este modelo, y con la delimitación de las áreas de influencia de los cuatro formatos de tiendas de autoservicio para cuantificar sus consumidores mediante la herramienta Voronoi, se procedió a hacer una serie de mediciones topológicas basadas en índices de accesibilidad, iniciando con la medición de la distancia a lo largo de la red vial urbana usando el camino mínimo entre los diferentes formatos de tiendas de

autoservicio y la población, para este caso se trabajó con las áreas geo-estadísticas básicas (AGEB) ya que esta unidad espacial definida por el INEGI nos permite hacer una representación más significativa de los diferentes grupos de población de los municipios de la ZMCT; consecuentemente se hizo la medición del tiempo de recorrido de la distancia sobre de la red vial urbana de todas las tiendas de autoservicio sin importar el formato y las AGEB.

Finalmente se realizó la medición del nivel de interacción espacial, que se refiere principalmente a la atracción espacial y que se obtuvo a partir de la ponderación de las tiendas de autoservicio con los datos de la cantidad de posibles consumidores obtenidos mediante la herramienta Voronoi, a ésta se le incorporó la medición de la distancia de todas las tiendas sin considerar su formato sobre la red vial y las AGEB.

A partir de esto, se realizó el proceso de interpolación mediante el método *Inverse Distance Weighted* (IDW) de los valores obtenidos en estas mediciones con lo que se generaron mapas que representan las distribuciones continuas de accesibilidad. Con base en estas representaciones se elaboró un mapa final donde se determinaron las áreas con mayor y menor accesibilidad, al igual que se identificó a las zonas con mayor nivel de interacción espacial o atracción espacial; con la interpretación de esta zonificación se finiquita el análisis de accesibilidad.

Para el desarrollo de este análisis de la accesibilidad es importante resaltar los procesos técnicos cuantitativos que ofrecen los SIG como la herramienta Voronoi, medición del camino mínimo y la interpolación IDW, de los cuales el primero se realizó en *Mapinfo* 8.5 y los otros dos con los módulos de *ArcView* 3.3 *Network Analysis* y 3D-*Surfer*.

Conocer las distribuciones espaciales de la accesibilidad así como identificar el nivel de interacción espacial de estas tiendas, nos dan un panorama amplio de las características de la localización de este tipo de comercio moderno, y nos ayuda a comprender de una mejor manera como se ha ido confeccionado esta estructura comercial en la zona de estudio y posiblemente pronosticar cuál será su futura configuración espacial y hacia donde apuntará el desarrollo del territorio metropolitano.

Delimitación espacial

Como se mencionó anteriormente el marco espacial donde se llevó a cabo nuestro estudio es la ZMCT, una aglomeración urbana enclavada en la parte centro del Estado de México y que se encuentra a unos 65 km de la ciudad de México. Para este estudio la delimitación espacial de la ZMCT comprendió a seis de los siete municipios que la conforman, estos son Toluca, Metepec, San Mateo Atenco, Lerma, Almoloya de Juárez y Zinacantepec, que aproximadamente cuenta una superficie de 2,000 km^2 y 1'388,165 habitantes; ésta área mantiene una continuidad con la distribución de su población, además de que existe una evidente correspondencia con sus estructuras viales y con sus centros consumo.

Cabe explicar que esta área urbana cuenta con una red vial urbana de carácter radial- concéntrico, que se encuentra estructurado por cuatro sistemas arteriales que son: las principales y las menores, así como los colectores urbanos y las calles, a su vez esta red vial es la que permite los desplazamientos interurbanos e intraurbanos en la ZMCT y sobre ella se localizan los cuatro formatos de tiendas de autoservicio, bodegas, supermercados, hipermercados y club de membresía que en total suman 42 pero para este estudio se consideraron solo 39 por su importancia en la región. Mientras que la población se encuentra constituida por 364 AGEB, donde la más alta concentración poblacional y económica se ubica en la parte centro-sur de la ZMCT (figura 3-58).

Delimitación temporal

La temporalidad del estudio está dada por la fuente de los datos. En lo que se refiere a la red vial urbana se retoma de las calles de las manzanas de la base cartográfica de la ZMCT del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el año 2005 y se actualizó con el plano de Guía Roji del año 2010, al igual las 364 AGEB corresponden a la base cartográfica del SCINCE del año 2005. Los datos de las 39 tiendas utilizadas para este estudio, tienen una temporalidad más actual, esto de acuerdo al levantamiento de la información que se realizó en el año 2010.

3.2 Los datos

A continuación se hará una descripción más detallada de los datos utilizados en este estudio y que corresponden a los elementos de la estructura comercial de la ZMCT. La base cartográfica del SCINCE, a partir de la cual se construyó la red vial, solo contaba con la traza urbana, el nombre de calles e identificador, por tal motivo se tuvo que actualizar incorporándoles los atributos de sentido, categoría y velocidad promedio de la arteria. Aquí es necesario precisar que estos datos se basaron en el reglamento de tránsito estatal, el cual indica que la velocidad máxima de los perímetro de los centros de población será de 50 km/h, es decir para las arterias colectoras y calles; mientras que para las zonas cercanas a los centros educativos, oficinas públicas, unidades deportivas, iglesias, hospitales, comercios y demás será de 20 km/h, es decir, para las arterias principales y arterias menores. La actualización de la red vial también se basó en el plano de Guía Roji, un plano de carácter comercial que muestra las nuevas prolongaciones viales de la ZMCT. Los datos de la red vial urbana quedaron resumidos en una base cartográfica-alfanumérica de tipo lineal.

Hablando del caso de los datos de las tiendas de autoservicio, estos se obtuvieron gracias a un levantamiento de información en campo donde se obtuvo, de las 39 tiendas, su localización y el tipo de formato, este levantamiento de información fue complementado por los directorios de la Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales (ANTAD), la contabilización de las tiendas fue de 11 hipermercados, 7 supermercados, 18 bodegas y 3 clubes de membresía. Siendo más explícitos, esta tipificación del formato de tiendas se debe en gran medida a la superficie de venta, el tipo de construcción, cantidad y diversidad de servicios y productos que ofrecen. El resultado de los datos de estas tiendas fue simplificado en una base cartográfica-alfanumérica de tipo puntual.

Reiterando que la población está conformada para el área de estudio por 364 AGEB de la base cartográfica del SCINCE los atributos con los que cuentan estas AGEB son principalmente datos demográficos y económicos en general. Se debe subrayar que estas AGEB son áreas que comprenden características demográficas similares pero son polígonos con áreas inexactas, por lo que para hacer más sencillo su manejo en los cálculos de accesibilidad se tomó el nodo central del polígono de cada AGEB.

Existen otros datos complementarios que nos ayudaron al análisis de accesibilidad, sobre todo en el modelamiento en los SIG y en la representación de resultados, que quedó comprendida en una base cartográfica de los municipios de la zona de estudio. Finalmente, a todas estas bases cartográficas-alfanuméricas se les georeferenció con una proyección UTM y con el datum WGS 84, ya que mediante esta georeferenciación en las bases se pueden hacer cálculos de distancias en metros más precisos.

3.3. Técnicas de análisis

En este apartado se explican las técnicas cuantitativas en los SIG para poder llevar a cabo el cálculo de accesibilidad y el nivel de interacción espacial.

Modelación de la estructura comercial de la ZMCT

Se llevó a cabo la confección, actualización y georeferenciación de las bases cartográficas-alfanuméricas, antes expuestas, para posteriormente realizar la modelación en los SIG (*MapInfo* 8.5 y *ArcView* 3.3) con la unión de estas bases, en donde quedaron interpretados los elementos de la estructura comercial como un grafo.

Cálculo de la accesibilidad

Este cálculo se hizo con las mediciones hechas en el grafo, las cuales se basaron en los índices de accesibilidad real local, el de accesibilidad real regional y el cálculo de tiempo real de trayectoria realizados por Buzai (2009) que se sustentan en la teoría de los grafos. Los índices se expresan de la siguiente manera:

a) *Índice de accesibilidad real local (AR_i):* Se calcula a partir de realizar la sumatoria de la distancia a través de la red vial entre la tienda de autoservicio (i) y las 364 AGEB de la ZMCT(j) con la expresión:

$$AR_i = \sum dr_{ij} \quad (1)$$

Donde:

AR_i = es accesibilidad real local para la población de las 364 AGEB de la ZMCT(j) con respecto a la tienda de autoservicio (i)

$\sum dij$ = es la suma de las distancias a través de la red vial entre la tienda de autoservicio (i) y las 364 AGEB de la ZMCT (j)

b) Índice de accesibilidad real regional (AR_r): Se deriva del cálculo anterior realizando la sumatoria de la totalidad de resultados.

$$AR_r = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} dr_{ij} \quad (2)$$

c) Cálculo de tiempos de trayectoria sobre la red: Los tiempos de recorrido sobre la red se calcularon al considerar el tiempo promedio de viaje de un vehículo que circula sobre el territorio metropolitano, que es de 20 k/m en arterias principales y menores, y de 50 km/h en arterias colectoras y calles. Con la obtención de los tiempos de recorrido y con la consideración de las distancias sobre la red vial, se explican los siguientes índices para la obtención de la accesibilidad de tiempo real.

d) Índice de accesibilidad de tiempo real local (ATR_r): Se calcula a partir de realizar la sumatoria del tiempo de recorrido de la distancia a través de la red vial de la ZMCT entre la tienda de autoservicio (i) y de las 364 AGEB de la ZMCT (j)

$$ATR_r = \sum dtr_{ij} \quad (3)$$

Dónde: ATR_r= es la accesibilidad de tiempo real de recorrido a través de la red vial para la población de las 364 AGEB de la ZMCT (j) con respecto a la tienda de autoservicio (i)

$\sum dtr_{ij}$= es la suma del tiempo de recorrido de la distancia sobre la red vial de la ZMCT entre la tienda de autoservicio (i) y las 364 AGEB de la ZMCT (j)

e*) Índice de accesibilidad de tiempo real regional* (ATR_r): Se deriva del cálculo anterior realizando la sumatoria de la totalidad de resultados

$$ATR_r = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} dtr_{ij} \quad (4)$$

Estas mediciones se llevaron a cabo mediante el módulo de Network Analysis de Arc View 3.3 gracias a que la red vial urbana o arcos del grafo contaban con sentidos viales, por lo que estas mediciones son el resultado de los caminos mínimos que tiene cada tienda de autoservicio con las AGEB (véase Figura 3-55). Las mediciones correspondientes al índice (1) se aplicaron a los cuatro formatos de tienda de autoservicio, mientras que las mediciones del índice (3) se aplicó a todas las tiendas. Estas mediciones de los índices de carácter local nos dieron valores en metros y minutos, los cuales fueron vaciados en una matriz para cada índice. Ya con estas matrices se calcularon los índices de carácter regional (3,4) que nos arrojaron los valores finales que posteriormente se interpolarán (véase Tabla 3-58).

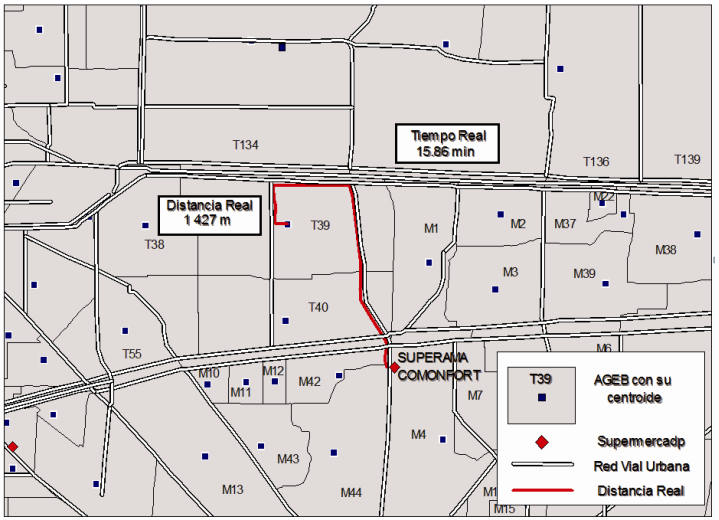


Figura 3-55. Accesibilidad real y accesibilidad de tiempo de recorrido de una AGEB hacia las tiendas de autoservicio

Nota: Basado en el procedimiento del módulo *Network Analysis* de *Arcview* 3.3

Calculo del nivel de interacción espacial (atracción espacial)

Este cálculo se hizo también en mediciones en el grafo, que se basaron en el índice de potencial de población usado por Buzai (2009) que se sustenta en el modelo gravitatorio. El índice queda expresado de la siguiente manera:

a) Índice de potencial de demanda: este índice se compone por dos partes, la primera de ellas tiene que ver con la definición de un potencial inter-tiendas de autoservicio (5) y la segunda con el potencial propio que tiene la tienda (6) considerado aquí como la demanda de la población que tiene la tienda de autoservicio.

$$PP_{i} = P_i + PI_j \quad (5)$$

Siendo:

$$PI_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_j}{dr_{ij}} \quad (6)$$

Donde:

PP_i = es el potencial de demanda de población para las 39 tienda de autoservicio
PI_i = es el potencial de demanda de población de la tienda de autoservicio (i)
P_i = es la población demandante de la tienda en cuestión considerada como potencial propio,
P_j = es la población demandante de cada una de las otras tiendas de autoservicio
d_{ij} = es la distancia real (distancia sobre la red vial) entre la tienda de autoservicio (i) y las 364 AGEB de la ZMCT (j)

En el caso de este estudio, el cálculo de este índice sirvió para medir el nivel de interacción que tiene la población demandante hacia las tiendas de autoservicio. Se recuerda en primer término que esta población demandante se obtuvo con la cuantificación de la población que se encontraba dentro de las áreas de influencia de cada formato de tienda y que en segundo término este procedimiento se realizó gracias a la herramienta Voronoi de MapInfo 8.5, la cual permitió establecer áreas de influencia a entidades puntuales cumpliendo el principio de administración de la teoría del lugar central (véase Figura 3-56). Este nivel de interacción espacial se remite principalmente a la identificación de las tiendas que tienen mayor atracción espacial gracias a su volumen de población demandante y a las distancias que las separan en la red vial urbana de la población.

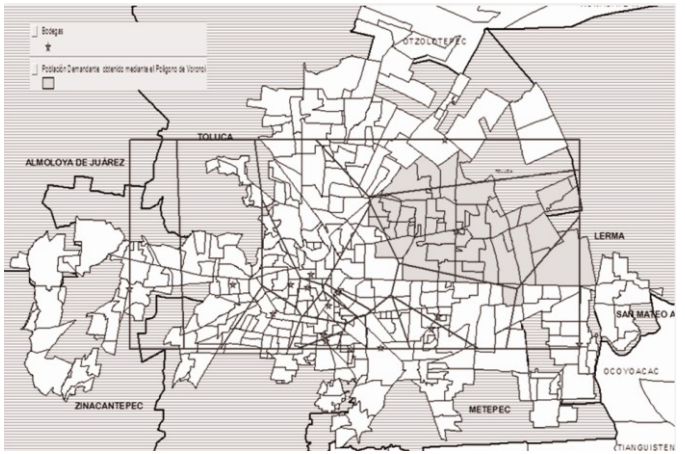


Figura 3-56. Cuantificación de la población demandante de tienda de bodega a través de los Polígonos de Voronoi
Basado en el procedimiento de la herramienta Voronoi de *MapInfo* 8.5

Las mediciones del índice (5) fueron aplicadas a todas las tiendas de autoservicio y al igual que en las mediciones de accesibilidad, se generó una matriz con sus valores, para que posteriormente se obtuviera el índice (6) que sería el que se interpolará después (véase Tabla 3-58).

Interpolación de los valores y representación de resultados mediante mapas de isolíneas

Con la obtención de valores finales de los cálculos de accesibilidad y nivel de interacción espacial, se procedió a incorporar estos valores a las entidades puntuales de las tiendas de autoservicio de nuestro modelo y a continuación con la herramienta surfer–interpolategrid/contour del módulo 3D analysis de Arc View 3.3 se hizo la interpolación de estas entidades puntuales con el método IDW o inverso de la distancia que, de acuerdo con García y Cebrián (2006), es un método de interpolación que se apoya en el concepto de continuidad espacial, con los valores más parecidos con las posiciones que se van diferenciando conforme incrementa la distancia (véase Figura 3-57). La interpolación se hizo para cada valor final de cada uno los cálculos hechos (véase Tabla 3-58). Esta interpolación nos permitió generar isolíneas (contornos) y *grids* (mallas), y que gracias al método de clasificación de *natural breaks* se pudo establecer una agrupación por escala de colores de las isolíneas y *grids* obtenidos en esta interpolación, la cual comprende el siguiente rango: muy alto, alto, semialto, medio, semibajo, bajo, y muy bajo. Ya hecha la interpolación se procedió a elaborar la cartografía correspondiente mediante la confección de los mapas de isolíneas. Con base en estos mapas de isolíneas se realizó el mapa final de zonificación.



Figura 3-57. Interpolación de los valores finales con el método IDW

Basado en el procedimiento de mediante el módulo de 3D *Analysis - Surfer* en *Arc View 3.3*

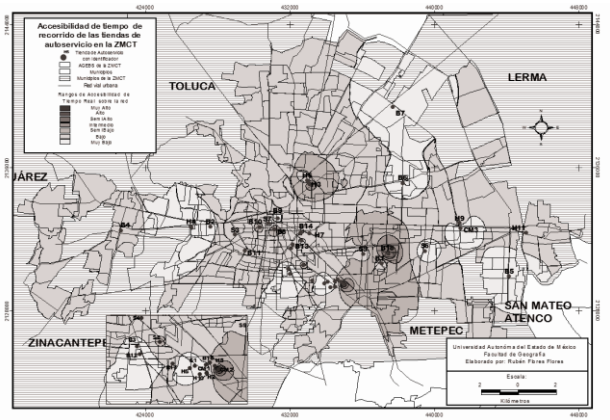


Figura 3-58. Red vial urbana, tiendas de autoservicio y población (ageb) de la ZMCT

Tabla 3-58. Valores finales de los cálculos de accesibilidad y nivel de interacción espacial (atracción espacial)

Identificador de la tienda	Tienda de Autoservicio	Accesibilida real regional	Accesibilidad de tiempo de recorrido regional	Interacción espacial (atracción espacial)
Bodegas				
B8	Soriana Centro	4257.71	4675.51	512409.64
B3	Bodega Aurrera Heriberto Enríquez	3123.57	3603.37	839133.87
B4	Bodega Aurrera Zinacantepec	3193.51	3697.31	2587635.66
B5	Bodega Aurrera San Mateo Atenco	2869.91	3302.54	2324881.02
B6	Bodega Aurrera Totoltepec	3153.39	3436.47	3408437.53
B7	Bodega Aurrera Villa Santin	2860.53	3223.32	2445843.72
B1	Bodega Aurrera Pilares	3181.99	3929.45	1829363.05
B2	Bodega Comercial Mexicana Adolfo López Mateos	3118.61	3635.60	1982865.50
B15	Super Kompras Fidel Velásquez	3550.36	4557.06	683679.75
B16	Super Kompras Leona Vicario	4158.56	4577.87	1154045.41
B17	Super Kompras Ceboruco	3176.85	3708.38	815919.25
B18	Superkompras la Pila	5148.11	5746.28	1978836.18
B14	Surti Tienda	2805.91	3260.00	657538.16
B10	Garis Morelos	4083.00	4331.27	581681.17
B11	Garis Vicente Guerrero	3147.33	3706.65	764194.77
B12	Garis Heriberto Enríquez	2808.35	3255.42	1040766.49
B13	Garis Terminal	3219.63	3841.72	539522.00
B9	Garis Independencia	2926.29	3482.66	497654.16
Supermercados				
S1	Soriana las Americas	2773.91	3156.47	5663806.43
S2	Super Kompras Pino Suárez	3922.03	4318.10	7055877.47
S3	Super kompras San Buena ventura	3342.68	3848.30	5934247.63
S4	Super Kompras Tollocan	3121.67	3654.43	6556301.72
S5	Super Kompras Acrópolis	2959.56	3477.34	6334375.21
S6	Superama Comonfort	3663.20	4057.87	5266919.01
S7	Superama Tecnológico	2974.50	3419.55	4886296.24
Hipermercados				
H1	Wal-Mart Terminal	3104.69	3543.47	5651372.99
H11	wal Mart Lerma	3127.92	3773.96	3360208.74
H2	Wal Mart Metepec	3180.97	3579.13	4859556.92
H3	Wal Mart Alfredo del Mazo	4772.79	5618.51	5248597.15
H4	Wal Mart Adolfo López Mateos	2952.90	3285.05	5707887.22
H5	Chedrahui Metepec	2876.64	3206.86	5083598.93
H6	Chedrahui Alfredo del Mazo	2842.26	3324.47	4674582.12
H7	Comercial Mexicana Tollocan	3164.94	3652.05	34378827.16
H8	Mega Comercal Mexicana Metepec	3368.12	4008.00	4717181.97
H9	Soriana Sendero	3431.82	3821.25	3474079.84
H9	Garis Metepec	3024.99	3526.46	4897468.92
Clubs de Membresia				
CM1	Sam´s Club Metepec	2839.19	3228.65	691790.00
CM2	Costco Metepec	5404.64	6686.44	58447561.75
CM3	City Club Sendero	2878.07	3368.18	23275246.11

Basado en las mediciones en el grafo fundamentadas en los índices de accesibilidad real local y regional, accesibilidad en tiempo de recorrido local y regional, y en los índices de potencial de población.

4. Descripción y análisis de resultados.

Con los mapas resultantes de isolíneas hechos mediante las técnicas de los SIG se logró contextualizar la variabilidad espacial de la accesibilidad real de cada formato de tienda y la accesibilidad en tiempo real para todas las tiendas que en síntesis es la posibilidad que tiene la población para poder acceder a los servicios que ofrecen las tiendas. Así también, se logró la identificación de las tiendas con mayor atracción espacial y por lo tanto con mayor peso en materia comercial en el territorio metropolitano (véase Figuras 3-59 a 3-64). Como resultado de estos mapas y del análisis espacial que conlleva, se generó un mapa final de zonificación de estos atributos espaciales de localización, en donde se identifican las zonas con mayor y menor accesibilidad y las áreas donde se agrupan las tiendas con mayor atracción espacial (véase Mapa 8). Profundizando más en el mapa de zonificación, se identificaron 5 zonas de accesibilidad, de las cuales 3 se definen como las más accesibles y 2 como las menos accesibles, donde sobresalen 3 lugares que cuentan con mayor interacción espacial (atracción espacial). A continuación se hace una caracterización de la situación espacial y de las condiciones económicas y demográficas de las zonas de accesibilidad y de mayor atracción, con lo que finalmente se finiquita este análisis de accesibilidad.

- *Zona 1*: Está comprendida por el centro, centro-norte y oeste del municipio de Metepec y la zona centro-este del municipio de Toluca, esta zona se caracteriza por tener una presencia importante de tiendas de autoservicio sobre todo de las tiendas con formato de Club de Membresía, Hipermercados y Supermercados. La mayoría de las tiendas del municipio de Metepec se aglomeran en el complejo comercial del municipio, que se ubica sobre la arteria vial primaria Blvd. José María Pino Suarez de carácter primario y la arteria vial menor Leona Vicario y es aquí donde sobresale una zona importante de atracción de población. También dentro de esta zona existen un número importante de tiendas que se ubican cerca de la terminal de autobuses del municipio de Toluca sobre las arterias de carácter principal que son Blvd. Isidro Fabela, Prolongación 5 de Mayo y Paseo Tollocan, esta parte de la zona también se distingue por ser un área de atracción. La zona 1 se distingue por que en ella se distribuyen los ingresos más altos de la población en toda la ZMCT.
- *Zona 2*: Está conformada por la zona centro del municipio de Toluca, y es donde se encuentran las densidades de población más altas de toda la ZMCT. Los niveles de ingresos de esta población se ubican de altos a muy altos. En esta zona se encuentran varias tiendas de autoservicio la gran mayoría corresponden al formato Bodega y las otras al formato Supermercado. La mayor parte de estas tiendas se ubican sobre arterias viales de carácter menor y colectoras, y otras pocas sobre arterias viales de carácter principal. También se debe señalar que en esta zona el tránsito vehicular es muy intenso, lo que ocasiona que sobre ellas el tiempo desplazamiento sea considerablemente alto.
- *Zona 3*: Se ubica en el noreste del municipio de Toluca, dentro de esta zona se encuentra una aglomeración de tiendas similar al complejo comercial de Metepec, aunque de menor tamaño, dicha aglomeración se ubica cerca de las colonias Carlos Hank González, Guadalupe, Club Jardín, Fraccionamiento Residencial las Flores y Tlacopa, además de que se encuentra relativamente cerca de tres unidades de servicio de salud de carácter público de gran importancia en el municipio y sobre la arteria de carácter principal Blvd. Alfredo del Mazo. Los niveles de ingresos de esta zona van de altos a muy altos, asimismo la densidad de población es elevada. Los principales formatos de tiendas en esta zona son los Hipermercados y las Bodegas.

- *Zona 4:* Está conformada por el noreste del municipio Zinacantepec y el sureste de municipio de Almoloya de Juárez; se ubica prácticamente dentro del extremo occidente del territorio metropolitano, su densidad de población se distingue por ser muy baja y los niveles de ingresos que van de muy bajos a intermedios. Es una zona caracterizada por tener unidades habitacionales muy dispersas, además de que a la fecha carece de tiendas de autoservicio. Sobre esta zona sobresale la arteria vial de carácter primario Blvd. Adolfo López Mateos.
- *Zona 5*: Abarca la parte sur y suroeste del municipio de Lerma, en esta zona no se ubican tiendas de autoservicio; los niveles de ingresos van de muy bajos a intermedios y la densidad de población es muy baja, esto se puede justificar ya que dentro de esta zona se encuentra parte del corredor industrial Lerma-Toluca. Esta zona corresponde al extremo oriente de la ZMCT en donde sobresale la arteria de carácter principal Paseo Tollocan.
- Es importante señalar que otra zona importante de atracción se encuentra en la plaza comercial Sendero, en donde se ubican dos tiendas de autoservicio una es el hipermercado Soriana y la otra es el club de membresía City Club, que a pesar de ser una plaza de reciente creación los resultados muestran que tiene un importante nivel de interacción. Esta zona debe su desarrollo a la construcción de los nuevos distribuidores viales de gran magnitud que facilitan el acceso al aeropuerto internacional de la ciudad de Toluca, mismo que en los últimos años ha sido objeto de ampliaciones y de inversiones.
- En resumen, las tiendas de autoservicio tienden aglomerarse en ciertas zonas del territorio metropolitano, evidentes ejemplos son el complejo comercial del municipio de Metepec donde existen varias plazas comerciales, o el caso de las tiendas que están ubicadas en el Blvd. Alfredo del Mazo y en Plaza Sendero, esto se explica a partir de las economías de aglomeración que provocan que estas zonas se vuelvan altamente especializadas en materia comercial, y a partir de esto se asume un nivel jerárquico muy claro dentro de la ZMCT. Ante esta situación la red vial urbana cumple con la función de aumentar o limitar según sea el caso la accesibilidad e interacción locacional.
- En términos generales con los resultados de este análisis de accesibilidad, se puede decir que el municipio de Metepec cuenta con el nivel de accesibilidad más óptima de toda la ZMCT y en segundo lugar el municipio de Toluca. Caso contrario a los municipios de San Mateo Atenco y Zinacantepec que son los municipios con el menor nivel de accesibilidad.

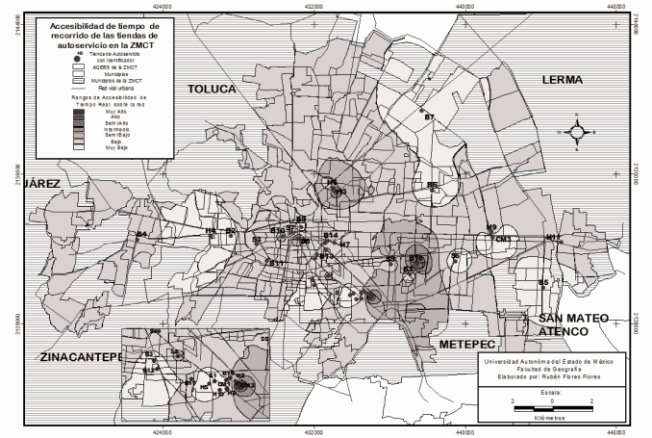


Figura 59. Accesibilidad en tiempo de recorrido para todas las tiendas de autoservicio

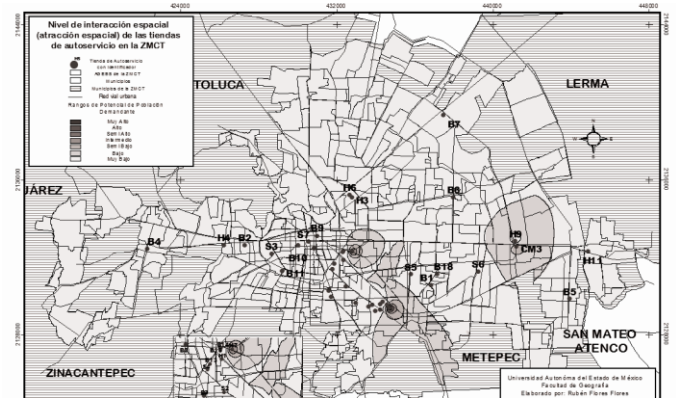


Figura 3-60. Nivel de interacción espacial (atracción espacial) para las tiendas de auto-servicio

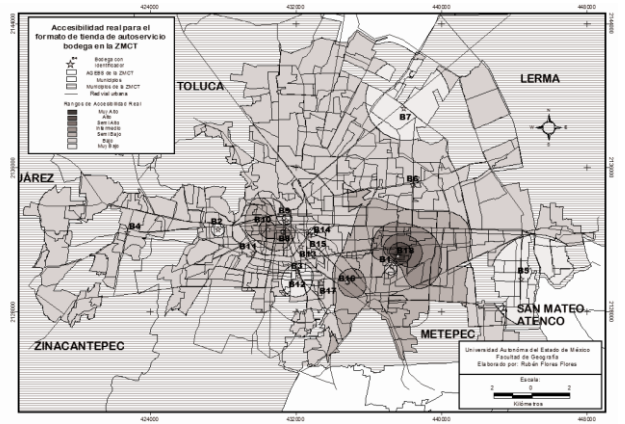


Figura 3-61. Accesibilidad real para el formato de tienda de autoservicio bodega en la ZMCT

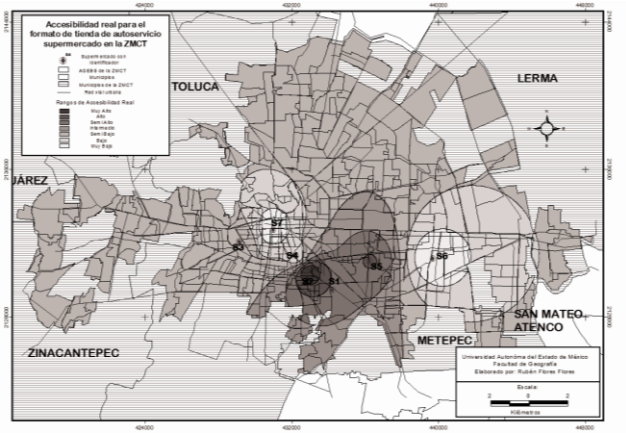


Figura 3-62. Accesibilidad real para el formato de tienda de autoservicio de supermercado

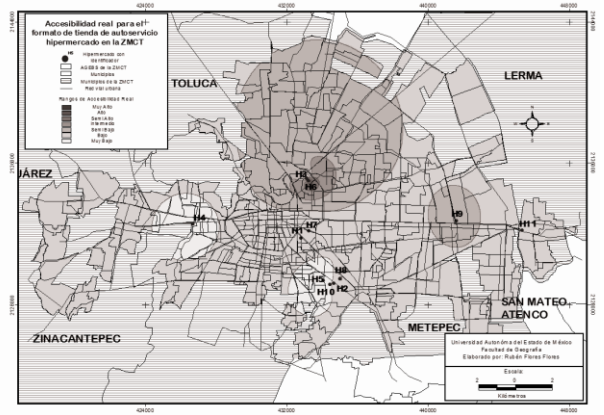


Figura 3-63. Accesibilidad real para el formato de tienda de autoservicio de hipermercado

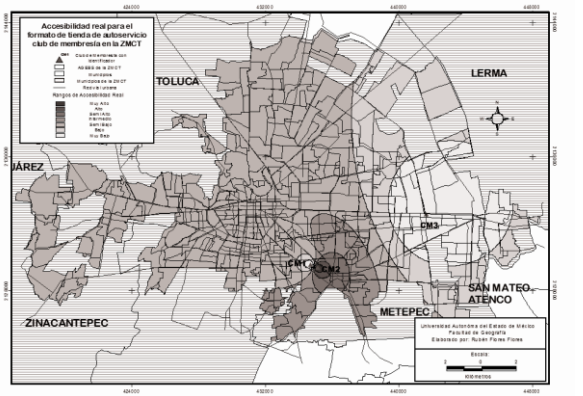


Figura 3-64. Accesibilidad real para el formato de tienda de autoservicio de club de membresía

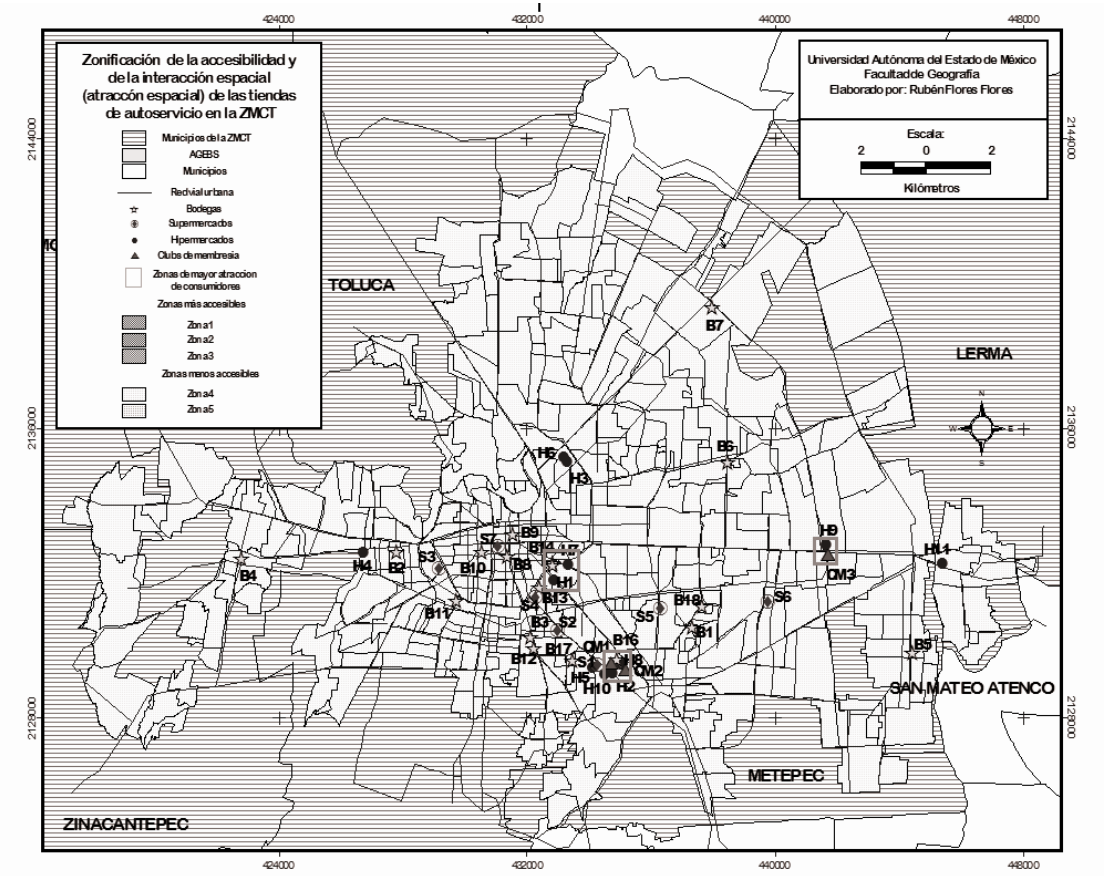


Figura 3-65. Zonificación de la accesibilidad y de interacción espacial (atracción espacial) de las tiendas de autoservicio en la ZMCT

5. Discusión y valoración de hallazgos

Las técnicas cuantitativas de los SIG facilitan en gran medida el análisis espacial de los fenómenos económicos, y contribuyen de una forma significativa a la modernización de metodologías para el estudio de la localización de las actividades económicas y su interacción en el espacio.

La elección de la escala del área de estudio es una contribución novedosa a los estudios anteriores de accesibilidad, que se han limitado a escalas administrativas concretas como un municipio, un departamento, etc., sin embargo el incorporar el estudio de accesibilidad con las técnicas SIG a un escala regional, como una zona metropolitana, nos permite comprender a grandes rasgos como se encuentra estructurada la funcionalidad de un territorio lleno de contrastes, en este caso su funcionalidad en el marco de las actividades terciarias.

Otra contribución importante es la temática y objetivo del análisis, ya que el estudio de la accesibilidad en circunstancias normales se evoca al estudio de algunos servicios públicos dejando de lado su aplicación en el sector privado, olvidando que a través de él se puede conseguir o fomentar un desarrollo empresarial competente asegurando inversiones confiables al elegir una óptima localización o bien al enfocarse en el análisis del suministro llevando implícito una naturaleza propia del *geomarketing*: "la segmentación de mercados". Por naturaleza el análisis de accesibilidad es uno de los puntos fundamentales en los estudios locacionales de cualquier actividad económica; destacándose de esta forma las contribuciones del presente trabajo, al realizar una zonificación de la accesibilidad y el nivel de interacción espacial que permiten ver las zonas óptimas de las actividades terciarias dentro ZMCT, y que bien puede servir a la logística locacional y/o mercadotécnicas de las cadenas comerciales presentes en el espacio metropolitano.

Como se ha visto se puede ir complementado el uso de diferentes *software* de SIG para lograr resultados como los de este trabajo, ya que aunque cada uno ofrezca capacidades diferentes de análisis espacial, todos tienen esa flexibilidad de compartir datos, siempre y cuando estos guarden una referencia geográfica. A su vez la capacidad y velocidad operacional con que funcionan los SIG pueden brindarnos mejores resultados que contribuyan a una mejor comprensión del comportamiento en el espacio de ciertas actividades económicas complejas como las relacionadas al comercio y servicios.

6. Conclusiones

Los SIG son una potente herramienta que permite el estudio de las condiciones espaciales existentes en determinado territorio, entre ellas para determinar las interacciones y los factores locacionales de las diferentes estructuras y actividades económicas. Por lo que no ha de sorprendernos el uso de las técnicas cuantitativas de los SIG, para el análisis, la interpretación, la representación y finalmente la toma de decisiones en el desarrollo de una actividad económica como el comercio moderno.

Estas técnicas cuantitativas derivadas de los SIG se basan principalmente en el análisis espacial, que tienen como característica principal poder medir y cuantificar los comportamientos espaciales. A través de los SIG los principios teóricos del análisis locacional han tomado una vitalidad, referida a la capacidad explicativa en gráficos, estadísticas y modelos virtuales que han adoptado para abordar la distribución de actividades antrópicas sobre el espacio. Como ha quedado demostrado en nuestro estudio, el uso y aplicación de los SIG representa una herramienta valiosa, sin embargo el análisis espacial no sería satisfactorio sin un sustento teórico-metodológico correcto.

Con base en el conocimiento teórico-metodológico y en la aplicación de los SIG nuestro estudio nos ha permitido identificar que la ZMCT manifiesta una variación en el nivel de accesibilidad y con ello diferentes niveles de atracción de la población a estos centros de consumo,

definiéndose así tres focos de atracción espacial claramente diferenciados dentro del territorio metropolitano. Para ello ha sido esencial el análisis de tres aspectos fundamentales que son la distribución de la red vial, la distribución de la población y la localización de las tiendas de autoservicio. Estos focos de atracción espacial responden a dos aspectos elementales, por una parte las particularidades de la infraestructura de la red vial, en donde la capacidad de aforo, la conectividad entre arterias importantes y la relación tiempo-costo-distancia son determinantes; por otra parte, la aglomeración de las actividades comerciales tanto en áreas como en corredores que constituyen espacios especializados en materia, hacia los cuales los consumidores se sienten atraídos.

Finalmente, este análisis de accesibilidad puede ser considerado para aplicarse a otro tipo de actividades de servicios y con otra escala de estudio, y que al incorporarlo en estudios de planeación territorial se pueden generar beneficios como la reducción de los riesgos presentes en el proceso de localización de actividades que ya no tienen cabida para desarrollarse en ciertas áreas de los territorios urbanos.

Referencias bibliográficas

Aguilar, G. y Moncada, O. (1994): La Geografía Humana en México: Institucionalización y Desarrollo Recientes. D.F., Ed. UNAM y FCE.

Arteaga, N. (2005):"Los estudios sobre la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Aproximaciones estructurales y centradas en los actores", Región y Sociedad, 17, 33, pp.71-105.

Beavon, K. (1971). Geografía de las actividades terciarias. Una reinterpretación de la Teoría los lugares centrales. Barcelona, Ed. Oikos-tau, S. A.

Berry, B., (1971).Geografía de los centros de mercado y distribución al por menor. Barcelona, Ed. Vinces-Vives.

Bocanegra, C. y Vásquez, M. (2003): Modernización del comercio detallista. D.F. INEGI. [Consulta: 24-10-2009]. Disponible en www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/español/prensa/contenidos/Articulos/economicas/comerdetal.pdf

Bosque J. (1992): Sistemas de Información Geográfica. Madrid, Ed. Rialp S.A.

Buzai, G., Baxendale, C., Mierez, A. (2003): "Accesibilidad e interacción espacial: aportes del análisis espacial cuantitativo", Gerencia Ambiental, 10, 95 pp.360-369.

Buzai, G. y Baxendale, C. (2006): Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Luján, Ed. Bueno Aires.

Mierez, A. (2009): "Análisis de accesibilidad e interpretación espacial a través del potencial dinámico: su aplicación a los partidos de la cuenca de Río Luján", en Buzai, G. (Ed.): Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos Conceptuales y Aplicaciones. Luján, Ed. Colección Editorial GEOSIG.

Camagni, R., (2005): Economía Urbana, Barcelona, Ed. Antonio Bosch.

Garber, N. y Hool, L. (2002): Ingeniería de Tránsito y de carreteras. Learning. Ed. CENAGE.

García, J. y Cebrián, F (2006): "La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: aplicación a la provincia de Albacete", en Camacho, M (Ed.) El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas: XII congreso nacional. Granada, Ed. Universidad de Granada.

Garrido J., (1995):"La organización espacial de la red de carreteras en Aragón. Aplicación metodológica de la Teoría de Grafos", Geographicalia. 32, pp. 83-102.

Garrocho, C. (1992): Localización de servicios en la planeación urbana y regional. Aspectos básicos y ejemplos de aplicación. Toluca, Ed. Colegio Mexiquense.

Garrrocho, C. (2003): "La teoría de la interacción espacial como síntesis de las teorías de la localización de actividades comerciales y de servicios", Economía, Sociedad y Territorio, 4, 14, pp. 253-251.

Garrocho, C. y Campos, J. (2007): "Dinámica de la estructura policéntrica del empleo terciario en el área metropolitana de Toluca 1994-2004", Papeles de Población, 52, pp.110-105

Huitrón, R., (2002). La industria alimentaria en México y su inserción en el mercado moderno de la Ciudad de México. D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.

Huitrón, R, Flores, R. e Izquierdo, F. A., (2010). "El comercio global en la Zona Metropolitana de la ciudad de Toluca". 5ª Coloquio geográfico sobre América Latina. Desafíos que enfrenta América Latina en la globalización: una visión humanista y ambiental del espacio", Toluca.

Liu S. y Zhu. X. (2003): "Accessibility Analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning", Environment and Planning, 31, pp. 105-124.

Miller, H. (1999): "Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedure", Geographical Analysis, 31,pp. 187-212.

Mora J., Nogales J. M., Gutiérrez J. A. y Cortez T. (2003): "Aplicación de técnicas SIG en la planificación del transporte por carretera en Extremadura (España)", Finisterra, 38, 75, pp. 67-83.

Polèse, M. (1998): Economía Urbana y Regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo, Costa Rica. Ed. Libro Universitario Regional.

Rosas, A. M. (2004): El comercio de Autoservicio. D.F, La Jornada. [Consulta; 9-10-2009]. Disponible en www.jornada. unam.mx/2004/05/24/004n1sec.html

Ramírez M. L. (2003): Cálculo de medidas de accesibilidad geográfica, temporal y económica generadas mediante sistemas de información geográfica. Buenos Aires. Universidad Nacional del Nordeste [Consulta: 10-12-2010]. Disponible en http://hum.unne.edu.ar/investigacion/geografia/labtig/publicaciones/public12.pdf

Seguí, J. yMartínez, M. (2003): Pluralidad de métodos de renovación conceptual en la Geografía de los Transportes del siglo XXI. Barcelona,Scripta Nova. [Consulta: 12-11-2009]. Disponible en www.ub.edu/geocrit/sn/sn-139.htm

Seguí, J. M. y Petrus, J. M. (1991): Geografía de redes y sistemas de transporte. Madrid, Ed. Síntesis.

Schwentesius, R. y Gómez, A. (2006): Supermercados y Pequeños productores Hortofrutícolas en México. D.F. CIESTAAM de la Universidad Autónoma de Chapingo [Consulta: 9-10-2009]. Disponible en revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/89/3/Gomez-Schventesius.pdf

SECCION IV.

PLANIFICACIÓN URBANA Y REGIONAL ASISTIDA CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE UN ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SECUENCIAL A UN MODELO BASADO EN TÉCNICAS SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Juan Pablo Orán Cáceres[1], Montserrat Gómez Delgado[1] y Wenseslao Plata Rocha[2]

RESUMEN

La utilización combinada de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) para la asignación óptima de usos del suelo ha sido amplia y eficazmente empleada en los últimos años. Sin embargo, poco se ha hecho por evaluar el grado de fiabilidad de sus resultados. Por lo anterior, en esta comunicación se presenta una aproximación al estudio de la estabilidad o robustez de los resultados de un modelo diseñado para reproducir el que podría haber sido el crecimiento urbano óptimo entre los años 1990 y 2000 en la Comunidad Autónoma de Madrid (España). Así, se recogen los resultados de un trabajo previo y se completan con otras propuestas para finalmente presentar una aplicación de análisis de sensibilidad secuencial, con el objetivo de entender la influencia que las distintas formas de proceder en las distintas fases de ejecución del mismo generan en la variación de los resultados de un modelo basado en EMC, evaluando la propagación de la "sensibilidad". Este análisis comenzaría por evaluar la estabilidad de los resultados ante la variación de la forma de modelar algunos de los factores del modelo. A continuación, se propone comprobar si la variación de los pesos asignados a dichos factores pueden modificar sustancialmente los resultados. Finalmente, el análisis de sensibilidad se centraría en la última fase de ejecución del modelo, es decir, en la aplicación de un determinado método de EMC. Así, se utilizará el método de Análisis de Punto Ideal (API), en lugar de la Sumatoria Lineal Ponderada. Los resultados ponen de manifiesto que el modelo puede ser relativamente sensible a las modificaciones aplicadas en algunas de estas fases, especialmente si utilizamos otro método de EMC. Sin embargo, podemos adelantar que las variaciones no son tan significativas como para considerar que los resultados no son robustos.

Palabras Clave: Modelización del crecimiento urbano, Técnicas de Evaluación Multicriterio, Sistemas de Información Geográfica, Análisis de sensibilidad.

---

[1]**Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. C/ Colegios, 2. 28801, Alcalá de Henares, España. E mail:juan.oran@uah.es; montserrat.gomez@uah.es.** [2]**Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Sinaloa. Av. De Las Américas y Blvd. Universitarios. CP. 80 000. Culiacán, Sinaloa, México. wenses_plata@hotmail.com**

ON THE FEASIBILITY TO APPLY A SECUENTIAL SENSITIVITY ANALYSIS TO A MODEL BASED ON GIS AND MULTICRITERIA TECHNIQUES.

ABSTRACT

Geographical Information Systems (GIS) and Multicriteria Evaluation (MCE) have been efficiently applied in optimal location of land use. However, there are few new proposals in order to test the robustness of this spatial model results. The aim of this study is to explore a sequential sensitivity analysis (SA) to determine the stability of a simulation model of urban growth in the region of Madrid (Spain). This simulation started from the land cover situation in 1990 and assigned new and optimal residential, industrial and commercial uses for 2000. The paper includes earlier and new proposals in order to develop a sequential SA which would cover the different steps of the model execution. This SA will inform us about the influence of the variations in different parts of the model on the variations of the results of the model. The results show that these results could present sensitivity to the modifications in certain parts of the model, especially when other MCE technique is applied.

Key words: *Modelling urban growth, Multicriteria Evaluation Techniques, Geographical Information Systems, Sensitivity Analysis.*

1. Introducción

Es de sobra conocido el interés que el mundo científico ha mostrado siempre por la necesidad de llevar a cabo procesos de validación de los modelos desarrollados, no tanto con el objetivo de evaluar la investigación en sí, sino de proporcionar credibilidad a los resultados de los mismos en la comunidad de usuarios.

Estos procesos de validación han de ser necesariamente distintos dependiendo del tipo de modelo tratado (Rykiel, 1996). Así es necesario adaptar los diferentes métodos existentes a las circunstancias de nuestro propio estudio o, inclusive, proponer modificaciones o nuevos procesos. En el caso de modelos de simulación desarrollados en las ciencias experimentales, ingeniería, etc., el objetivo es certificar su capacidad operacional y, por tanto, es necesario aplicar procesos que verifiquen su capacidad de predicción. Sin embargo, en el ámbito de las ciencias sociales, se desarrollan modelos de simulación con el objetivo de comprender un fenómeno determinado, corroborar ciertos aspectos teóricos, o como en el caso que aquí nos ocupa, reproducir situaciones óptimas o deseables de desarrollo de un determinado fenómeno como el crecimiento urbano. Así, en este contexto, es más apropiado determinar si un modelo es útil para el propósito para el que se desarrolló y no la exactitud de su aplicabilidad.

Dentro del campo aquí tratado, de aplicación de modelos espaciales en un entorno SIG, hoy día encontramos ya numerosos trabajos que utilizan la combinación de éstos con las técnicas de EMC para la resolución de problemas de ordenación del territorio, concretamente para la localización de nuevas actividades en aquellos lugares que mayor vocación presenten para albergarlas. Dentro de este grupo, ha sido la asignación óptima de suelo urbano una de las aplicaciones más prolíficas (Malczewski, 2006; Svoray *et al*., 2005; Liu *et al*., 2007; Molero Melgarejo *et al*., 2007; Geneletti y van Duren, 2008; Ligmann-Zielinska *et al*., 2008; Plata Rocha *et al*., 2010, citando sólo ejemplos recientes). Estos modelos espaciales, al igual que otros no espaciales, no están exentos de una cierta falta de confianza en los resultados si no se utilizan

procedimientos adecuados para garantizar la robustez de los mismos, más si cabe cuando estas técnicas suelen ser criticadas por una inherente e inevitable carga de subjetividad en los planteamientos de las reglas de decisión (Lamelas Gracia, 2009). Lamentablemente tampoco hay un acuerdo general sobre en qué debería consistir esta validación. Qureshi y otros (1999) insisten en que, si partimos de la idea de que un modelo es una simplificación de un sistema real, sus resultados nunca podrán coincidir exactamente con el sistema real que intentan reproducir. Lo que sí es posible es comprobar si la diferencia es tan importante que invalidaría su utilidad.

Partiendo de este razonamiento, se propone un proceso de validación más completo. Este proceso debería estar formado por tres componentes:

a) Verificación de si el modelo está correctamente construido (desde el punto de vista formal).
b) Validación de si la estructura del modelo representa adecuadamente el sistema modelado (si se ha construido el modelo correcto desde un punto de vista conceptual y operacional).
c) Aplicación de un *análisis de sensibilidad* que permita comprobar la robustez y estabilidad del modelo, examinando la variación que se produce en los resultados cuando se realizan variaciones sistemáticas en un rango de interés sobre uno o varios parámetros de entrada.

La segunda componente se convierte en una práctica inviable, puesto que el objetivo de nuestro estudio es simular lo que podría ser la evolución más óptima de un fenómeno como el crecimiento urbano, cuyos resultados no pueden cotejarse con unos datos reales, ya que se trata de una imagen deseable de la evolución de ese fenómeno. Por lo tanto, no podemos comprobar si el modelo utilizado representa adecuadamente el sistema modelado.

La tercera componente sería una de las más asequibles y recomendables. El análisis de sensibilidad es una propuesta ampliamente aceptada como medio para otorgar fiabilidad a un modelo, especialmente cuando los resultados del mismo son difíciles de verificar. Los resultados de estos análisis pueden indicarnos qué partes del modelo deberían ser mejoradas o a qué datos de partida deberíamos prestar especial atención por influir de manera más o menos importante en la variación de los resultados del mismo. Y es en esta componente en la que nos centraremos en este trabajo. En este caso encontramos propuestas y aplicaciones muy abundantes en campos como la ingeniería, física, química, economía, etc., englobados en lo que podríamos traducir como la modelación numérica. Así, encontramos en la literatura manuales y numerosas y diversas aplicaciones de índices locales, globales o tipo *screening* (Saltelli *et al*, 2000; Saltelli, 2008). Sin embargo, no suele ser una práctica todavía muy habitual en el campo que nos ocupa. Una de las propuestas más comunes para determinar la estabilidad de estos modelos ha sido tradicionalmente un AS basado en la modificación de los pesos otorgados a los factores que intervienen en la EMC, que permitiera determinar el impacto que en los resultados pudieran producir esas variaciones (es posible encontrar varios ejemplos en el trabajo de Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2004). Más minoritarias son las propuestas relacionadas con los cambios de otros parámetros del modelo, como el tipo de distancia calculada en los métodos de EMC basados en el análisis de punto ideal, la modificación de la agregación de la información de las alternativas evaluadas (en zonas o píxeles); o la utilización de diferentes métodos de EMC (Massam, 1991; Qureshi *et al*., 1999; Kaya, 2006; Baja *et al*., 2007; Chang *et al*., 2008; Geneletti y van Duren, 2008). No obstante, podemos concluir que desde la revisión realizada por Qureshi *et al*. (1999) y Gómez Delgado y Bosque Sendra (2004), la tendencia ha sido prácticamente la misma, con pocas propuestas novedosas.

Una de las metodologías ensayadas en los últimos tiempos ha sido la aplicación de los análisis utilizados habitualmente en la modelización numérica (screening, locales o globales) a este tipo de modelos basados en EMC (Saltelli et al.2000). Saltelli (1999a) recomienda los análisis de tipo global, pues tienen la ventaja de poder abarcar todo el recorrido de las variables que participan en el modelo y además se puede analizar el impacto de todas ellas de manera conjunta. De hecho, encontramos varios trabajos en los que se ha aplicado con éxito este tipo de análisis a modelos espaciales (Crosetto y Tarantola, 2001; Crosetto et al. 2001; Crosetto et al., 2002; Gómez Delgado y Tarantola, 2006). Sin embargo, también se ha demostrado que su aplicación en modelos espaciales es limitada, pues estos análisis no han sido desarrollados para tratar con variables espacialmente distribuidas, por lo que esta característica no resulta suficientemente explorada.

La nota común de todos estos trabajos mencionados es que el AS se suele aplicar en una de las fases de ejecución del modelo, independientemente de que cuántas fases de ejecución posea. No obstante, especialmente en los modelos de tipo espacial, pensamos que es importante que la fiabilidad de los resultados sea explorada a través de las distintas facetas de aplicación de los mismos. Las características intrínsecas de un modelo basado en EMC, la gran cantidad y diversidad de variables que pueden ser tenidas en cuenta y las diferentes formas de modelar, puntuar y tratar muchas de ellas, pensamos hace necesario ensayar y proponer análisis secuenciales que nos den algo más de información sobre la fiabilidad y estabilidad de los resultados del modelo.

Así, podríamos identificar hasta tres niveles diferentes de AS, en función de las etapas más importantes de ejecución del modelo:

- Análisis de la incidencia de la variación en la modelación de los factores
- Análisis de la incidencia de la variación de los pesos otorgados a los distintos factores
- Análisis de la incidencia de la utilización de un método u otro de EMC

El segundo es el procedimiento que habitualmente se emplea en estos modelos para comprobar su estabilidad, quizás con el ánimo de minimizar la problemática derivada de la subjetividad inherente al proceso de adjudicación de los pesos a los distintos factores. La utilización de diferentes métodos de EMC ha sido minoritaria y no en todos los casos es considerada como un procedimiento específico de validación (Massam, 1991; Qureshi *et al*., 1999; Kaya, 2006). Además, los dos primeros trabajos mencionados tratan un problema territorial, pero no son aplicaciones estrictamente espaciales. La propuesta de indagar sobre el efecto de la incidencia de la modelación de los factores incluidos en el modelo podemos decir que es novedosa, pues no hemos encontrado ningún trabajo en los que este tipo de procedimientos se utilice para analizar la sensibilidad del modelo ante estas variaciones. Hemos de señalar que esta propuesta se encuentra recogida ya en Orán *et al*., 2010. Aquí volvemos a incluirla como parte de la metodología secuencial que venimos señalando.

En el presente trabajo se presenta de manera unificada y secuencial las distintas posibilidades consideradas. Para ello se han utilizado en todo momento las herramientas disponibles en cualquier SIG ráster, de tal forma que el procedimiento no resulte difícil ni tedioso de aplicar, y no requiera una excesiva carga computacional. En el caso del AS aplicado a los pesos de los factores, se ha utilizado un software específico para este tipo de análisis (SimLab, 2010), pero que puede descargarse de manera gratuita de Internet. Todos estos procedimientos se describirán más detalladamente en el Apartado 3.

Esta metodología secuencial se ha utilizado para analizar los resultados de una simulación del crecimiento urbano deseable que podría haberse producido entre 1990 y el año 2000 en la región de Madrid (España). Este trabajo se encuentra desarrollado en Plata Rocha et al., 2010, pero presentaremos un pequeño resumen en el siguiente apartado.

Así, tras esta breve introducción y revisión del estado del arte de la cuestión, en el apartado 2 se presentará el área de estudio, los datos y la configuración del modelo de asignación de suelo residencial, comercial e industrial que se pretende analizar. A continuación se describe la metodología y los resultados de los tres métodos secuenciales utilizados en este proceso, siguiendo el orden de ejecución del modelo, es decir, primero se aplicará a la modelación de los factores, en segundo lugar a los pesos otorgados a los factores y en tercer lugar se cambiará el método escogido para evaluar las alternativas a la luz de los criterios seleccionados en el estudio. Finalmente, en el apartado de conclusiones, se realiza una reflexión final sobre los resultados y la aplicabilidad de la metodología secuencial planteada en el trabajo.

2. Área de estudio, datos y modelo de partida

El área de estudio abarcado en este trabajo ha sido el de la Comunidad de Madrid (España), situada en la zona central de la península Ibérica. Territorio con unas características especiales, ya que alberga la capital de la nación, y también porque ha experimentado uno de los mayores dinamismos de crecimiento urbano del entorno mediterráneo en las últimas décadas (Plata Rocha *et a*l., 2008), siguiendo un patrón de carácter disperso y fragmentado (Figura 4-1). En el periodo estudiado, 1990 a 2000, las superficies artificiales aumentaron un 50% respecto a la superficie total de la región de estudio. Si a este hecho le unimos que la población ha buscado fuera de las grandes urbes una vivienda económicamente asequible, y que los sistemas de transporte han mejorado notablemente, el resultado se traduce en una cierta atomización de los nuevos espacios artificiales de la región (Plata Rocha *et al*., 2010). El modelo utilizado para el análisis del crecimiento urbano nos muestra aquellas zonas de mayor aptitud para un determinado uso (residencial, comercial o industrial). Para una mejor explicación de este modelo ver el trabajo de Plata Rocha *et al*. (2010), aunque a continuación expondremos algunos de los aspectos más importantes.

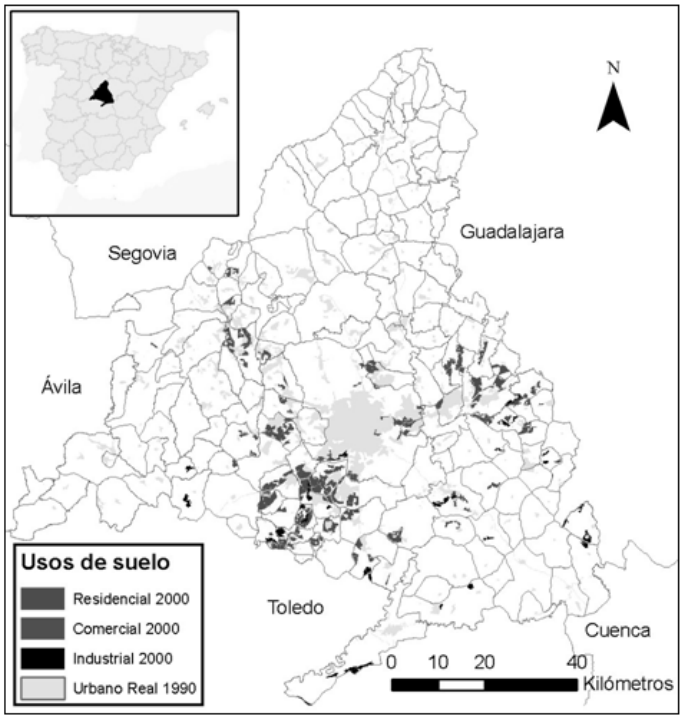


Figura 4-1. Localización del área de estudio.

Nota: incluye resultados del modelo de asignación óptima de nuevos desarrollos urbanos para el año 2000

Fuente: Plata Rocha *et al.* (2010)

Se tomaron en cuenta y recopilaron para el modelo variables de tipo socioeconómico y biofísico referidas a 1990, año de partida del modelo (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Factores implicados en el modelo de simulación óptima de crecimiento urbano elaborado por Plata Rocha et al. (2010) dentro del marco del proyecto SIMURBAN

Factores	Subfactores	Peso Residencial	Peso Comercial	Peso Industrial	Peso Final Residencial	Peso Final Comercial	Peso Final Industrial	Distribución
Ambiental R = 0,34 C = 0,31 I = 0,54	1. Usos del suelo (CLC1990)	0,40	0,40	0,40	0,14	0,12	0,21	D
	2. Lejanía a hidrografía	0,19	0,19	0,19	0,07	0,06	0,10	E
	3. Vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos	0,08	0,08	0,08	0,03	0,02	0,04	D
	4. Lejanía a espacios naturales	0,14	0,14	0,14	0,05	0,04	0,08	G
	5. Protección de suelos de mayor productividad	0,19	0,19	0,19	0,07	0,06	0,10	D
	Suma =	1,00	1,00	1,00				
Económico R = 0,46 C = 0,49 I = 0,30	1. Pendiente	0,05	0,05	0,08	0,02	0,02	0,02	U
	2. Accesibilidad a carreteras	0,26	0,35	0,36	0,12	0,17	0,11	B
	3. Accesibilidad a zonas urbanas	0,36	0,29	0,26	0,16	0,14	0,08	B
	4. Accesibilidad a industrias y comercios	0,19	0,22	0,15	0,09	0,11	0,05	B
	5. Geotecnia	0,14	0,10	0,15	0,06	0,05	0,05	D
	Suma =	1,00	1,00	1,00				
Social R = 0,20 C = 0,20 I = 0,16	1. Lejanía a instalaciones no deseables	0,11	0,28	0,31	0,02	0,06	0,05	E
	2. Accesibilidad a hospitales	0,52	0,25	0,20	0,10	0,05	0,03	T
	3. Distancia (ponderada) a población		0,33	0,49		0,07	0,08	T
	4. Calidad visual	0,07	0,08		0,02	0,02		D
	5. Orientación del terreno	0,29	0,06	No utilizado	0,05	0,01	No utilizado	U
	Suma =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Nota: Distribuciones D – Discreta; E – Exponencial; G – Gamma; U – Uniforme; B – Beta; T - Triangular

La información para elaborar dichos factores se extrajo de diferentes fuentes de la Administración Pública española: el Instituto Geográfico Nacional, el Instituto Geológico y Minero, la Consejería de Agricultura y Servicio de Cartografía Regional de la Comunidad de Madrid, el Departamento de Estadística de la Consejería de Economía de la Comunidad de Madrid y el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares, entre otras. La escala original de la información es, en general, 1:100.000, aunque en algunos casos se ha recurrido a datos de escala mayor o menor. Toda la información fue tratada en formato ráster en el SIG Idrisi Andes, utilizando un tamaño de píxel de 50 m.

De manera resumida el proceso ha seguido las siguientes etapas (Figura 4 -2):

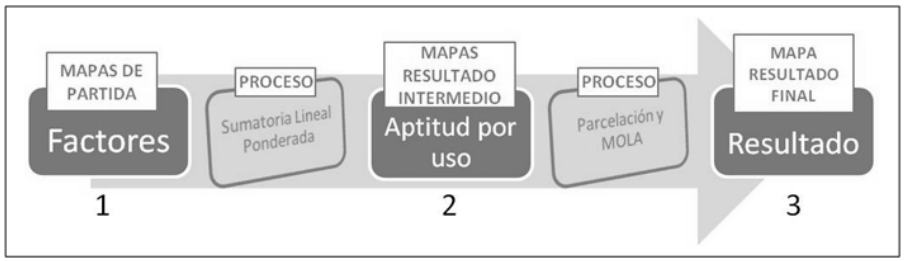


Figura 4-2. Esquema seguido en el modelo de localización de nuevo suelo urbano

1. En primer lugar se realizó una selección de hasta 14 factores de tipo ambiental, económico y social que pudiesen determinar la aptitud del territorio para ser urbanizado. Todos ellos fueron modelados en los términos que se consideraron más apropiados para el objetivo de estudio y normalizados en una escala de 0 (menor adecuación) al 255 (mayor adecuación), aplicándose operadores borrosos lineales y sigmoidales. Seguidamente, se calcularon los pesos a asignar a cada factor en función de su importancia relativa con respecto al resto de los factores. Esta ponderación se realizó siguiendo la sobradamente conocida matriz de comparación por pares del método de las Jerarquías Analíticas de Saaty (Gómez Delgado y Barredo, 2005). Se realizó en dos partes: primero se asignó los pesos a los factores agrupados según fuesen sociales, económicos o ambientales, siendo diferentes en función del objetivo perseguido (por ejemplo, para el caso del uso residencial y comercial se otorgó mayor peso al grupo de factores económicos) dando como resultado un peso para cada grupo de factores; posteriormente se adjudicaron los pesos a cada factor por separado; y, en tercer lugar, se multiplicó el peso del factor por el del grupo al que pertenecía, obteniendo el peso final para cada factor (Tabla 4-1). Finalmente, se excluyeron del análisis (en forma de restricciones) todas aquellas áreas donde no se pudiera realizar ningún tipo de construcción: suelo no urbanizable de protección según la legislación vigente en el año de partida (1990), los espacios naturales protegidos, las superficies artificiales existentes en esa fecha y los cuerpos de agua y la red hidrográfica.

2. Seleccionados los factores y calculados sus pesos, se generaron los mapas de aptitud o adecuación a partir de una de las técnicas de EMC compensatorias y aditivas más utilizadas, intuitivas y fáciles de implementar: la Sumatoria Lineal Ponderada (SLP):

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot v_{ij}$$

Donde: R_i es el nivel de adecuación de la alternativa *i*; w_j es el peso del criterio *j*; v_{ij} es el valor ponderado de la alternativa *i* en el criterio *j*.

3. Una vez obtenidos los mapas de aptitud para cada uso (residencial, comercial e industrial), con valores de adecuación para cada parte del territorio (píxel), se obtuvo un mapa con las mejores parcelas que tuvieran una superficie mínima definida, a partir de la metodología diseñada por Franco Maass y Bosque Sendra (1997). Por último, se aplicó una técnica de asignación multiobjetivo (MOLA, *MultiObjetive Land Allocation*), donde los tres objetivos entran a competir por el espacio asignado como potencialmente urbanizable, asignándose en función de la superficie requerida para cada uso (Eastman, 1993). Esta demanda estaba basada en lo que realmente aconteció en la región entre 1990 y 2000, es decir, se calculó el crecimiento real para cada uno de los tipos de uso del suelo considerados en el período estudiado y esa cifra fue la utilizada como demanda de nuestro modelo. Finalmente se obtuvo un mapa final con la distribución de los tres objetivos: el uso urbano, comercial e industrial (Figura 4 -1).

3. Análisis de sensibilidad secuencial: metodología

Como mencionamos en la introducción, se proponen tres vías para intentar analizar la estabilidad del modelo espacial objeto de estudio. Con esta metodología se intenta observar el comportamiento de dicho modelo ante distintos tipos de variaciones y en distintas fases de ejecución del modelo de partida. De esta manera se pretende tener una visión global de la estabilidad de los resultados.

3.1. Influencia de las variaciones introducidas en la forma de modelar algunos de los factores.

Con esta propuesta ya explorada en un trabajo anterior (Orán *et al*., 20101)[1] lo que se persigue es modificar la forma en la que se ha construido el factor a partir de una variable, es decir, cambiamos la configuración de un factor de entrada del modelo. Como vamos a ver a continuación, es posible construir un factor que recoja la distancia a la red hidrográfica a partir de la variable hidrografía, o bien se pueden eliminar algunos cursos de menor entidad de la variable inicial y construir un factor de distancia sólo a la red hidrográfica principal. No siempre existe una razón científica que aconseje modelar la variable de una forma u otra en un proceso de EMC, y a veces varios tipos de modelar el factor serían igual de aceptables a la hora de formar parte del modelo, pero hay que tomar una decisión y elegir entre las distintas posibilidades existentes. Habitualmente se considera que la repercusión de esa elección no va a ser demasiado influyente en los resultados,

[1] En este trabajo, disponible en Internet, es posible encontrar más detalles de la metodología presentada.

pero la realidad es que no se suele investigar esa posibilidad. Consideramos que sería conveniente siempre realizar algún tipo de ensayo para confirmar que esto es así, y en este principio se basa nuestra propuesta.

En este caso analizaremos cuatro de las variables que ofrecen más posibilidades de ser modeladas o tratadas de distinta forma en el estudio, sin que ello suponga cambiar completamente el sentido del factor. Además, pretendíamos observar las posibles variaciones que este hecho podía producir, tanto en el resultado final del modelo, como en los resultados intermedios (representados en la Figura 4-2). Así, se seleccionaron dos factores ambientales (usos del suelo y lejanía a hidrografía) y dos factores económicos (accesibilidad a carreteras y a zonas urbanas preexistentes). En el modelo original se había tenido en cuenta para la ponderación de las distintas categorías del factor **usos del suelo** la diferencia de productividad agraria en la región madrileña, dando más peso, por ejemplo, a los pastizales en la zona norte de la región (donde existe una actividad ganadera importante), que en el sur, donde tiene mayor relevancia la actividad agrícola. En esta ocasión se eliminó esta diferenciación, calculándose la media aritmética para los diferentes pesos asignados a cada uso del suelo.

En el caso de los factores de distancia a hidrografía y a carreteras, en el modelo original se había optado por calcularla a todos los elementos presentes en la zona de estudio, sin tener en cuenta la jerarquía. En la nueva propuesta se tomaron en cuenta los distintos tipos de cauces, para la variable hidrografía, dándole un peso mayor a los cursos de agua más importantes (ríos y arroyos). En el caso de las carreteras, se ponderaron en función de la jerarquía de la red, tomando como diferenciador la velocidad permitida en cada una de las vías. Así, se otorgó un peso de 0,14 para las vías con velocidad permitida hasta 50km/h, un peso de 0,25 hasta 90km/h; 0,28 hasta 100km/h y 0,33 hasta 120km/h.

En el caso de la accesibilidad a los núcleos urbanos, se realizó la operación contraria, ya que en el modelo original se había otorgado un peso a cada uno de los núcleos según su tamaño poblacional, con el objetivo de que los nuevos núcleos urbanos se localizasen cercanos a las ciudades intermedias, evitando el crecimiento en zonas rurales o en áreas metropolitanas consolidadas. En este caso se eliminó dicha ponderación.

Una vez obtenidos los nuevos factores, se ejecutó nuevamente el modelo para analizar la sensibilidad del mismo ante estas variaciones. Exclusivamente para este análisis de sensibilidad se ha incorporado una variante al modelo original: se utilizó la técnica MOLA para obtener de cada uso y por separado su demanda de suelo, generando así un mapa exclusivo para cada objetivo.

El análisis, por tanto, se realizó en las siguientes fases:

1. En primer lugar se valoraron las diferencias entre el mapa de los valores normalizados de cada factor original y el modificado.

2. A partir del procedimiento habitual de la sumatoria lineal ponderada, el siguiente resultado intermedio obtenido en nuestro modelo sería el mapa de adecuación final para cada tipo de uso en función de todos los factores y restricciones contemplados en el estudio. Así, es posible realizar una valoración de la incidencia que la modificación de uno de los factores del modelo podía tener en estos resultados intermedios.

3. Siguiendo con el procedimiento descrito en el apartado 2, el resultado final se obtenía mediante la aplicación de un análisis multiobjetivo en el que se integraban los mapas de las mejores parcelas para cada uso y que competían finalmente por localizarse en el territorio.

La comparación entre los resultados originales y los obtenidos con la modificación de los resultados necesariamente tenía que ser diferente, pues en las dos primeras (mapas de partida y mapas resultado intermedios) se obtienen unos mapas de tipo cuantitativo (con valores entre 0 y 255) y en la tercera y última fase se obtienen mapas de parcelas (mapas resultado finales y mapas variante resultado).

Así, para los dos primeros procedimientos se realizó una simple resta de mapas y se calculó un índice (S) de diferencia media por pixel (en valor absoluto), basado en el propuesto por Lodwick *et al*. (1990) para medir sensibilidad en atributos. Este índice se calculó como:

S = [suma (|'Xi de capa original'- 'Xi de capa modificada'|)/número de píxeles Xi]

Donde: *S* es la Diferencia Media entre los Valores de Aptitud (DMVA) que existe entre el mapa original y el mapa modificado; X_i es el valor de aptitud en el píxel *i.*

En los dos últimos casos, tratándose de valores cualitativos, se utilizó el conocido índice Kappa (*K*) (Cohen, 1960), proporcionándonos un dato de variación y no de similitud, por lo que se le restó a 1 (valor máximo alcanzable) el valor obtenido del índice Kappa.

3.2 Influencia de la variación de los factores y pesos

Esta modalidad de análisis de sensibilidad consistió en aplicar uno de los métodos globales más utilizados en la modelación numérica, concretamente el método *Extended Fourier Amplitude Sensitivity Test* (E-FAST). Desarrollada por Saltelli *et al*., (1999b) partiendo de los fundamentos teóricos y matemáticos del método FAST, esta técnica nos permite obtener índices de sensibilidad de primer orden y de efecto total, para lo cual se emplea una simulación de Monte Carlo a partir de un muestro, teniendo en cuenta k factores de entrada independientes y un número N de muestras.

Para un factor de entrada X_i, el índice de sensibilidad representa la contribución fraccional a la varianza del modelo de salida Y, que se debe a X_i. Para calcular los índices de sensibilidad, la varianza total V del modelo de salida Y se distribuye a todos los factores de entrada X_i, es decir, ésta se descompone como una suma de los términos de dimensionalidad creciente:

$$V = \sum_{i} \quad + \sum_{i<} \quad + \sum_{i<<n} {}_{n} + \quad \ldots\ldots + {}_{1,2,\ldots k}$$

Donde:

$V = V$ [illegible] $E(Y \mid X_i = x_i^{\bullet}$ y

$V_{ij} = V$ [illegible] $E(Y \mid X_i = x_i^{\bullet}, X_j = x_j^{\bullet}) - V$ [illegible] $E(Y \mid X_i = x_i^{\bullet}) - V$ [illegible] $E(Y \mid X_j = x_j^{\bullet})$

$E(Y \mid X_i = x_i^{\bullet})$ es la esperanza matemática de Y condicionado a un valor fijo de X_i, y $V(.)$ es la varianza condicional.

El índice de sensibilidad de primer orden S_i para el factor o variable X_i es definido como: $S_i = \frac{V_i}{V}$.

El cual representa la parte de la variación de Y que es explicada por X_i individualmente. El índice de sensibilidad total S_{Ti}, se definiría como la suma de todos los índices (S_i y órdenes mayores) donde es incluida X_i, de tal forma que se concentra en un solo término todos los posibles efectos de interacciones que pueden estar implicados en el modelo.

Dicha técnica E-Fast, y otras, están implementadas en el *software SimLab* (SimLab, 2010), utilizado para llevar a cabo el AS bajo el siguiente procedimiento (Figura 4 -3) (es posible encontrar información más detallada sobre la ejecución de este análisis en Gómez Delgado y Barredo, 2005):

1. Se establece la distribución de frecuencias de los factores (ver última columna tabla 4-1). En el caso de los pesos se asignó una distribución uniforme con una variación de ± 25% de su valor nominal;
2. Se extrae una muestra de los distintos factores del modelo (factores propiamente dichos y pesos otorgados a los mismos) y se ejecuta el modelo un número significativo de veces (4.941 ejecuciones, en nuestro caso);
3. Finalmente se analizan los valores alcanzados en los índices de sensibilidad de los factores de entrada del modelo.

Es preciso señalar que estos análisis no tiene en cuenta la distribución espacial de las variables implicadas en el modelo. En su ejecución sólo es necesario conocer la distribución de frecuencias de las mismas. La otra limitación es que, en el caso de los factores, se selecciona una muestra de la distribución real de la variable, por lo tanto no se está aumentando ni disminuyendo el valor de los factores, lo que sí sucede para el caso de los pesos. Así, el interés en nuestro caso se centrará especialmente en los resultados obtenidos para los pesos, es decir, si la modificación en esta asignación incide de manera significativa en la variación de los resultados o no.

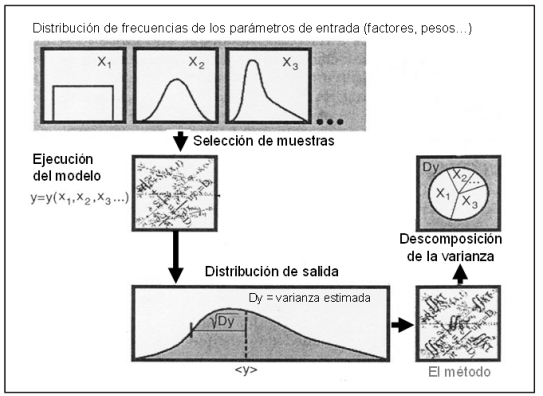


Figura 4-3. Esquema de aplicación del método E-Fast

Fuente: Adaptado de Saltelli *et al.* (2000)

3.3. Influencia de la utilización de diferentes técnicas de EMC

En este apartado se plantea estudiar el efecto que en los resultados puede tener la elección del método de EMC a utilizar que, como ya hemos comentado, se ha considerado en algún trabajo anterior como una opción para realizar un análisis de la estabilidad de los resultados de un modelo basado en estas técnicas. Hemos de señalar, sin embargo, que de los tres trabajos mencionados en la introducción, tan sólo el de Kaya (2006) tendría un planteamiento similar al aquí expuesto, utilizando además los dos mismos métodos de EMC aquí seleccionados. Los trabajos de Massam (1991) y Qureshi *et al.* (1999) no se aplican a todo un territorio. En estos casos se evalúa un número reducido de alternativas (8 localizaciones para construir una estación de transferencia, en el primer caso, y 4 propuestas para realizar una repoblación de ribera en una cuenca hidrográfica, en el segundo). Esto, sin duda, permite utilizar hasta cuatro métodos de EMC distintos, pues la carga computacional es mínima, aún utilizando más de 10 criterios en la evaluación. En un modelo eminentemente espacial, el número de alternativas puede ser demasiado elevado (en nuestro caso contamos con más de 7 millones de píxeles a evaluar) con lo que la ejecución del modelo se complica.

Realizada esta matización, en nuestro caso se decidió utilizar otro método, también compensatorio, pero basado en el análisis de punto ideal.

El método de Análisis de Punto Ideal (API) se basa en el cálculo de los desvíos de cada alternativa con un punto ideal que se debe considerar inalcanzable. Para ello se compara la distancia entre cada alternativa y el ideal en un espacio multivariado, donde cada criterio representa un eje (Barredo, 1996). Según este planteamiento puede servir como un buen procedimiento de EMC, bien para resolver problemas de decisión con objetivos simples, como para múltiples-complementarios. En nuestro análisis nos centraremos en la toma de decisión a razón de un objetivo cada vez, obteniendo un mapa de aptitud para cada uso (residencial, comercial e industrial).

Para determinar la distancia entre las alternativas y su punto ideal, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Lp = \left[\sum_{=} \left| x_{ij} - \right|^{p} \right]^{/p}$$

Donde: W_j es el peso del criterio j; x_{ij} es el valor de la alternativa *i* en el criterio *j*; *p* es la métrica para el cálculo de la distancia (Barredo, 1996). Esto llevado a nuestro modelo lo hemos aplicado de la siguiente forma:

$$L_2 = \left[\sum_{j=\ 55}^{n} w_j \left| x_{ij} - \ !55 \right|^{2} \right]^{/2}$$

Todas las operaciones necesarias para realizar estos cálculos se realizaron a partir de las herramientas de ejecución de macros de IDRISI, ya que este método no se encuentra incorporado como tal en las funciones de este SIG. Con ello conseguimos también obtener con mayor facilidad las parcelas para cada uso, así como las pruebas para lograr los umbrales mínimos de aptitud hasta conseguir obtener, en el paso siguiente (análisis multiobjetivo), la superficie objetivo para cada uso.

En el último paso de nuestro modelo modificado se realizó el análisis multiobjetivo mediante la herramienta MOLA. Esta fase se ejecutó de dos maneras, como en el apartado 3, es decir, con todos los objetivos compitiendo entre sí, y otra con cada objetivo por separado.

Para analizar los resultados se realizó una intersección entre el resultado de MOLA del modelo original, con el mismo resultado obtenido al aplicar el API. Así también se hizo lo propio con el análisis multiobjetivo de los tres usos por separado. Dada la baja coincidencia que presentaban los resultados, se decidió explorar las posibles coincidencias en un área de 500 metros alrededor de las parcelas resultantes del modelo original y se volvió a realizar el mismo análisis de superposición.

Finalmente, y para poder comparar nuestros resultados con los obtenidos en el trabajo de Kaya (2006), se procedió a generalizar los mapas de aptitud para cada uso obtenidos con las dos técnicas, en tres categorías: alta, media y baja. A continuación y mediante una tabulación cruzada, se calculó el porcentaje de superficie coincidente en cada una de ellas.

4. Descripción y análisis de resultados

4.1. Comprobación de la influencia de las variaciones introducidas en la forma de modelar algunos de los factores

Para analizar los resultados seguiremos la secuencia expuesta en el apartado 3.1, de tal forma que iremos percibiendo qué efectos tuvieron los cambios introducidos desde el principio del proceso de ejecución del modelo hasta el final del mismo.

En primer lugar, nos detendremos en los histogramas de frecuencia elaborados en las dos primeras fases contempladas en el estudio. Si observamos la Figura 4-4 podemos decir que, en general, el impacto de la modificación introducida no es muy notable, pues la mayor concentración de frecuencias se da en los valores más bajos, disminuyendo el número de casos a medida que aumenta la diferencia en aptitud (aunque algo menos claro, en los usos de suelo, siguen predominando los valores bajos).

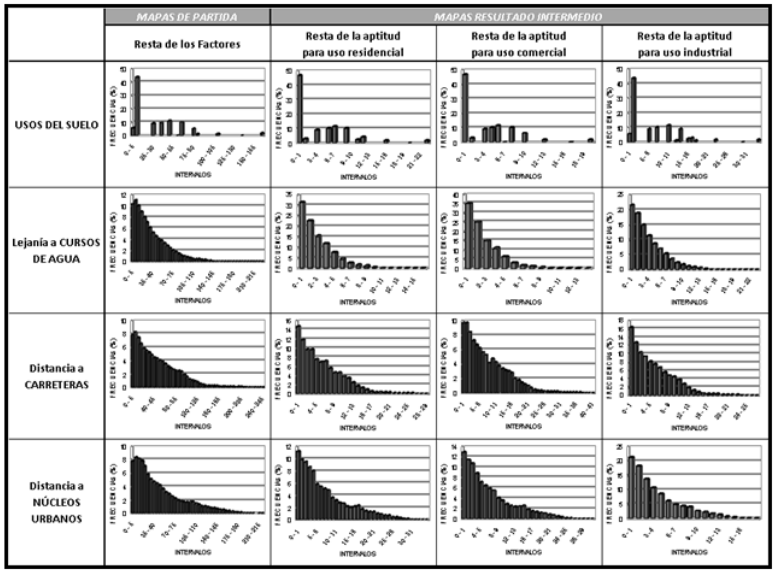


Figura 4-4. Histogramas de frecuencia de los mapas comparativos de partida y resultados intermedios
Fuente: Orán Cáceres et al., 2010.

Tanto en los mapas que representan las diferencias entre el factor original y el modelado diferente (mapas de partida), y los que representan los mapas de adecuación finales originales y los modificados (tanto para uso residencial, industrial y o comercial), aproximadamente el 50% de los píxeles están comprendidos en un rango entre 0 y 7 valores de diferencia de aptitud, lo que representa entre el 6% y 18% del máximo alcanzable de diferencias de aptitud.

En segundo lugar sería apropiado analizar qué lugares del territorio objeto de estudio son más sensibles a las modificaciones planteadas en este análisis, y si el efecto permanece constante a lo largo de las siguientes fases de ejecución del modelo. Así, comprobamos que de nuevo los efectos que se producen a nivel de factor modificado, se reproducen en los mapas de adecuación resultantes de añadir el resto de los factores con sus respectivos pesos. En la Figura 4-5 aparecen los dos casos más representativos: distancia a carreteras (a y b) y lejanía a cursos de agua (Figuras c y d). Así, en dicha figura se aprecia como las diferencia van creciendo a medida que nos alejamos del centro de la Comunidad de Madrid, acumulándose de manera más evidente en el suroeste de la región. Esto se explicaría por distintos hechos: en primer lugar, la diferencia de valor en el peso asignado a las carreteras que ahí predominan (las de velocidades de 90 km/h); unido a esto, la lejanía a las carreteras con los mayores pesos asignados (carreteras de 120 km/h); y, por último, la concentración en poco espacio de esas carreteras. En el caso del factor lejanía a cursos de agua (c y d), las mayores diferencias se dejan notar nuevamente en el suroeste y sur de la Comunidad de Madrid. Este hecho parece ser debido, en este caso, a la concentración en estas zonas de los cauces eliminados en el modelado, provocando las mayores diferencias en valores de aptitud. Sin embargo, no podemos considerar que éstas sean realmente significativas, pues la diferencia máxima es de 20 valores de aptitud, frente a un máximo de valor de aptitud que presentaba el mapa de adecuación original de 207.

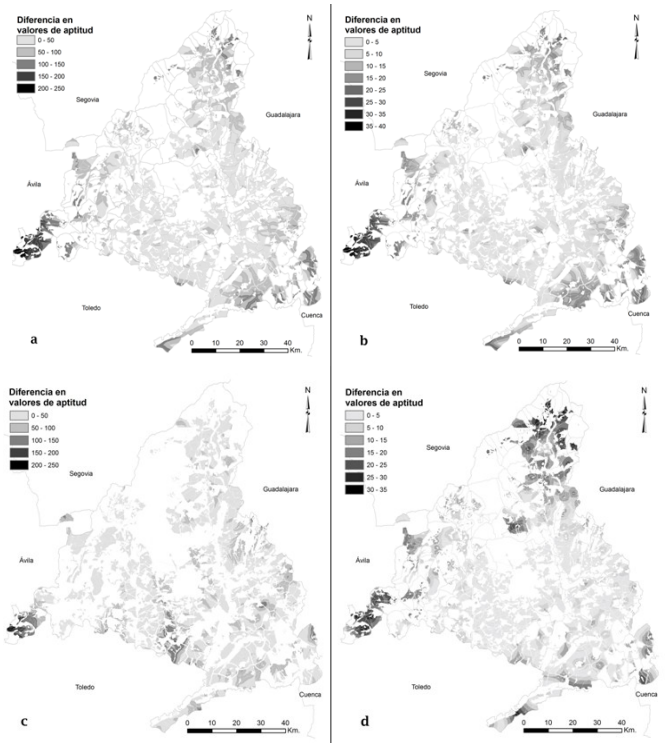


Figura 4-5. Distribución espacial de las diferencias: a) entre el factor distancia a carreteras original y el modificado; b) entre el mapa de adecuación final original para el uso comercial y el resultante de introducir el factor distancia a carreteras modificado; c) entre el factor lejanía a cursos de agua original y el modificado; d) entre el mapa de adecuación final original para el uso residencial y el resultante de introducir el factor lejanía a cursos de agua.

Fuente: Orán Cáceres et al., 2010.

Si atendemos a los resultados del índice S y el índice Kappa, ya en las tres fases de ejecución del modelo (Tabla 4-2) se observa que son los factores distancia a carreteras y distancia a núcleos urbanos los que son más sensibles a la modificación planteada en su modelación y que, además, presentan mayor repercusión en los resultados intermedios (FASE 2, mapas de aptitud). En general, y si observamos los datos de media de estos mapas, podemos decir que se aprecia una tendencia a aumentar el valor conforme las diferencias introducidas al principio son mayores (se mantiene la relación de menos a más en los usos de suelo, distancia a núcleos urbanos y distancia a carreteras: 30,56 – 4,79; 46,72 – 5,92; 46,97 – 6,26 DMVA, como cabría esperar). Podríamos destacar el caso de la distancia a cursos de agua, no porque resulte de especial incidencia en la variación de los resultados, sino porque tiene un comportamiento totalmente distinto al resto de factores estudiados, registrando unos valores bastante más bajos que el resto, aun cuando su valor (34,23 DMVA) es mayor que el del factor usos del suelo. También podemos apreciar que para el caso de los productos finales del modelo (los realizados a partir del MOLA, FASE 3) los valores elaborados son bastante próximos, es decir, los cambios efectuados en cada repetición del modelo han tenido un impacto parecido en el producto final.

Tabla 4-2. Cambio de modelación de la variable en las tres fases de ejecución y para los tres usos urbanos

	Índice S del Factor (DMVA)	Índice S de la aptitud para ubicar lo residencial	Índice S de la aptitud para ubicar lo comercial	Índice S de la aptitud para ubicar lo industrial	Media de los índices S	1 – Kappa. Resultado MOLA
USOS DEL SUELO	30,56	4,28	3,67	6,42	4,79	0,25
Lejanía a CURSOS DE AGUA	34,23	2,40	2,05	3,42	2,62	0,32
Distancia a CARRETERAS	46,97	5,64	7,99	5,17	6,26	0,27
Distancia a NÚCLEOS URBANOS	46,72	7,48	6,54	3,74	5,92	0,31
	F. 1	FASE 2				FASE 3

Fuente: Orán Cáceres *et al.*, 2010

Leyenda: residencial, R; comercial, C; industrial, I.

4.2. Comprobación de la influencia de la variación de los factores y pesos

Los resultados arrojados por este análisis de sensibilidad nos indican que son principalmente las variaciones introducidas en el factor uso del suelo las que pueden influir de manera más determinante en la variación de los resultados del modelo para los tres usos analizados (Tabla 4-3). No obstante, dicha variabilidad no es demasiado considerable, excepto para el uso industrial, modelo en el que el 67% de la variación de los resultados puede ser atribuido a la variación de este factor. Si matizamos un poco más, podemos decir que son hasta cuatro los factores que más inciden en la variación de los resultados. Para el modelo de uso urbano los factores más significativos son: uso del suelo, accesibilidad a zonas urbanas y vulnerabilidad de los mantos acuíferos. Mientras que para el modelo de uso comercial los factores que recogen la mayor variabilidad de los resultados son: uso del suelo, accesibilidad a carreteras y accesibilidad a zonas urbanas. Por último, para el modelo de uso industrial son solamente dos los factores más influyentes en el resultado: uso del suelo y tipo de suelos.

Tabla 4-3. Resultados de la aplicación del análisis de sensibilidad a partir del método E-FAST

Factores		Urbano	Comercial	Industrial
		Si	Si	Si
F1	Uso del suelo (CLC1990)	0,25	0,30	0,67
F3	Vulnerabilidad mantos acuíferos	0,08	0,02	0,04
F5	Tipo de Suelos	0,04	0,05	0,09
F6	Pendiente	0,03	0,01	0,01
F7	Accesibilidad a carreteras	0,04	0,14	0,05
F8	Accesibilidad a zonas urbana	0,11	0,13	0,02
F10	Geotecnia	0,08	0,06	0,05
F12	Accesibilidad a hospitales	0,07	0,03	0,01
F15	Orientación del terreno	0,07	0,01	------
P7	Peso factor 7 (F7)	0,02	0,08	0,02
P8	Peso factor 8 (F8)	0,03	0,04	0,01

Nota: no se ha incluido el resultado para el resto de los factores y pesos por estar en todo los casos por debajo de 0,01.

Al respecto es necesario señalar que se cumple la máxima habitual en casi todos los modelos, es decir, que tan sólo tres o cuatro factores son los verdaderamente influyentes en los resultados. Sin embargo, lo peculiar de este caso es que la proporción que suman todos ellos (los más importantes) es relativamente escasa respecto a lo habitual en otros estudios (Crosetto et al., 2001; Crosetto et al., 2002; Gómez Delgado y Tarantola, 2006). Al no aglutinar una cantidad sustanciosa de la variabilidad de los resultados, resultaría poco aconsejable, por ejemplo, utilizar esta información para simplificar el modelo (otra de las utilidades de este tipo de análisis).

En cuanto a los resultados obtenidos para los pesos, tomando su variación en un rango del ± 25 %, se pudo observar que la asignación de dichos pesos en el modelo es robusta, ya que en ningún caso los pesos recogen un valor alto en la variabilidad de los resultados del modelo. En la tabla 4-3 sólo hemos incluido los dos que obtuvieron un porcentaje mayor, estando el resto siempre por debajo de estos valores (0,01). Se trata de los pesos otorgados a los factores accesibilidad a carreteras (F7) y accesibilidad a zonas urbanas (F8).

Finalmente hemos de señalar que el resultado obtenido para el índice total fue exactamente el mismo que los presentados en la tabla 4-3 para el índice de primer orden. Esto indica, por tanto, que no se registra ninguna interacción entre los factores del modelo a la hora de influir en la variación de los resultados del mismo

4.3 Comprobación de la influencia de la utilización de una técnica u otra de EMC

De nuevo en este caso se analizarán los resultados de la aplicación de los dos métodos de EMC (SLP y API) en el transcurso del modelo: en los mapas de resultados intermedios, los de aptitud para cada uso/objetivo y el mapa resultado final a partir del MOLA.

Al comparar los mapas de aptitud a simple vista se observan pocas diferencias. Existen muchas áreas coincidentes sobretodo en la categoría de aptitud media. En la Figura 4-6 aparecen los mapas resultantes para el uso residencial. Aquí las similitudes se aprecian principalmente en la región central de los mapas, así como al sur de los mismos. También observamos coincidencias de los valores más altos en la diagonal SO-NE descrita por la A5 y la A-2. Cuestión que cambia en torno al eje de la A-1, donde se aprecia que las aptitudes obtenidas por la SLP son menores que las obtenidas por el API, ocurriendo lo mismo en el pico oeste de la Comunidad, en la zona flanqueada por Ávila y Toledo.

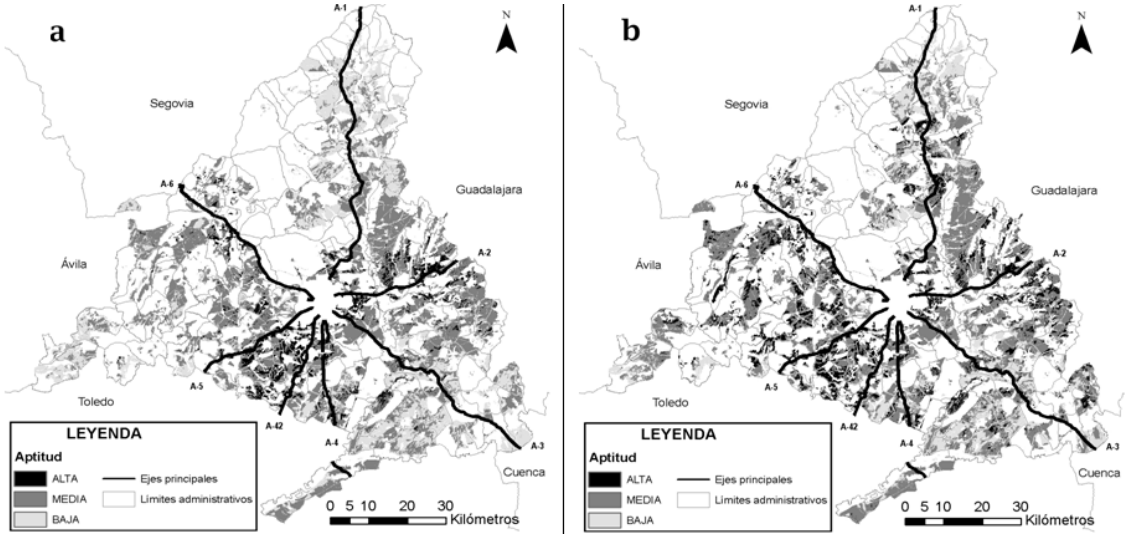


Figura 4-6. a) Mapa de adecuación para uso residencial obtenido mediante la técnica de la Sumatoria Lineal Ponderada; b) Mapa de adecuación para uso residencial obtenido mediante la técnica del Análisis del Punto Ideal.

Para poder obtener un dato cuantitativo de estas similitudes, se procedió a categorizar en aptitud alta, media y baja los valores de los mapas resultantes de aplicar ambas técnicas. Los resultados de la Tabla 4-4 muestran como existe una amplia coincidencia en las categorías alta y media de adecuación para uso residencial (por encima del 80%), siendo algo menor en el caso de las adecuaciones más bajas. Sin embargo, en el caso de los mapas de adecuación para uso industrial, la mayor coincidencia se produce en los píxeles menos adecuados para este uso (93%), registrándose un ajuste por debajo del 50% en el caso de las mejores alternativas (adecuación alta).

Tabla 4-4. Superficie coincidente (%) en los mapas categorizados del modelo original (SLP) y del generado con API

	%	API		
SLP	**Residencial**	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
	ALTA	**84**	**16**	**0**
	MEDIA	**17**	**81**	**2**
	BAJA	**0**	**38**	**62**

	%	API		
SLP	Industrial	ALTA	MEDIA	BAJA
	ALTA	46	54	0
	MEDIA	5	81	14
	BAJA	0	7	93

En cuanto a la comparación de los datos en el segundo y último paso (mapa generado con MOLA a partir de los resultados de SLP y mapa generado con MOLA a partir de los resultados de API) comprobamos que existen diferencias entre los resultados finales ofrecidos al utilizar una u otra técnica de EMC (SLP o API). Así en la Figura 4-5a se aprecian 3 grandes áreas donde se acumula la distribución de los tres usos en la región: al S-SO del municipio de Madrid y al NO y NE del mismo, siguiendo en los tres casos tres importantes ejes viarios (A-42, la A-6 y la A-2, respectivamente). Si observamos la Figura 4-7b y la comparamos con la anterior, comprobamos que, en líneas generales, el comportamiento de asignación espacial es parecido, registrándose la misma concentración en estas tres áreas. Sin embargo, el volumen de demanda de suelo asignado es notablemente menor, apreciándose una mayor dispersión en la asignación efectuada mediante la técnica API.

Estas diferencias se hacen más patentes cuando comparamos el porcentaje de superficie coincidente, comprobando que en ninguno de los usos objeto de estudio se sobrepasa el 30% (Tabla 4-5). Si bien en el segundo caso (ejecución de MOLA con los objetivos por separado) se aprecia una ligera mejoría al coincidir todos los usos entorno a un 40%.

Tabla 4-5. Porcentaje de superficie coincidente entre los mapas resultantes del modelo original (SLP) y del generado con API

	MOLA_API / MOLA_SLP		OBJETIVOS POR SEPARADO	
Usos	Pixel a pixel (%)	Buffer 500 m. (%)	Pixel a pixel (%)	Buffer 500 m. (%)
Urbano	24,8	53,0	38,2	65,5
Comercial	27,1	37,9	42,3	50,8
Industrial	29,2	39,6	40,0	50,7

Siguiendo la propuesta de Pascual Rosa *et al.* (2010), y considerando el tamaño de píxel utilizado en el estudio (50m), es estimó oportuno generar un corredor de 500 m. alrededor de las parcelas originales, para comprobar si la coincidencia aumentaba considerablemente, es decir, por si el efecto de delimitación de las parcelas pudiese haber disminuido la superficie que exactamente coincide, pero seguían localizándose en las proximidades las mejores alternativas. Observando los resultados podemos apreciar que los valores aumentan hasta el 38% y el 53%, en el caso de los mapas finales. Cuando eliminamos el factor de competencia entre los usos, y realizamos el análisis con los objetivos por separado, estos valores ascienden hasta situarse entre el 50% y el 65%.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha pretendido desarrollar una propuesta metodológica más o menos exhaustiva que nos permita analizar la estabilidad y robustez de un modelo basado en técnicas EMC y en un entorno SIG. Esta metodología pretendía ir más allá de las propuestas habituales hasta el momento, que se ciñen a una sola parte del modelo, intentando en este caso reproducir los preceptos de un AS a varias partes del modelo, en orden secuencial y en dos planos diferentes.

En primer lugar se ha aplicado en la modelización de los factores, después sobre los factores y pesos en sí y finalmente en la técnica de EMC empleada, eso sí, en fases independientes unas de otras. En segundo lugar, en dos de los casos mencionados y por la flexibilidad del planteamiento, se ha intentado analizar la propagación de las variaciones introducidas en las distintas fases de ejecución: desde la obtención de los factores propiamente dichos, hasta la obtención de los mapas finales para cada uso individual y colectivo (recordamos que en el modelo original el resultado es un solo mapa final con los tres usos compitiendo por el territorio, obtenido con MOLA).

La primera dificultad que encontramos en este planteamiento no ha sido de orden metodológico, pues pensamos que las modificaciones son razonablemente coherentes con la estructura del modelo y fácilmente aplicables con las herramientas disponibles en un SIG. Lo que resulta en realidad comprometido es valorar los resultados, es decir, establecer cuál es el límite a partir del cual podemos considerar que las variaciones son demasiado importantes para determinar que unos resultados no son suficientemente estables. Es cierto que en el caso de la aplicación de los AS globales a partir de métodos como E-Fast no nos encontramos con este problema, pues existen unos rangos predeterminados con los que poder realizar una valoración. Así, en este caso, hemos podido comprobar que uno de los factores que puede influir de manera más o menos decisiva en nuestros resultados serán los *usos del suelo* y en segundo término, aunque con bastante menos incidencia, *la accesibilidad a zonas urbanas y la accesibilidad a carreteras*. Sin embargo, en las otras dos propuestas nos hemos encontrado con situaciones variadas en función del momento de ejecución del modelo e, inclusive, en función del uso del suelo modelado (residencial, industrial o comercial). Es verdad que reiteradamente han vuelto a aparecer estos tres factores que acabamos de mencionar como los de mayor incidencia, aunque, a veces, no con una importancia tan remarcada. Si observamos la Tabla 4-3, resulta complicado establecer ese umbral al que hacíamos alusión, aunque parece razonable pensar que el modelo es bastante robusto, pues las variaciones finales no son demasiado importantes.

Esta deficiencia resulta evidente cuando obtenemos y analizamos resultados globales para toda el área de estudio. Es por ello que resulta necesario utilizar métodos más flexibles y espaciales para realizar una valoración final. Por ejemplo en nuestro caso, y gracias a la representación espacial de esas variaciones (Figuras 4-5, 4-6 y 4-7), hemos podido comprobar que existen zonas de la región especialmente sensibles a estos cambios. En el caso de la modelización de las variables, se observa que las mayores diferencias se acumulan en el suroeste de la región para los cuatro factores modificados. Aunque las variaciones no sean realmente significativas desde el punto de vista cuantitativo, sí podemos utilizar esta información para tomar ciertas precauciones, y analizar más en detalle aquellas alternativas que pudieran finalmente haber sido seleccionadas como más adecuadas en esta zona. Una vez más no resulta preocupante en nuestro caso, porque apenas aparecen aquí parcelas seleccionadas para ninguno de los usos (Figura 4-1 y Figura 4-5).

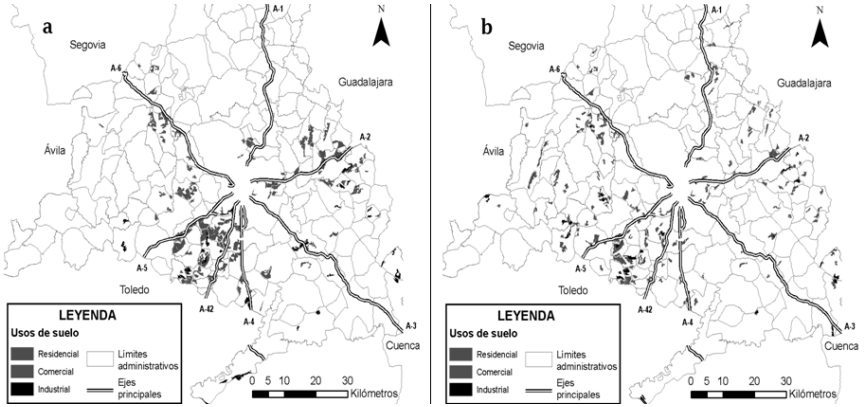


Figura 4-7. a) Resultados obtenidos mediante la técnica de la Sumatoria Lineal Ponderada; b) Resultados obtenidos mediante la técnica del Análisis del Punto Ideal.

En el caso de la tercera propuesta, de utilización de otro método de EMC, nos encontramos con las mismas dificultades. Si atendemos a los resultados de la tabla 4-5, podríamos considerar que los porcentajes son demasiado bajos para considerar que la utilización de un método u otro no influyen decisivamente en los resultados.

En este caso también habría que matizar que se está hablando de parcelas candidatas, formadas por un conjunto más o menos limitado de píxeles. Este resultado es mucho más difícil de reproducir de manera exacta que si estuviésemos tratando todo el territorio. Así, en el trabajo mencionado de Kaya (2006), se obtienen resultados de más del 80% de coincidencia, pero el planteamiento no es comparable con nuestro caso. En primer lugar en el estudio se evalúa todo el territorio para un futuro uso recreacional, pero no se extraen parcelas candidatas. Esto permite a los autores tomarse ciertas licencias y, así, se generaliza el mapa resultante de la aplicación del API en tres categorías. Cada una de estas categorías se compara con los 9 mapas de adecuación obtenidos mediante SLP, que representan las distintas combinaciones posibles de usos recreativos o explotación forestal. De hecho, cuando en nuestro caso hemos realizado una operación similar con los mapas de adecuación (sin la asignación final de la demanda de suelo para cada uso) hemos podido comprobar que también se supera el 80% de superficie coincidente en algunas categorías, pero encontramos diferencias significativas entre unos usos y otros. Además, estos resultados dependen en gran medida del criterio que se utilice para realizar el corte entre las distintas categorías (cuartiles, mediante observación directa de la distribución de frecuencias, en función de la media y la desviación típica, etc.).

Para concluir, pensamos que las líneas futuras de investigación, deberían ir en dos sentidos. En primer lugar se debería completar la propuesta metodológica aquí presentada con una aplicación secuencial real que permitiera estudiar más exhaustivamente el efecto de la propagación de las variaciones introducidas desde las primeras fases de aplicación del modelo. Es decir, que los factores modificados en su forma de modelización, también fueran incluidos para aplicar el método E-Fast o en la ejecución del API. Recordemos que el problema de la propagación de la incertidumbre en las operaciones llevadas a cabo en un SIG sigue siendo un tema prioritario en este ámbito. En segundo lugar se debería indagar sobre nuevas formas de analizar estos resultados, de tal forma que se pudiesen establecer rangos o límites aplicables a otros contextos y a otras formas de aplicación de estas técnicas de EMC a problemas espaciales. Finalmente, somos conscientes de que la ejecución de este tipo de análisis de sensibilidad puede resultar demasiado larga como para animar a los investigadores a que lo reproduzcan después del esfuerzo invertido en la concepción del modelo original, recopilación de variables, modelación, etc., pero resulta necesario (y así se pone de manifiesto cada vez más en la comunidad científica) proporcionar cierta confiabilidad a los resultados derivados de este tipo de modelos que pueden ser utilizados para ofrecer futuras propuestas que pueden traducirse en intervenciones directas sobre el territorio.

6. Agradecimientos

Este artículo se ha realizado dentro de las actividades del proyecto de investigación "SIMURBAN: Análisis y simulación prospectiva mediante Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) del crecimiento urbano actual. Evaluación de su sostenibilidad", financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC España) a través de la convocatoria 2007 de proyectos del Plan nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación 2004-2007, Programa nacional de Ciencias Sociales, Económicas y Jurídicas (referencia SEJ2007-66608-C04-00/GEOG).

Así mismo los autores quieren agradecer a los evaluadores anónimos las recomendaciones realizadas que han permitido mejorar el presente trabajo.

Referencias bibliográficas

Baja, S., Chapman, D. M., Dragovich, D. (2007). Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning, Environmental Modeling Assessment, 12, pp. 171-184.

Barredo Cano, J. I. (1996). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ed. RA-MA.

Chang, N. B., Parvathinathan, G., Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill sitting in a fast-growing urban region, Journal of Environmental Management, 87, pp. 139–153.

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement Vol.20, No.1, p. 37–46.

Crosetto, M. y Tarantola, S. (2001). "Uncertainty and sensitivity analysis: tools for GIS-based model implementation", International Journal of Geographical Information Science, 15 (5), pp.415-437.

Crosetto, M.; Moreno, J.A. y Crippa, B. (2001). "Uncertainty propagation in models driven by remotely sensed data", Remote Sensing of Environment, 76 (3), pp.373-437.

Crosetto, M., Crosetto, F. y Tarantola, S. (2002). "Optimised resource allocation for GIS-based model implementation", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68 (3), pp.225-232.

Eastman, JR., Toledano, J., Jin, W., Kyem, PAK., (1993). "Participatory multi-objective decision-making in GIS". In: Proceedings of the 11th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Auto-Carto, 11.

Franco Maass, S. y Bosque Sendra, J. (1997). "Procedimiento para la obtención de parcelas de adecuación en imágenes ráster", I Reunión de usuarios Españoles de Idrisi, Alcalá de Henares, España.

Geneletti, D. y van Duren, I. (2008). Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation, Landscape and Urban Planning, 85, pp. 97-110.

Gómez Delgado, M. y Barredo, J. (2005). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ed. RA-MA.

Gómez Delgado, M. y Tarantola, S. (2006). "Global sensitivity analysis, GIS and multi-criteria evaluation for a sustainable planning of hazardous waste disposal site in Spain", International Journal of Geographical Information Science, 20, pp. 449-466.

Kaya, Z.G. (2006). Developing a GIS based methodology for decision making for multiobjective recreational areas, case study: Eastern Black Sea region. Thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University (Ankara, Turquía). Disponible en http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12607288/index.pdf (último acceso: Abril 2011).

Lamelas Gracia, M.T. (2009). Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: aplicación a la localización de suelo industrial. GeoFocus, 9, pp. 28-66.

Liu, y.; Lv, X.; Qin, X.; Guo, H.; Yu, Y.; Wang, J. y Mao, G. (2007): "An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe", Landscape and urban planning, 82, pp. 233-246.

Ligmann-Zielinska, A.; Church, R.L. y Jankowski, P. (2008): "Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation", International Journal of Geographical Information Science, 22 (6), pp. 601-622.

Lodwick, W., Monson, W. and Svoboda, L. (1990) Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographic information systems: suitability analysis. International Journal of Geographical Information Systems, 4 (4), p. 413-428.

Malczewski, J. (2006): "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8, pp. 270-277.

Molero Melgarejo, E.; Grindlay Moreno, A.L. y Asensio Rodríguez, J.J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", GeoFocus, 7, pp. 120-147.

Orán Cáceres, P.; Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010). "Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio", en Ojeda, J.; Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds). Tecnologías de la Información Geográfica: la Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, pp. 971-987. Disponible en http://www.gstgis.com/congresotig-ponencias/pdf/comunicacion/ORAN.pdf (último acceso: Abril 2011).

Pascual Rosa, V., Aguilera Benavente, F., Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010): Simulación de modelos de crecimiento urbano: métodos de comparación con los mapas reales. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. pp. 1.000-1.013.

Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2008). "Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos (RLO y MLA) y SIG". Presentado al XIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, La Habana, Cuba, y publicado en la Revista de Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana, Núm. 0, España.

Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., Bosque Sendra, J. (2010). "Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica", Geofocus 10, pp. 103-134.

Qureshi, M.E., Harrison, S.R. y Wegener, M.K. (1999). "Validation of multicriteria analysis models", Agricultural Systems 62, pp. 105-116.

Rykiel, E.J. Jr. (1996): Testing ecological models: the meaning of validation, Ecological modeling, 90, pp. 229-244.

Saltelli, A.; Chan, K. y Scott, E. (2000). Sensitivity Analysis. Chichester, John Wiley & Sons, LTD.

Saltelli, A.; Tarantola, S. y Chan, K. (1999a). "A role for sensitivity analysis in presenting the results from MCDA studies to decision makers", Journal of multi-criteria decision analysis, 8 (3), pp.139-145.

Saltelli, A., Tarantola, S., Chan, K. (1999b). "A quantitative model independent method for global sensitivity analysis of model output", Technometrics, 41, pp. 39-56.

Saltelli, A.; Ratto, M.; Andres, T.; Campolongo, F.; Cariboni, J.; Gatelli, D.; Saisana, M. and Tarantola, S. (2008). Global sensitivity analysis: The Primer. John Wiley & Sons.

Simlab (2010). Software for Uncertainty and Sensitivity Analysis. V.3.2. Desarrollado por el Joint Research Centre, Ispra (Comisión Europea). Disponible en http://simlab.jrc.ec.europa.eu/ (último acceso: Abril 2011).

Svoray, T.; Bar, P. y Bannet, T. (2005): "Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: habitat heterogeneity model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism", Landscape and Urban Planning, 72, pp. 337-351.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) COMO HERRAMIENTA EN LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO URBANO

Carlos Fonseca Ortiz[1], Carlos Díazdelgado[2], Marivel Hernández Téllez[3], María Esteller Alberich[4].

RESUMEN

El presente trabajo propone un método que facilita la estimación de la demanda de agua potable para usos urbanos por medio de un sistema de información geográfica. Este método proporciona una mayor precisión en la estimación de la superficie que abarca las zonas de suministro de agua potable pero, sobre todo, certidumbre en la cantidad de agua demandada debido al detalle que ofrece la información usada: las Áreas Geo-Estadísticas Básicas (AGEB).Para el año de estudio 2005, una comparación entre las estimaciones de la demanda de agua realizadas por el organismo operador del agua en Toluca, México y el presente método utilizando las AGEB's concluyeron que problemas como una distribución inadecuada del agua puede ser resuelta por medio de este método utilizando representaciones espaciales de la demanda proyectada. Además el monitoreo sobre el gasto de agua proyectada y suministrada permitirá un análisis sobre la dotación requerida por tipo de consumo y su reducción dentro del marco de cultura de ahorro de agua.

Palabras clave: demanda de agua, zona urbana, sistemas de información geográfica, Toluca, México.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) AS A TOOL FOR URBAN WATER DEMAND ESTIMATION

ABSTRACT

This paper proposes a method which facilitates urban water demand estimation through a Geographic Information System (GIS). This method provides a major accuracy in surfaces estimation of water supply zones and water demand, certainty due to the information source: geo-statics basic areas (AGEB). For the year of study (2005), a comparison between water demand estimation by the Toluca city Water Agency (Mexico), along with information of AGEB's, it was concluded that problems like an inadequate water distribution can be solved through spatial representations of projected demand. Furthermore, projection and supply water flow monitoring allows an analysis about the water needs by each type of use, and its reduction inside of a water-saving culture framework.

Key words: *water demand, urban zone, geographic information system, Toluca, México.*

Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec CU s/n 50110 Toluca, México. [1]car.fon.or@live.com.mx, [2]cdiazd@uaemex.mx, [3]mhernandezt@uaemex.mx, [4]mvestellera@uaemex.mx

1. Introducción

En el presente trabajo se expone un método que introduce los SIG en etapas de planeación y diseño en un proceso que, por lo menos en México, no está implementado. Este proceso corresponde al suministro de agua, donde la proyección de los requerimientos, como en cualquier proyecto de ingeniería, es la base del diseño y donde una sobreestimación o subestimación puede provocar serias fallas en el sistema. Esta propuesta es una manera diferente de estimar la demanda de agua potable, cuenta con mayor *certidumbre*, una base más precisa y cumple con los lineamientos que marca la normatividad vigente. Además, utiliza una herramienta que facilita los cálculos y permite su representación espacial. Esta herramienta es encontrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado con *Idrisi*. Este paquete informático es un software especializado en el manejo de cartografía por medio de imágenes ráster y capas vectoriales, que es utilizado en el presente estudio por sus cualidades para ensamblar y ejecutar análisis multipasos en ambientes gráficos (Eastman, 2006).

2. Antecedentes

Los sistemas de información geográfica (SIG) han encontrado una participación determinante a través del tiempo, y alrededor del mundo, en estudios usualmente enfocados a los cambios de uso de suelo como puede verse en Ubalde et al. (1999), Bocco et al. (2001) y Henríquez et al. (2006) entre otros. En lo que respecta a recursos naturales como el agua, los SIG se han utilizado de diversas formas, desde soporte de bases de datos geo-espaciales para simulaciones hidrológicas como en Andersen et al. (2001) hasta herramientas de análisis de vínculos entre agua y salud como en Quentin et al. (2003).

El suministro de agua es un tema de controversia por los actores económicos, sociales, ambientales y políticos que deben considerarse antes de tomar una decisión, particularmente, en lugares con una fuerte presión social, una intensa carga ambiental y un alto desarrollo económico. Tal es el caso de la zona urbana de Toluca, México, región de estudio del presente trabajo, quinta zona metropolitana más habitada del país (INEGI, 2010) y ubicada sobre un acuífero considerado como sobreexplotado (DOF, 2009). Precisamente, en este acuífero, el 83.43% del agua extraída (395.76 hm^3/año) se destinó al uso público urbano para el año 2010 (IMTA, reporte interno, 2010). Este uso de agua requiere la mejor calidad en las características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas del agua para su consumo provocando que el estado de las aguas subterráneas, fuente principal de abastecimiento, tenga una íntima relación con el aprovechamiento racional del agua consumida. Por lo anterior, el análisis y estimación del volumen suministrado para los usos domésticos y públicos toman una mayor relevancia para evitar una administración derrochadora del recurso hídrico. Por otro lado, en función de la cantidad de información disponible en México es posible proyectar una demanda de agua en tres formas. En la primera de ellas, se tiene un registro en forma de histogramas de los volúmenes utilizados para cada tipo de consumo. La segunda forma se presenta cuando se dispone de recursos humanos, económicos y tiempo de ejecución para obtener muestras representativas de usuarios. Finalmente, como en el mayor de los casos donde no se cuenta con la suficiente información, es posible auxiliarse de estudios técnicos elaborados por la CONAGUA (1994) para determinar el consumo de una localidad.

3. Método

Caso de estudio

El método propuesto ha sido aplicado para el año 2005 a la ciudad de Toluca, México, la cual ha experimentado grandes cambios en toda su estructura urbana. El sistema de agua potable no ha sido la excepción, es así que la explosión demográfica ha provocado un crecimiento desorganizado de la red de abastecimiento. Estas condiciones dificultan un diagnóstico de operación oportuno que reduzcan y eviten pérdidas de agua en el sistema. En las últimas dos décadas una solución adoptada en varias ciudades mexicanas ha sido sectorizar la red en cierto número de subredes separadas con pocas o, en el mejor de los casos, con una sola alimentación (Tzatchkov et al., 2008). Con base en esta filosofía, en el presente estudio se definieron las "zonas de servicio" como los espacios físicos y conjunto de usuarios que son alimentados por la misma fuente de abastecimiento. El objetivo principal de la determinación de las zonas de servicio es tener definida el área de influencia de cada fuente y ayudar al monitoreo de la red de forma ordenada.

En la Figura 4-8 se muestra la ubicación de las 13 zonas de servicio definidas dentro del municipio de Toluca, las cuales son representadas por conjuntos de polígonos de asentamiento humano descritos posteriormente.

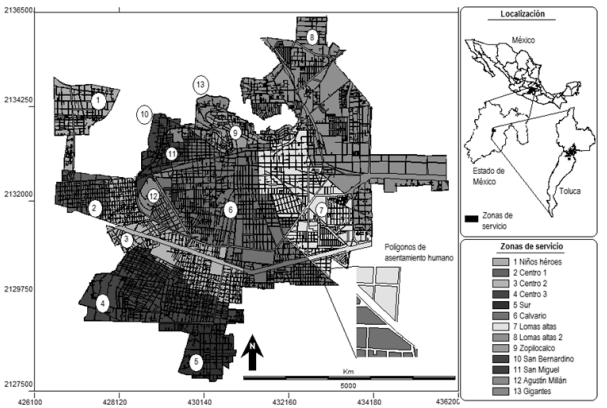


Figura 4-8. Zonas de servicio de agua potable en la zona urbana de la ciudad de Toluca

Fuente: información del reporte interno de Agua y Saneamiento de Toluca (2005)

Fuentes de información

En la realización de este trabajo se utilizaron datos geoespaciales sobre población y sobre la red de suministro de agua proporcionados respectivamente, por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010; IRIS-SCINCE, 2007) y el organismo operador del agua en Toluca, México (AyST, 2005). Así mismo, los datos estadísticos sobre marginación y desarrollo urbano fueron proporcionados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2005; 2009) y el Ayuntamiento de Toluca (2003).

Técnicas de análisis

La estimación de la demanda de agua para consumo doméstico y servicios públicos viene dada por la ecuación 1:

$Q_T = Q_m + Q_{SP} + Q_P$ (1) Siendo Q_T el gasto de la demanda total (lps), Q_m el gasto medio debido al consumo doméstico (lps), Q_{SP} el gasto medio debido a los servicios públicos (lps) y Q_P el gasto medio debido a las pérdidas físicas en el sistema (lps).

La magnitud del consumo doméstico depende, entre otras cosas, del tamaño de la población, de las necesidades individuales en la comunidad y de los hábitos de uso del agua. Por su parte, la magnitud de la demanda por uso público urbano depende del tipo de servicio (escuelas, hospitales, áreas de recreación etc.), de la superficie cubierta por servicio (en el caso de áreas de verdes y de recreación) y del número de usuarios del mismo (número de alumnos en escuelas o número de pacientes o camas en caso de hospitales por ejemplo). A continuación se presenta una propuesta para representar la demanda de agua por medio del consumo doméstico y público urbano.

Consumo doméstico

La estimación del consumo doméstico en un lugar determinado, para proyectos de diseño en México, se realiza por medio de la ecuación 2 (CONAGUA, 1994) y es una función de: a) el tamaño de la población y b) de la dotación requerida de los habitantes.

$Q_m = \frac{PD}{86400}$ (2) Siendo Q_m el gasto medio diario (lps), P el número de habitantes (hab) y D la dotación (L/hab.día).

Para utilizar el potencial ofrecido por un sistema de información geográfica (SIG) se requirió de una capa vectorial que represente al conjunto de manzanas geo-referenciadas donde se ubican residencias, o conjuntos habitacionales, que reciben el servicio de agua potable en la zona de servicio de estudio. Las manzanas que conforman esta capa vectorial se denominan de ahora en adelante como "***polígonos de asentamiento humano***". En cada polígono de asentamiento humano pueden encontrarse las propiedades ya mencionadas que definen el consumo doméstico: número de habitantes y dotación.

A) Población

El primer atributo, referente al número de habitantes, se puede estimar de forma general como el promedio del cociente de la población total de la localidad entre el número de polígonos. Sin embargo, formas precisas para su estimación son posibles con ayuda de bases de datos geo-espaciales e información de censos al nivel de detalle deseado. La información demográfica puede encontrarse en planes de desarrollo regionales o municipales, o en los censos nacionales a través de las llamadas áreas geo-estadísticas básicas (AGEB's) para el caso de México.

Las AGEB's son definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) como el área que constituye la unidad mínima de agregación a emplear en la cartografía censal, cuyas características sociales, económicas y geográficas deben ser homogéneas (IRIS-SCINCE, 2007). De esta forma se obtiene otra capa vectorial con los polígonos que se denominarán "***polígonos de densidad demográfica***" y que representan la cantidad de habitantes por metro cuadrado para cada polígono de asentamiento humano.

La creación de modelos geomáticos en un software para SIG, en este caso por medio de *Idrisi*, permite estimar el tamaño de la población para zonas relativamente pequeñas. El proceso seguido para la estimación de la población en este estudio consiste en una serie de 5 etapas con apoyo de Idrisi:

Construcción de polígonos de asentamientos humanos. Se refiere a la obtención e importación de: archivos vectoriales que representan la estructura urbana; manejados frecuentemente por los organismos operadores del agua por medio de software de diseño asistido por computadora (CAD) y, los polígonos de densidad demográfica obtenidos como el cociente del total de habitantes y el número total de manzanas por AGEB.

Homogeneizar. Una vez importados los archivos vectoriales, es necesario hacer una transformación para su manejo en el mismo tamaño y sistema de geo-referencia. Los módulos *Project*, *Raster Vector* y *Convert*, ayudan a proyectar la información en diferentes sistemas de referencia, convertir los archivos vectoriales a imágenes ráster y modificar el tipo de valores del orden de enteros a reales respectivamente.

Yuxtaposición de imágenes. El módulo *Overlay* determina las zonas de estudio que cuentan con información de densidad demográfica. Esto se logra con la multiplicación de la imagen de la zona de estudio (cuyo valor es igual a 1 donde se encuentra un polígono de asentamiento humano) y la imagen de densidades demográficas, devolviendo un valor de cero en ausencia de cualquiera de los dos tipos de polígonos mencionados.

Estimación de áreas. Con el módulo *Área*, se puede obtener un archivo de valores que proporciona la superficie de cada AGEB que coincide con los polígonos de asentamiento humano en una zona de servicio.

Estimación de población. Finalmente se realiza el producto entre el valor de las densidades y la superficie de cada polígono para obtener el número de habitantes por zona.

B) Dotación

En la mayoría de los países se usa el término "dotación" como la cantidad de litros de agua que se abastece a una persona por día. En México, la dotación es determinada como una función del clima y del nivel socioeconómico de los habitantes de una localidad (CONAGUA, 1994). Sin embargo para estudios de diseño, los organismos operadores suelen ocupar histogramas de consumo doméstico. Cabe señalar que inconvenientes de usar este último proceso son: el aumento de incertidumbre sobre la ubicación de dichos consumos y la ausencia de una cultura de ahorro de agua.

Generalmente las zonas de servicio no rebasan el tamaño de una localidad, por lo que difícilmente existirá una variación considerable en la temperatura media anual y clima de la zona. Por ello, es aceptable admitir que todos los polígonos de asentamiento humano conservan la misma característica referente al clima para la determinación de la dotación. En caso contrario, el objetivo del proceso para determinar diferentes temperaturas en una zona de estudio es asignar a cada polígono de asentamiento humano un atributo que represente un tipo de clima. Para ello es necesario que, a imágenes ráster obtenidas sobre temperatura, se aplique el módulo *Reclass* para definir los intervalos de temperatura. Cada intervalo tiene un valor entero que lo identifique. Enseguida, con el módulo *Overlay* se sobreponen las capas de los polígonos de asentamiento humano con el de temperatura, dando como resultado la clasificación de los polígonos en función del clima.

Por otro lado, el nivel socioeconómico es un punto complicado de determinar. En general, el índice de nivel socioeconómico se basa en variables que miden a escala familiar variables de tipo social y económico. En México se han definido 6 niveles (González, 2000) para clasificar un hogar en función de características propias del mismo (cómo está constituido, cómo son las personas que lo conforman, qué artículos o posesiones tienen) y el entorno en que se mueve (hogares con los que interactúa y escuelas, clubes o actividades culturales a las que asiste). Sin embargo, existe otra medida vinculada al desarrollo social de una localidad. Esta medida, representada por el índice de marginación urbana, mide su intensidad como un porcentaje de la población que no participa del disfrute de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas (CONAPO, 2005).

La clasificación de las AGEB's en función del índice de marginación urbana se llevó a cabo por medio de una estratificación de 29 562 AGEB's de México en cinco grupos (CONAPO, 2005). Cada grupo representa un grado de marginación urbana: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. En la tabla 4-6, se muestran los intervalos que clasifican los grados de marginación urbana y su relación con el nivel socioeconómico utilizada en el presente estudio. Así, con el uso del módulo *Reclass* en Idrisi, es posible la clasificación de los polígonos de asentamiento humano en función del índice de marginación urbana estimada para cada AGEB.

Tabla 4-6. Relación entre el grado e índice de marginación urbana y nivel socio-económico

Grado de marginación urbana	Índices de marginación urbana	Nivel socio-económico
Muy bajo	< -1.00936	Residencial
Bajo	-1. 00936 - -0.45735	Medio
Medio	-0.45735 - 0.09466	Medio
Alto	0.09466 - 0.92267	Popular
Muy alto	> 0.92267	Popular

Fuente: Basado en índices de marginación urbana CONAPO (2005)

Finalmente, el producto obtenido de la imagen ráster de los polígonos de asentamiento humano reclasificados respecto a la densidad demográfica y las imágenes de superficie y dotación, proporciona el valor de la demanda de agua por uso doméstico (Q_m) en una zona de servicio.

Consumos no domésticos

De forma similar a los polígonos de asentamiento humano, es posible desarrollar los "***polígonos de servicios públicos***". La diferencia consiste en crear una capa o *layer* por cada tipo de servicio público que se considere. En México, los servicios públicos se clasifican en función del tipo de instalación en: salud, educación y cultura, recreación, seguridad, comunicaciones y transporte y, espacios abiertos.

Los servicios públicos, con excepción de los clasificados en comunicaciones y transporte, tienen necesidades de riego las cuales dependen del área del polígono. Es evidente que no se puede contabilizar toda el área de los polígonos de servicio como área de riego (excepto jardines y parques), es por ello que se considera un porcentaje de dicha área con base en el sistema normativo de equipamiento correspondiente al país. La medición de los consumos no domésticos tienen diferentes unidades. Por ejemplo, los polígonos clasificados como educación elemental tienen valores de litros por alumnos por turno y los polígonos de hospitales tienen valores de litros por camas. Además, se debe considerar la información de los empleados o trabajadores que laboran en ese espacio. La implementación de modelos geomáticos requiere que tanto los consumos como el número de empleados sean funciones del área correspondiente al polígono de servicio público. La información que proporciona un parámetro sobre esta información es posible obtenerla de pequeñas muestras en escuelas y hospitales sobre el número promedio de alumnos por aula y el número promedio de alumnos o pacientes por empleado respectivamente. Con las características del equipamiento de servicios públicos y los datos antes mencionados se puede estimar el consumo de servicios públicos con la ecuación desarrollada por Fonseca (2010):

$$Q_{SP} = \frac{10000}{86400} A_{Psp} \left[C_{riego}(Sup_{ncons}) + \rho_{sp}(Sup_{sp})^{-1}(C_{sp} + C_{emp}(\rho_{emp})^{-1}\right] \quad (3)$$

Siendo Q_{SP} el gasto medio por servicio público (lps), A_{Psp} el área que abarca el polígono de servicio público (ha), C_{riego} el consumo por necesidades de riego (L/m².día), Sup_{ncons} el porcentaje de la superficie sin construir (a dimensional), ρ_{sp} la densidad de servicio (alumnos/aula o pacientes/cama), Sup_{sp} la superficie mínima por unidad de servicio básico (m²/aula o m²/cama), C_{sp}el consumo por tipo de servicio público (L/alumno.día o L/cama.día), C_{emp} el consumo por empleado (L/empleado.día) y ρ_{emp} la densidad de servicio por empleado (alumnos/empleado o cama/empleado).

En servicios de espacios abiertos el porcentaje de superficie no construida es Sup_{ncons} =1 (en decimales) y los valores de densidad de servicio y por empleado son iguales a cero (ρ_{sp}= ρ_{emp} =0). La densidad de servicio por unidad básica para hospitales (ρ_{sp}) puede ser considerada como 1 paciente/cama.

De igual manera, un modelo geomático fue desarrollado en *Idrisi* para estimar las áreas en el caso de tres tipos de servicios públicos: de salud, de educación y de recreación. Los productos fueron: un conjunto de imágenes ráster que representan diferentes zonas de servicio en la forma de polígonos de asentamiento humano y archivos de valores que muestran los resultados en forma de texto.

La demanda total, que a continuación se estima para la ciudad de Toluca, está compuesta por: 1) el consumo doméstico, 2) el consumo no doméstico referente al uso público urbano (hospitales, escuelas, parques y servicios contra incendios) y 3) a las pérdidas de agua atribuidas a las fugas en el sistema de distribución.

4.1 Consumos domésticos

La ecuación2fue utilizada para estimar el consumo doméstico en una zona habitada. Esta expresión considera la influencia del clima en las necesidades hídricas de la población y además se pueden tener variaciones temporales del consumo considerando el crecimiento demográfico. Los dos parámetros (población y dotación) que determinan el consumo doméstico son mostrados a continuación.

Población

Considerando el método propuesto en el presente estudio, es necesario establecer una relación entre el tamaño de un polígono de asentamiento humano y el número de personas que habitan en él. Para ello, es posible hacer uso de la información que proporciona el INEGI por medio de las AGEB's o bien, recurrir a los datos disponibles en los planes regionales y municipales de desarrollo referente a la densidad de la población. A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de las dos anteriores fuentes de información y su comparación con los datos oficiales por parte del organismo operador del agua.

A) Estimación de la población con base en el plan de desarrollo municipal (PDM)

En el PDM (Ayuntamiento de Toluca, 2003) se establece una clasificación dentro de la ciudad en función del uso asignado al suelo y la densidad demográfica asociada a él. En la denominación de zonas habitacionales (representados por la letra H), el número indica el valor de los metros cuadrados brutos que puede abarcar una vivienda. Las características demográficas de las zonas habitacionales se muestran en la Tabla 4-7. Estos datos sirven para la determinación del tamaño de la población por medio de polígonos de asentamientos humanos.

Tabla 4-7. Características demográficas de zonas habitacionales

Clasificación	Habitantes por superficie [hab/ ha]	Viviendas por superficie [viv/ ha]
H100	470	100
H200	235	50
H250	188	40
H300	157	33
H333	141	30
H417	113	24

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal. H. Ayuntamiento de Toluca, 2003.

La imagen ráster que representa los polígonos de densidades demográficas en el periodo de 2003 a 2006 (duración de vigencia del PDM) se muestra en la Figura 4-9. El valor cero es asignado a las zonas donde se presenta una zona no urbanizable, se ubica una industria o equipamiento urbano (servicios de salud, educación o recreación).

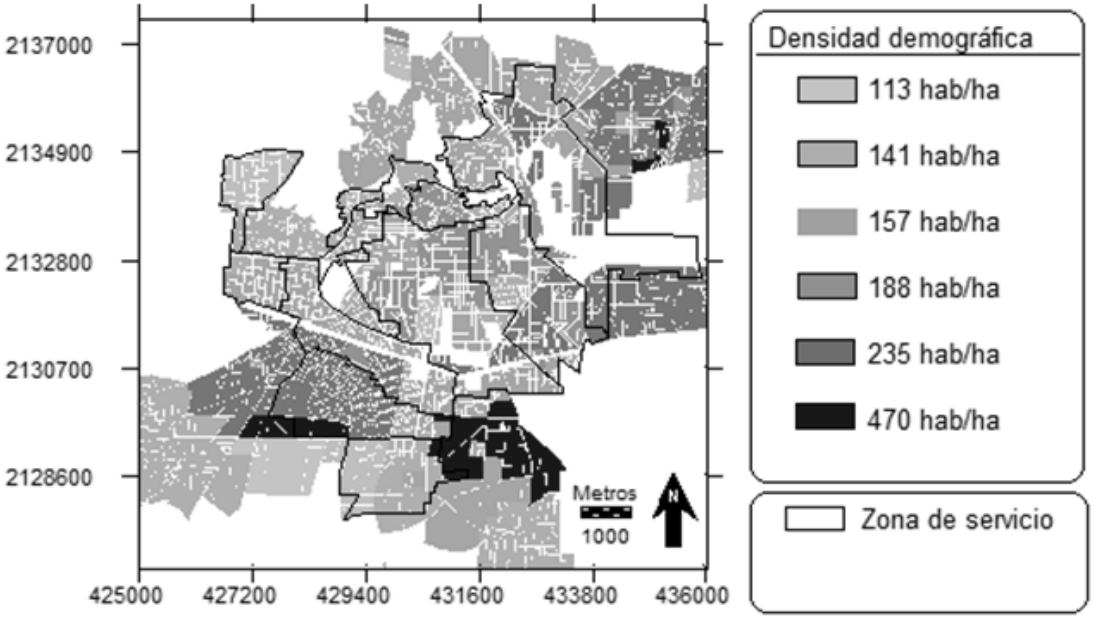


Figura 4-9. Polígonos de densidad demográfica

Fuente: Basado en datos del plan de desarrollo municipal. H. Ayuntamiento de Toluca (2003)

B) Estimación de la población con base en AGEB's

En el año 2005, en todo el municipio de Toluca se consideraron 156 AGEB's clasificadas como urbanas (IRIS-SCINCE, 2007). La densidad demográfica promedio para todas las AGEB's es de 106 hab/ha con una desviación estándar de 93 hab/ha (figura 4-9). Las 13 zonas de servicio en estudio abarcan un total de 90 AGEB's. La estimación de la población con base en las AGEB's se realizó de manera análoga a la información con base en el PDM. De esta forma, se llevó a cabo la superposición de la imagen de densidades demográficas (figura 4-10) con los polígonos de asentamiento humano y se estimó la superficie de las AGEB's que corresponden a cada zona de servicio. La suma de los productos de la superficie de cada AGEB por su densidad demográfica da como resultado la población total para cada zona de servicio.

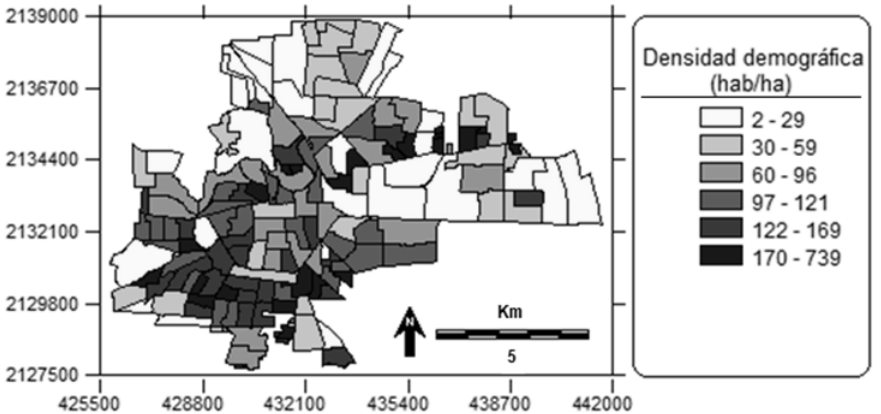


Figura 4-10. Densidad demográfica por AGEB en la ciudad de Toluca

Por otro lado, se compararon los resultados obtenidos por medio del SIG (con PDM y AGEB's) y los datos que proporciona el organismo operador. En la tabla 4-8 se muestran las variaciones porcentuales en las superficies estimadas y la diferencia con el número total de habitantes por zona de servicio. El nivel de precisión que se logra con un SIG se aprecia en las variaciones conseguidas en las densidades promedio por zona de servicio, mientras que en reportes del organismo operador se consideran valores constantes para toda la localidad.

Tabla 4-8. Estimación de número de habitantes con SIG y el reportado por el organismo operador.

	Reporte de organismo operador			SIG:		Plan de Desarrollo Municipal			Áreas Geo-Estadísticas Básicas		
Zona de servicio	A	D	P	A	Δ_{SUP} (%)	D	P	Δ_{POB} (%)	D	P	Δ_{POB} (%)
Centro 2	327.24	141	46139	235.77	27.9	171	40283	12.7	145	34286	25.7
Centro 3	267.45	141	37709	282.06	-5.5	255	71980	-90.9	115	32432	14.0
Sur	222.24	141	31335	221.95	0.1	153	33861	-8.1	51	11336	63.8
Calvario	707.97	141	99820	507.71	28.3	147	74565	25.3	109	55087	44.8
Lomas Altas	430.29	141	60668	321.37	25.3	186	59681	1.6	102	32708	46.1
Lomas Altas 2	600.91	141	84725	655.20	-9.0	129	84527	0.2	75	49020	42.1
Zopilocalco	107.41	141	15144	79.77	25.7	176	14070	7.1	139	11077	26.9
San Bernardino	45.59	141	6428	31.15	31.7	141	4392	31.7	84	2604	59.5
San Miguel	58.72	141	8279	46.15	21.4	133	6127	26.0	110	5079	38.7
Agustín Millán	89.77	141	12657	68.84	23.3	93	6428	49.2	83	5744	54.6
Gigantes	66.74	141	9410	57.57	13.7	139	7982	15.2	99	5729	39.1
Total	3176.06		497197	2701.01			429265			260782	
Promedio	244.31	141	34447	207.77	17.65	153	33020	9.78	99	20060	43.6
Desviación estándar	216.18	0.00	30480	193.76	14.86	39.44	29895	34.06	28.59	18211	15.1

Leyenda: A: Área [Ha], D: Densidad [hab/Ha], P: Población [hab], Δ_{SUP}: Variación respecto a la superficie, Δ_{POB}: Variación respecto a la población.

Fuente: Agua y Saneamiento de Toluca, reporte interno (2005)

Dotación

La estimación de la dotación (D) de la ecuación 2 se realiza con base al nivel socioeconómico de los habitantes por abastecer y del clima de la región donde se ubica la localidad. De acuerdo con los parámetros establecidos por la Comisión Nacional del Agua, se clasificó el clima en función únicamente de la temperatura media anual (CONAGUA, 1994). Para las zonas de servicio en estudio, se utilizó el módulo de Idrisi denominado *Extract* con información de la base de datos climatológicos a nivel mundial *WorldClim* (2006), la cual está compuesta por datos registrados desde 1950 hasta el año 2000. La temperatura media anual obtenida fue de 13.38°C en un intervalo entre 12.4°C en las partes suroeste y noroeste de la localidad y 13.96°C en el este de la ciudad. La temperatura media anual oficial es de 13.7°C (Ayuntamiento de Toluca, 2003), en cualquier caso el rango de temperaturas se encuentra por debajo de los 18°C considerándose un clima templado en todas las zonas de servicio. Por otro lado, para determinar el nivel socioeconómico de un polígono de asentamiento humano se consideró: a) el criterio usado por el PDM (Ayuntamiento, 2003) y b) el grado de marginación urbana (CONAPO, 2009).

A) Dotación estimada con base en el PDM

El criterio encontrado en el PDM para clasificar un área por su nivel socioeconómico indicó lo siguiente: a) Uso habitacional de alta densidad (>51 viv/ha): esta densidad se asocia principalmente con conjuntos urbanos de interés social y vivienda de tipo plurifamiliar, y b) Uso habitacional de baja densidad (hasta 10 viv/ha): corresponde a vivienda asociada con actividades agrícolas, a excepción de la zona ubicada en la delegación de Cacalomacán, que corresponde a vivienda tipo residencial.

Bajo ese criterio se establecieron los parámetros para clasificar los polígonos de densidad demográfica, por medio del módulo *Reclass* de *Idrisi*, como se muestra en la Tabla 4-9.El hecho de tener temperaturas debajo de los 18°C permitió considerar en las zonas de servicio un sólo clima en términos de dotación de agua potable. De este modo, la dotación dependió únicamente del nivel socioeconómico. El caudal total por consumo doméstico para la zona urbana de la ciudad de Toluca en el 2005, con base en el PDM, fue de 941.58 lps que representan 29.69 hm^3/año.

Tabla 4-9. Clasificación de usos habitacionales en niveles socioeconómicos por medio de densidad demográfica

Nivel socioeconómico	Viviendas por superficie [viv/ ha]	Uso habitacional
Residencial	< 11	H1000
Medio	11- 50	H200, H250, H300, H333, H417, H500, H667
Popular	> 51	H100

Fuente: Basado en los registros de densidad demográfica. H. ayuntamiento de Toluca, 2003.

B) Dotación estimada con base en AGEB's

En el municipio de Toluca, de acuerdo con la clasificación de las AGEB's en cinco niveles de marginación urbanas, el 41% de las 156 AGEB's consideradas como urbanas presentan una marginación baja, 24% son consideradas con un nivel muy bajo de marginación, misma cantidad que las consideradas con nivel medio, mientras que el 5% y 6% son consideradas con un nivel muy alto y alto respectivamente (CONAPO, 2009).

El consumo doméstico en las zonas de servicio se estimó a través de la ecuación1, de igual manera que con la información del PDM. Sin embargo, la clasificación de los polígonos de asentamiento humano en función del nivel socioeconómico se realizó con base en el grado de marginación urbana de las AGEB's que se muestran en la figura 4-11. De esta manera, los resultados obtenidos son los mostrados en la tabla 4-10 donde se comparan los gastos domésticos demandados por zona de servicio estimados por medio de un SIG con base en estas dos fuentes de información.

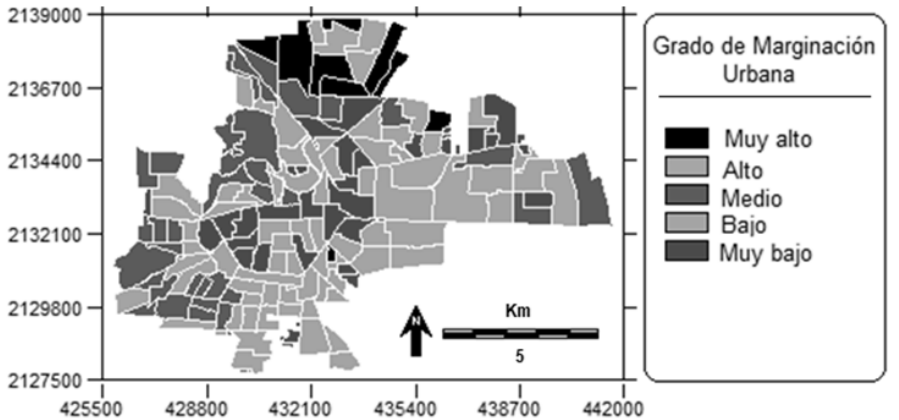


Figura 4-11. Grado de Marginación Urbana de las AGEB's urbanas del municipio de Toluca para el año 2005

Fuente: Basado en grados de marginación urbana de CONAPO (2009)

4.2. Consumos en servicios públicos

En función del tamaño e influencia de una ciudad sobre otras, la complejidad del equipamiento urbano aumenta así como las características y requisitos con los que debe contar. Un estudio de demanda de agua para servicios públicos llevaría considerable tiempo y recursos humanos para estimar los requerimientos por cada uno de los servicios encontrados en una ciudad del tamaño de Toluca. Por ello, se hace necesario realizar algunas consideraciones que reflejen un consumo de agua con la información que se encuentre disponible.

En el caso de México, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) ha desarrollado el sistema normativo de equipamiento donde se especifican las características básicas de la infraestructura en educación, cultura, salud, asistencia social, comercio, abasto, comunicaciones, transporte, recreación, deporte, administración pública y servicios urbanos. Las características, descritas por "unidades básicas de servicio (UBS)", que ayudan a relacionar el área de los polígonos de servicios públicos con la capacidad y las normas de consumo de agua por uso público son: superficie mínima de terreno, porcentaje de construcción y capacidad de servicio (SEDESOL, 2006).

La estimación del consumo de agua para uso público urbano se realizó por medio de la ecuación 3. Para ello, es necesaria la obtención de las áreas de los polígonos de servicio público (A_{Psp}) por medio de un SIG. La superficie de riego (Sup_{ncons}) para servicios de educación se consideró de 34% del total del polígono de servicios públicos, así mismo para servicios de salud se consideró de 50% según las características de equipamiento urbano. La superficie mínima de terreno promedio para servicios de educación es de 1088 m^2/UBS mientras que para los servicios de salud es de 230 m^2/UBS. (SEDESOL, 2006).Los consumos de agua, de acuerdo con la normatividad mexicana (CONAGUA, 2007), fueron: 22.5 L/alumno.turno en promedio para los servicios de educación, las necesidades de riego ascienden a 5 L/m^2.día y las necesidades generadas por los empleados a 100 L/trabajador.día. Para los servicios de salud se consideró 800 L/cama.día.

El consumo total estimado es de 496.58 lps que representan 15.66 hm^3/año. El servicio de salud requiere del 83.29% del total del consumo, así mismo, la zona de servicio con el mayor porcentaje de requerimientos (37.68%) es la que concentra un mayor tamaño en el servicio de salud, esta zona es la denominada Centro 2 (Figura 4-12). Además, se registra que sólo dos zonas de servicio deben abastecer a los tres tipos de servicio: Calvario y Lomas Altas.

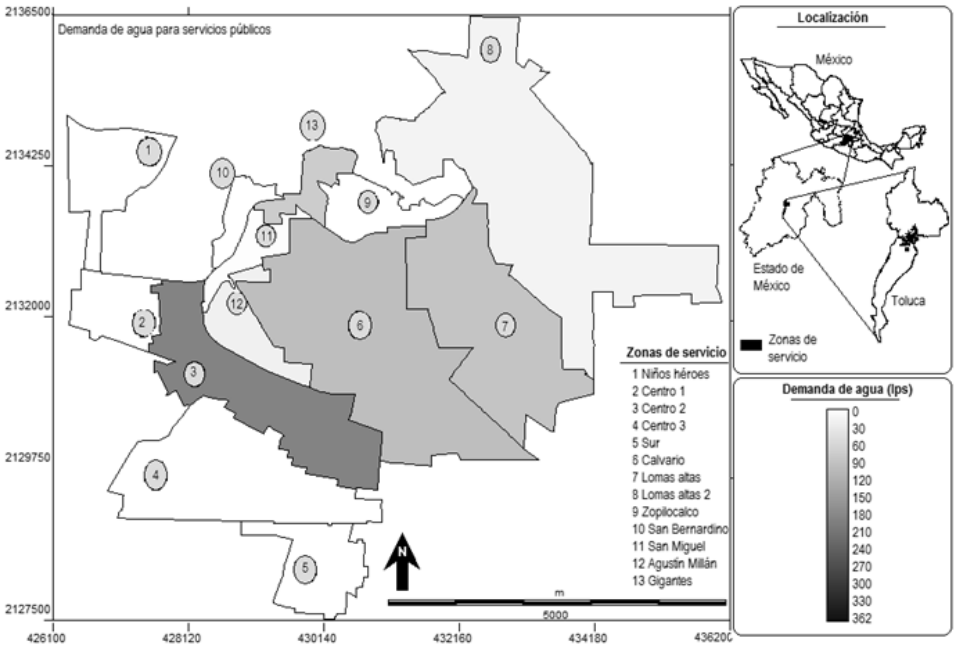


Figura 4-12. Demanda de agua por servicios públicos por zonas urbanas en Toluca para el año 2005

Tabla 4-10. Demanda de agua potable para uso domésticos por zona de servicio en el año 2005

Zona de servicio	Dom [lps]		Variación (PDM-AGEB)/PDM
	PDM	AGEB	
1	30.17	15.82	47.56%
2	27.08	20.83	23.08%
3	90.92	77.38	14.89%
4	142.64	72.01	49.52%
5	68.99	25.33	63.29%
6	168.29	137.70	18.17%
7	134.7	80.28	40.40%
8	190.77	125.71	34.10%
9	31.76	25.00	21.28%
10	9.91	5.88	40.70%
11	13.83	11.56	16.40%
12	14.51	14.79	-1.91%
13	18.01	12.93	28.20%
Total	**941.58**	**625.22**	**33.60%**
Promedio	**72.43**	**48.09**	**30.44%**
Desviación estándar	**65.52**	**45.48**	**17.64%**

Leyenda: Dom: Consumo doméstico, PDM: Plan de Desarrollo Municipal como fuente de información,

AGEB: Área Geo-Estadística Básica como fuente de información.

4.3. Pérdidas de agua en el sistema de suministro

Los tres componentes de la demanda total en el presente estudio son: el consumo doméstico, el consumo por servicios públicos y las pérdidas físicas en el sistema de distribución; de los cuales este último representa una mayor variabilidad espacial y temporal.

En proyectos de diseño se considera un porcentaje del consumo total para la estimación de las pérdidas físicas de agua. El porcentaje de las fugas es variante al país y a los programas de monitoreo y control. En España el porcentaje de pérdidas en el consumo doméstico se encuentra en el orden de 20 a 30%. Mientras que en ciudades de Estados Unidos y Canadá dicho valor ronda el 15% (Balairón, 2002). En la República Mexicana se sugiere, en caso de no contar con evaluaciones de fugas, considerar un valor entre 40 y 60% proveniente de un estudio de campo que involucró a 21 ciudades (CONAGUA, 2007). En el caso de la ciudad de Toluca, el balance entre volúmenes producidos y facturados resulta en un porcentaje de pérdidas del 26.72% (AyST, 2005). Debido a la diferencia existente entre los volúmenes de agua estimados en el presente estudio y por el organismo operador, se consideró un porcentaje del 30%.

Finalmente, considerando los consumos domésticos y de servicios públicos se aplica la ecuación 1 dando como resultado la tabla 4-11 donde se muestran las demandas totales por zona de servicio, por tipo de uso y la total. Para fines de este estudio, se ha considerado para el consumo doméstico las estimaciones elaboradas con SIG con base en la información de AGEB's. La demanda total estimada para el año de estudio (2005) fue de 1544.54 lps, difiriendo 5.58% de la demanda reportada por el organismo operador. El porcentaje de pérdidas, así como el volumen estimado que se destina al servicio de salud provocan la mayor diferencia en zonas como la 3 y 13. La figura 4-12 muestra una síntesis de los resultados obtenidos de la estimación de demanda de agua en zonas urbanas para el 2005 con: a) las áreas geo- estadísticas básicas (AGEB), b) los reportes realizados por el organismo operador del agua y c) el plan de desarrollo municipal (PDM).

Tabla 4-11. Demanda de agua potable en zonas de servicio de la ciudad de Toluca (2005)

ZS	Demanda estimada [lps]			DT [lps]	DR [lps]	Δ_{dmd}
	Dom	SP	Prd			
1	15.82	0.77	4.98	21.56	61.52	-65.0%
2	20.83	0.00	6.25	27.08	60.86	-55.5%
3	77.38	187.10	79.34	343.82	159.09	116.1%
4	72.01	0.00	21.60	93.61	130.03	-28.0%
5	25.33	0.00	7.60	32.92	108.5	-69.7%
6	137.70	97.67	70.61	305.98	344.19	-11.1%
7	80.28	89.85	51.04	221.16	209.19	5.7%
8	125.71	17.71	43.03	186.46	292.14	-36.2%
9	25.00	0.72	7.72	33.44	52.22	-36.0%
10	5.88	0.00	1.76	7.64	22.16	-65.5%
11	11.56	3.74	4.59	19.89	28.55	-30.3%
12	14.79	21.48	10.88	47.14	43.64	8.0%
13	12.93	77.56	27.15	117.63	32.45	262.5%
Total	625.22	496.58	336.54	1458.35	1544.54	-5.6%

Leyenda: ZS: Zona de servicio, Dom: Consumo doméstico, SP: Servicios públicos, Prd: Pérdidas, DT: Demanda total, DR: Demanda reportada, Δ_{dmd}: Variación en demanda

Fuente: Basado en datos de las Áreas Geo- Estadísticas Básicas. IRIS-SCINCE (2007)

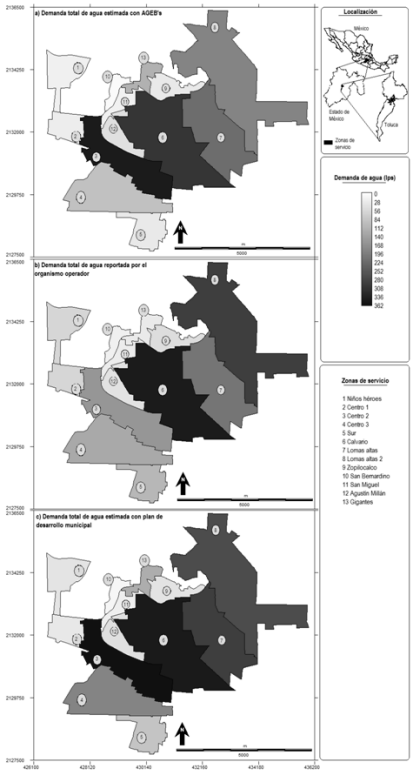


Figura 4-13. Demanda total de agua

Nota: a) estimada con AGEB's, b) reportada por el organismo operador y c) estimada con PDM

Fuente: Basado en información del reporte interno de Agua y Saneamiento de Toluca (2005)

5. Discusión de resultados

La diferencia principal entre las estimaciones de población del organismo operador y las estimaciones con base en el PDM radica en la distribución de la población dentro de las zonas de servicio, debido a que la variación promedio en el número de habitantes es cercano al 10% pero con una desviación estándar tres veces mayor. Por otro lado, la diferencia principal en las estimaciones del organismo operador y las estimaciones con base en las AGEB's es provocada por las densidades demográficas consideradas en cada caso. Los resultados parecen indicar que el organismo operador, y el PDM, basan sus estimaciones de densidad demográfica en la clasificación por nivel socioeconómico, mientras que las AGEB's tienen resultados más precisos por los estudios de campo realizados (censos y conteos). Además, la variación existente entre la superficie de las zonas de servicio es causado, entre otras cosas, por la discriminación del área que abarcan las calles y avenidas utilizando SIG. En lo referente a la demanda de agua, cabe resaltar que, según los reportes del organismo operador, se han tenido consumos domésticos por encima de lo que marcan las normas con una tendencia a disminuir estos gastos. Por ejemplo, de 1998 al 2001 se tuvo un consumo doméstico promedio de 221 L/hab.día considerando que la mayoría de las zonas de servicio son de nivel socioeconómico medio de acuerdo con el plan de desarrollo municipal (26 L/hab.día más que lo marcado por reglamento), con una disminución paulatina de 365.41 L/hab.día en enero de 1998 hasta 196.61 L/hab.día en octubre del 2001 (AyST, 2005).Mientras que, por medio de las estimaciones realizadas con ayuda de un SIG y la información de las AGEB's, además del conocimiento sobre la distribución espacial del agua, un promedio del consumo doméstico *per cápita* resultó de 203.12 L/hab.día considerando niveles socioeconómicos medios y residenciales de acuerdo con el grado de marginación urbana. Lo anterior es indicio de una sobreestimación de la demanda de agua potable en la ciudad.

6. Conclusiones

La delimitación espacial de zonas de abastecimiento o servicio, es uno de los procesos más importantes en todo el estudio, porque se ha reflejado de manera cuantitativa las costumbres en el uso de agua por medio de la dotación a los usos públicos y domésticos;y, por la relevancia que tiene, no sólo la estimación de la demanda total, sino el modo en que se va a distribuir en toda la zona de estudio. La metodología propuesta proporciona una forma más realista de estimar la demanda con información representada de manera espacial por medio de un SIG. En el caso de estudio se encontraron obstáculos como la falta de orden en la distribución de agua a la red principal y la falta de información fundamentada en la estimación de la demanda. Estos problemas provocan, por un lado, una distribución tal que genera mayores presiones y fugas en zonas con menor volumen de agua demandado que el suministrado y por otro lado, una mayor explotación de los recursos hídricos debido a la sobreestimación de la demanda. Prueba de la importancia en la estimación de la demanda, ha sido, a pesar del constante crecimiento demográfico, la disminución de los gastos extraídos del acuífero y del gasto importado del Sistema Cutzamala, 27.82% y 10.9% respectivamente entre el año 2005 y el año 2009. La estimación de la demanda por medio de densidades demográficas es más adecuada por que al considerar como fuente de información sobre población a las AGEB's, resultado de estudios censales elaborados por el INEGI, proporciona detalles para conjuntos de manzanas homogéneas. Además, el uso de un SIG desarrollado en *Idrisi* para la estimación de áreas habitables netas, permitió mayor confiabilidad en los valores de densidades demográficas para cada denominado "polígono de asentamiento humano". Finalmente, la localización y estimación de la demanda para los servicios públicos por medio de la ecuación propuesta en este trabajo facilita un control sobre la correcta distribución del agua suministrada a cada zona de servicio.

Agradecimientos

El desarrollo del presente trabajo se llevó a cabo bajo el apoyo del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT, México) y la Universidad Autónoma del Estado de México por medio de los proyectos 23478 y 2753/2009C respectivamente.

Referencias bibliográficas

Agua y Saneamiento de Toluca AyST (2005). Plan maestro de infraestructura hidráulica del sistema de agua potable de la ciudad de Toluca, Estado de México. Reporte interno. H. Ayuntamiento de Toluca. México.

Andersen J., Refsgaard J.C., Jensen K.H. (2001). "Distributed hydrological modeling of the Senegal River Basin model construction and validation". Journal of Hydrology 247: 200-214

Ayuntamiento de Toluca (2003). Plan de desarrollo Municipal. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Gobierno del Estado de México. México

Balairón, L. (2002). Gestión de recursos hídricos. Segunda edición. Ediciones UPC. Barcelona, España.

Bocco G., Mendoza M., Masera O.R. (2001). "La dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación". Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 44: 18-38.

CONAGUA (1994). Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario. SEMARNAT. México.

CONAGUA (2007). Metodologías de evaluación socioeconómica para proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y protección a centros de población. SEMARNAT. México.

CONAPO (2005). Índice de Marginación Urbana 2005. Secretaría de Gobernación. México.

CONAPO (2009). Proyecciones de la población de México 2005-2050. Por localidad [consulta: 21-09-2009]. Disponible en http://www.conapo.gob.mx

Diario Oficial de la Federación DOF (2009). ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Eastman J.R. (2006). IDRISI Andes Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark Labs. Clark University. EUA.

Fonseca C.R. (2010). Propuesta metodológica para la gestión del agua en contexto urbano con enfoque termodinámico. Tesis de Maestría. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México.

González, M. (2000). "Niveles socioeconómicos AMAI". Segmento no. 7 Año 2 [consulta: 21-09-2009]. Disponible en http://www.segmento.itam.mx

Henríquez C., Azócar G., Aguayo M. (2006). "Cambio de uso de suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile". Revista de Geografía Norte Grande 36: 61-74.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA (2010). Censo acuífero Valle de Toluca. Reporte interno. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2010). Resultados preliminares. Censo de población y vivienda 2010. [Consulta: 24-01-2010] Disponible en http://www.inegi.org.mx/

IRIS-SCINCE (2007). II Conteo de Población y Vivienda 2005. INEGI. México.

Quentin, E., M. A. Gómez Albores, C. Diaz-Delgado, S. Garrido Hoyos y C. Fall (2003). "Geomática aplicada a la relación entre calidad del agua y salud humana en las localidades del Estado de México". Capítulo 11 del libro electrónico Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua - Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (RIPDA-CYTED) y CIRA, UAEM, Toluca, México. ISBN: en trámite, disponible en disco compacto (1 CD) o en línea a http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/index.html.

SEDESOL (2006). Sistema normativo de equipamiento urbano. SEDESOL. México

Tzatchkov V., Alcocer V.H. and Bourguett V. (2008). "Sectorización de redes de distribución de agua potable a través de algoritmos basados en la teoría de grafos". Tláloc. Asociación Mexicana de Hidráulica: 40, 14-22.

Ubalde J.M., Rius J., Poch R.M. (1999). "Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de cuenca de la ribera salada mediante fotografía aérea y SIG (El Salsonés, Lleida, España)". Pirineos 153-154: 101-122.

WorldClim (2006). Mean temperature layer. Zone 22 [consulta: 09-10-2009]. Disponible en http://www.worldclim.org

LA SEGREGACIÓN SOCIO-RESIDENCIAL EN CIUDADES INTERMEDIAS: EL CASO DE BAHÍA BLANCA - ARGENTINA

Prieto, María Belén[1], Formiga, Nidia[2], Medus, Silvina

RESUMEN

La construcción del espacio se convierte en un proceso acumulativo y dependerá del dinamismo de los procesos sociales, característicos de cada momento histórico. Un rasgo que se pone de manifiesto en la estructuración de las áreas urbanas, como resultado de las transformaciones socioterritoriales, es que se acentúa la fragmentación y segregación socio-residencial. En el análisis de estos procesos, se selecciona como caso de estudio Bahía Blanca, centro urbano intermedio que constituye un centro regional de importancia en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. El objetivo es, desde una perspectiva espacial, una aproximación a la segregación residencial y reflexionar sobre los alcances del concepto y aspectos metodológicos. El propósito es establecer las diferencias socio-territoriales que se expresan en la calidad de vida de la población que reside en la ciudad de Bahía Blanca, que ponen en evidencia importantes desigualdades en los aspectos socio-residenciales. Se trabaja con micro-datos censales de 1991 y 2001, procesados con REDATAM+SP. Además, se incorpora información aportada por el Municipio. En el análisis de los datos se aplicará un SIG, con el objeto de identificar el nivel de desigualdad social y su materialización en el territorio bahiense. En las últimas décadas, en el marco de procesos tanto nacionales como globales, el espacio local se muestra fragmentado y segregado, evidenciando las desigualdades de las condiciones de vida de los habitantes.

Palabras clave: Desigualdades socio-espaciales – segregación – fragmentación urbana.

SOCIAL AND RESIDENTIAL SEGREGATION AT INTERMEDIATE CITIES: THE BAHIA BLANCA CASE

ABSTRACT

The construction of space becomes a cumulative process dependent on the dynamism of social processes characteristic of each historical period. The result of socio-spatial transformations, in the structuring of urban areas, is to deepen the fragmentation and socio-residential segregation. In the analysis of these processes, Bahía Blanca is selected as a case study because it is a medium city, and an important regional center in southwest of the Buenos Aires Province. The aim is an approach to residential segregation from a spatial perspective and to reflect on the concept and methodological aspects. The purpose is to establish the socio-territorial differences expressed in the quality of life of people living in the city of Bahía Blanca, which shows significant disparities in the socio-residential conditions. We will work with microdata from census of 1991 and 2001, processed by REDATAM SP. We will also include information provided by the Municipality. For data analysis we apply a GIS in order to identify the level of social inequality and the results will be displayed on the urban territory, which, in recent decades, under both national and global processes, has made the appearance of local space to be fragmented and segregated, showing the inequality of living conditions of the inhabitants.

Key words: *Socio-spatial inequalities - Segregation - Urban fragmentation.*

Departamento de Geografía y Turismo - Universidad Nacional del Sur - Argentina 1mbprieto@uns.edu.ar, 2nformiga@.uns.edu.ar

1. Introducción

El avance de la globalización y la consolidación de un nuevo modelo de desarrollo en el decenio de 1990, generaron modificaciones estructurales que han afectado el funcionamiento de los mercados, el Estado y la sociedad. La nueva dinámica que asume el actual modelo de acumulación capitalista ha generado un proceso de fragmentación socio-territorial de considerable complejidad. Los efectos sociales tienen su manifestación más inmediata en los sectores afectados por la pobreza. En su dimensión espacial, la diferenciación en territorios luminosos y opacos, ricos y pobres, ganadores y perdedores (Santos, 1996) tiene como resultado una totalidad fragmentada, que se expresa en los distintos niveles de análisis.

La construcción del espacio, en las áreas urbanas, se convierte en un proceso acumulativo y dependerá del dinamismo de los procesos sociales, característicos de cada momento histórico. Un rasgo que se pone de manifiesto en la estructuración de las áreas urbanas, como resultado de las transformaciones socioterritoriales, es que se acentúa la fragmentación y segregación socio-residencial. En particular, se considera de interés el caso de las ciudades intermedias dado que no presenta la complejidad de las grandes áreas metropolitanas, lo que permite distinguir patrones y características de la segregación socio-residencial con mayor nitidez y establecer la relación con los procesos de estructuración urbana.

En las últimas décadas, producto de la incidencia de procesos tanto locales como nacionales y globales, el territorio se muestra fragmentado, evidenciando las desigualdades de las condiciones de vida de los habitantes. La materialización de estas desigualdades alcanza su mayor expresión en la amplia periferia, con el contraste entre el hábitat popular, donde se destacan los asentamientos carenciados, y las áreas residenciales de prestigio y nuevas formas de urbanización –barrios parque, privados, países-, que han alcanzado mayor protagonismo, en los últimos años, en determinados sectores de la ciudad. En el análisis de estos procesos, se selecciona como caso de estudio Bahía Blanca –centro urbano intermedio localizado en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina- que constituye un centro regional de importancia. En este sentido se destaca como nodo de comunicaciones y transporte a escala nacional, con una destacada infraestructura ferroviaria, vial, portuaria y aérea, como así también en lo que corresponde a la prestación de servicios especializados para una amplia región (educación, salud, comercio, finanzas, etc.).

El objetivo del presente trabajo[2] es, desde una perspectiva espacial, una aproximación a la segregación socio-residencial, reflexionando sobre los alcances del concepto y su operacionalización, considerando la aplicación de índices y la incorporación de la dimensión espacial. Se propone analizar las diferencias socio-territoriales que se expresan en la calidad de vida de la población que residen en la ciudad de Bahía Blanca, que se evidencian importantes desigualdades en los aspectos socio-residenciales

[2] Una primera versión se presentó en el XI Seminario Internacional Red Iberoamericana de Investigadores en Globalización y Territorio (RII) Mendoza, 26 al 29 octubre de 2010.

En el estudio de esta problemática se ha avanzado con el proyecto de investigación en el estudio de condiciones de vida, pobreza urbana, caracterización socioeconómica de los hogares e individuos. En este trabajo se pretende avanzar en la selección de variables censales más adecuadas para captar la segregación e incorporar cuestiones relacionadas con intervenciones-acciones en el territorio que hayan podido intensificar y/o agravar la situación de segregación de los grupos sociales. Se trabajará con micro-datos censales de 1991 y 2001, procesados con REDATAM+SP (CEPAL-CELADE). Además, se incorpora información aportada por el Municipio. Los datos serán analizarán con un SIG, con el objeto de identificar el nivel de desigualdad social y su materialización en el territorio bahiense.

Segregación residencial y fragmentación socio-territorial

El espacio, concebido como un producto social, puede ser definido por aquel conjunto de relaciones que lo caracterizan, resultado de las funciones que en él se desarrollan, y por las materialidades en las que se estructuran los procesos sociales. Es decir, el "espacio se define como un conjunto de formas representativas de las relaciones sociales del pasado y del presente y por una estructura representada por las relaciones sociales que ocurren ante nuestros ojos y que se manifiestan por medio de procesos y funciones. El espacio es, entonces, un verdadero campo de fuerzas cuya aceleración es desigual. Esto es la razón de que la evolución espacial no se realice de forma idéntica en todos los lugares" (Santos, 1990:138). Desde esta perspectiva, se propone analizar la segregación socio-residencial y fragmentación socio-territorial.

En la estructura urbana se manifiestan formas de exclusión que tienden a la segmentación y a la segregación, lo que implica una reducción de la interacción entre grupos o estratos socioeconómicos y en consecuencia, una disminución de las oportunidades de los sectores de menores recursos para incorporar y movilizar activos que les permitan de esta manera, superar las condiciones de pobreza y elevar su bienestar y calidad de vida (CEPAL, 2003).

La urbanización capitalista ha ido conformando un espacio diferenciado en cuanto a infraestructura, equipamiento y calidad residencial. De este modo, los grupos más pobres se localizan en las áreas periféricas, caracterizadas por el menor valor de la tierra y con déficit en los medios de consumo colectivo. El mercado inmobiliario va conformando diferentes áreas y quienes carecen de los recursos necesarios, producen ciudad al margen de los circuitos formales. Como indica Santos "...los procesos de producción y apropiación del espacio dan lugar a la exclusión y a la segregación. La exclusión está dada por no poder participar formalmente en la construcción de la ciudad. La segregación en sentido espacial, a la localización de los pobres en las áreas más inadecuadas respecto a condiciones de habitabilidad..." (Santos, 1987:43).

En la estructura urbana actual se materializan las decisiones y acciones que se vienen generando a través del tiempo histórico y presente de los grupos sociales. Actualmente, el crecimiento urbano y la desigualdad social en nuestras ciudades se vinculan, directamente, con la producción del suelo urbano y con el mercado inmobiliario. La segregación espacial derivada de dicho proceso, plantea la necesidad de analizar los efectos sobre la calidad de vida de los hogares y de la población. En este contexto, son las ciudades el espacio en donde los efectos de fragmentación y segregación son más visibles.

Souza por su parte expresa que "...el espacio fragmentado es por excelencia el espacio de la ciudad, el espacio de la heterogeneidad, de los valores diferenciales de la segmentación..." (1996:59), los cuáles quedan materializados en la distribución de áreas residenciales que presentan fuertes contrastes en términos de calidad de vida. Como señala Oszlak (1991:24), "...el derecho al espacio conlleva diversas externalidades estrechamente ligadas a la localización de la vivienda, tales como la educación, la atención de la salud, las fuentes de trabajo, la recreación, el transporte o los servicios públicos...". También Trivelli indica que la segregación residencial no sólo se vincula al prestigio que subjetivamente los individuos le confieren al espacio, sino además, con una serie de aspectos que objetivamente diferencian la calidad física y funcional de las distintas áreas. "…Estas diferencias guardan relación con los servicios y funciones que presta el sector privado, los que obviamente se localizan en función de la potencialidad de los mercados, estableciendo un nivel de servicios diferencial según la distribución espacial del ingreso…" (Trivelli, 1981:57). De tal manera, en la medida en que estos bienes y servicios tengan una distribución geográfica desigual, heterogénea, variarán las posibilidades de acceso a los mismos, según el lugar de residencia.

Segregación Residencial Socioeconómica (SRS)

En términos generales, el concepto de segregación refiere a "la existencia de diferencias o desigualdades dentro de un colectivo y a la separación de los sujetos en categorías que tienen cierto grado de distinción jerárquica o valorativa" (Rodríguez Vignoli, J. 2001:13).

Desde un plano sociológico el concepto de segregación alude a la ausencia de interacción entre grupos sociales. En un sentido geográfico, significa desigualdad en la distribución de los grupos sociales en el espacio físico. La presencia de un tipo de segregación no asegura la existencia de otro (Rodríguez Vignoli, J. 2001:11).

La segregación residencial se manifiesta en la proximidad y/o aglomeración espacial de familias pertenecientes a un mismo grupo social, sea que éste se defina en términos étnicos, etáreos, de preferencias religiosas o socioeconómicos (Sabatini, F.; Cáceres, F. y Cerda, J. 2001:27; Rodríguez J. y Arraigada, C. 2004:6).

Los estudios de segregación residencial socioeconómica constituyen actualmente un tema de debate en el marco de las ciencias sociales, ya que se encuentra afectado por varios factores que en determinados casos se refuerzan y en otros se oponen. En palabras de Jorge Rodríguez se indican "…(i) la persistente desigualdad en materia de ingresos ya que suele tener expresiones territoriales; (ii) la historia en materia de alejamiento y separación física entre ricos y pobres, pues esta deja huellas simbólicas y materiales que tienen efectos duraderos; (iii) la búsqueda de plusvalía de los agentes inmobiliarios, que estimula la sobreinversión en las áreas donde reside la elite pero que también puede favorecer la suburbanización hacia terrenos fuera del nicho histórico de la elite; (iv) las políticas de vivienda social basadas en la maximización de la construcción y que usan como mecanismo principal para ello la construcción en zonas periféricas, donde el suelo es más barato, y que por ello refuerzan la localización periférica de los pobres…" (2006:2-3).

La temática referida a segregación puede ser abordada desde una dimensión objetiva (referida a localización o concentración espacial de la pobreza o la riqueza) o desde una perspectiva subjetiva, referida a las representaciones que los habitantes tienen de su espacio y entorno próximo.

En primera instancia es importante distinguir entre segregación, exclusión y diferenciación. Segregación significa acción y efecto de segregar; es decir, de separar o apartar una cosa de otra u otras. Exclusión es la acción y efecto de excluir, que está referido a:1) echar a una persona o cosa fuera del lugar que ocupaba; 2) descartar, rechazar o negar la posibilidad de alguna cosa. Diferenciación, como acción y efecto de diferenciar, significa: 1) hacer distinción, conocer la diversidad de las cosas, dar a cada una su correspondiente y legítimo valor; 2) diferir, distinguirse una cosa de otra.

De lo expuesto se puede concluir que tanto exclusión como segregación tienen una referencia espacial directa, que comprende relaciones entre localizaciones, si bien el sentido de exclusión tiene una connotación de mayor violencia, de mayor presión social, que el de segregación. En cambio, el concepto de diferenciación se relaciona más con la diversidad que caracteriza a las partes componentes de un conjunto, asumiendo un carácter más descriptivo.

Castells (1991:90) hace hincapié en una distinción fundamental entre diferenciación espacial y segregación espacial, al señalar que sólo la segregación implica la distancia física entre la localización residencial de los grupos sociales.

En la actualidad, el término segregación se aplica a una gran diversidad de circunstancias, en algunas de las cuales no es tan clara la intencionalidad, así como que resulta más difícil la distinción de los grupos involucrados. En general, se designa como segregación tanto a una práctica voluntaria como impuesta, que supone algún tipo de discriminación. Al optar por esta acepción amplia, la discriminación se evidencia en varios aspectos de las actividades cotidianas, en relación a distintos mecanismos que restringen el acceso en aspectos laborales, profesionales, a ciertos lugares públicos, etc. (Formiga, 2003).

La distancia espacial, si bien está presente en la definición clásica, es en el sentido que se le da en la actualidad que adquiere un carácter central en la diferenciación de áreas, que ha llevado a establecer que, cuando la distancia social tiene una fuerte expresión espacial, es que se consigna como segregación urbana. "En un primer sentido se entenderá por segregación urbana la tendencia a la organización del espacio en zonas de fuerte homogeneidad social interna y de fuerte disparidad social entre ellas, entendiéndose esta disparidad no sólo en términos de diferencia, sino de jerarquía." (Castells, 1974:204).

El proceso social se materializa en el espacio residencial a través de la morfología y de la localización relativa, que son socialmente significativas. Según C. Rhein, el espacio como sustrato material socialmente marcado, es un factor de inercia y de irreversibilidad de un gran número de procesos económicos y sociales (Brun et Rhein, 1994:232). De esta manera, para la autora, hay una relación directa entre la distribución espacial de las categorías sociales y el parque de viviendas, lo que implica la necesidad de considerar ambas variables conjuntamente. Afirma Pascale Bessy que "el lugar de residencia de los hogares no es independiente de su lugar en la jerarquía social y de su posición en el sistema productivo" (Pretecielle, 1992:13).

En realidad, la segregación socio-residencial es sólo la espacialización de los problemas y de las desigualdades existentes en la estructura de la sociedad. La segregación incide sobre una multiplicidad de aspectos que hacen a la calidad de vida y a la realización personal, en tanto puede afectar el acceso a los equipamientos de consumo colectivo y al mercado de trabajo, así como constituir condicionantes culturales respecto a la promoción individual y la movilidad social.

Cuando la segregación responde al comportamiento de un grupo que establece u observa ciertas reglas, con el propósito de evitar o limitar el contacto con otro grupo de la población, que juzga inferior o amenazante para su propia identidad, la materialización de esa voluntad se verifica en la diferenciación espacial. Al menos en el grupo dominante, corresponde a una identidad claramente percibida y asumida, y que se expresa en aspectos morfológicos que son el resultado de comportamientos encuadrados en un conjunto de normas o prácticas consensuadas y/o aplicadas, aspecto que pone en evidencia la intencionalidad del proceso.

A veces la conformación de ciertas áreas diferenciadas es producto de la agregación, acumulación, de decisiones individuales, que se van organizando de manera más o menos espontánea. Esta forma es atribuible a las áreas ocupadas por familias de ingresos altos y medio-altos, que prefieren conformar un espacio homogéneo de prestigio, contando con los recursos y posibilidades para ejercer su libertad de elección y lograr sus expectativas. Lo contrario ocurre cuando las posibilidades de elección son muy limitadas, especialmente hacia el extremo opuesto de la estructura social. En el caso de los grupos de ingresos medios es importante el análisis de sus estrategias residenciales pues sobre ellos pesan, de manera importante, tanto las expectativas como las restricciones. En la conformación de ese espacio diferenciado y fragmentado, en los procesos de valorización y desvalorización, de producción de tierra urbana, interviene directamente el funcionamiento del mercado inmobiliario (Formiga, 2003). La tesis central de Sabatini y Brain (2008:6) es que "no existen impedimentos culturales, sociológicos ni económicos para conseguir menores grados de segregación social del espacio en las ciudades latinoamericanas, objetivo que debe ocupar un lugar crítico en la política pública considerando que los barrios populares segregados se están "guetizando" (drogas, crimen y deserción escolar, entre otros problemas)". Los autores respaldan su tesis con la confrontación de algunos de los mitos corrientes sobre segregación y destacando algunas claves para la integración social urbana. En este sentido, una clave que se destaca es que "El funcionamiento de los mercados del suelo produce niveles de segregación que exceden los que podrían justificarse por la preferencia de las personas" (Ibíd.:9). En la conclusión se afirma que "es enteramente posible y manifiestamente imperativo promover desde la política pública la evolución de nuestras ciudades hacia mayores niveles de integración socio-espacial, especialmente a favor de los grupos populares, tradicionalmente más segregados. La precarización del empleo y la marginación política que afecta a estos grupos urbanos, están convirtiendo los barrios en que ellos se aglomeran en guetos urbanos de desesperanza, violencia y crimen".

Una cuestión que se plantea entre todo este cúmulo de consideraciones, es la de tomar en cuenta los distintos "grados de libertad" que están implícitos en las decisiones sobre localización residencial, así como determinar si solamente ante la existencia de un cierto grado de libertad es posible hablar de estrategia residencial. Pero, en este caso, cómo se denominarán las distintas estrategias puestas en práctica por los grupos de escasos y muy limitados recursos para resolver su problema de techo? Al respecto se propone diferenciar trayectoria residencial de estrategia residencial. (Segoud et al., 1998:316).

Los análisis referidos a segregación señalan la limitación de las medidas usuales aplicadas ya que no permiten distinguir los patrones de distribución espacial entre los grupos de población, dado que corresponden a medidas globales, al expresar una medida de la segregación correspondiente al total de la ciudad o área de análisis. Sin embargo, desde la dimensión espacial y mediante la utilización de SIG, es posible observar y analizar la distribución que presentan los valores individuales calculados para cada radio, así como identificar las características o patrón de la distribución, como se indicará a continuación. En un trabajo sobre esta temática (Feitosa et al., 2004:60), se observa el interés en desarrollar medidas incorporando la dimensión espacial y hay una interesante aplicación con el Índice de Disimilitud, Índice de

Aislamiento/Exposición y el Índice de Segregación Residencial. Los autores proponen una medición de la segregación residencial incorporando la distribución espacial con tres nuevos índices de segregación local, obtenidos por descomposición de esos índices globales. Estos índices locales muestran cuánto contribuye cada unidad y su entorno (vecindario/*neighborhood*) a la medida de segregación global de la ciudad (Ibíd.:65).

En otros casos se adoptan ajustes que tienen que ver con aspectos espaciales en los índices globales, vinculados a la contigüidad, longitud de fronteras y forma de las unidades de análisis (Martori Cañas y Hoberg, 2004).

Un aporte con énfasis en lo metodológico es el de Jorge Rodríguez Vignoli (2001). A partir de considerar los aspectos conceptuales, se destaca el papel que juega la escala de referencia geográfica, indicando que "el primer paso para cualquier indagación empírica de la segregación residencial consiste en especificar la escala de análisis, es decir, de las unidades territoriales cuya composición social y cercanía física serán consideradas en los cálculos y el análisis" (ibid.:18). En cuanto al procedimiento adoptado para el análisis de la segregación residencial es el análisis de varianza.

Con énfasis en lo espacial, es preciso destacar el aporte de Buzai (2003), que además de realizar una revisión de los aspectos teóricos de la diferenciación socio-espacial urbana, incluye una metodología del análisis espacial cuantitativo. En este apartado cabe mencionar las medidas de correspondencia, segregación y concentración espacial, y en particular, los dos índices siguientes (Buzai,op.cit.:122):

- *El Índice de Segregación Espacial Global (ISEG),* que se refiere a la segregación espacial correspondiente a una determinada categoría poblacional. Como indica el autor el ISEG "es una medida del comportamiento de esta categoría dentro del área de estudio total".

- *El Índice de Segregación Espacial Areal (ISEA)*. Al respecto se indica que "abordar el estudio de la segregación espacial areal corresponde a un enfoque local de la problemática" (Buzai y Baxendale, 2006:341). En este caso se trabaja con los resultados por radio censal, de la relación (proporción) entre el porcentaje de la categoría en estudio respecto del porcentaje de la población total ($ISEA = b_i / a_i$). Estas proporciones son los componentes del cálculo del ISEG.

Entonces, con la aplicación de SIG, se tiene una dimensión espacial de las características que adopta la segregación en el área en estudio a partir del ISEA, como ya se ha mencionado. También en el caso del Índice de Disimilitud de Duncan, en este estudio que se aplica la ciudad de Bahía Blanca, se lleva a cabo el análisis espacial a partir de las diferencias por radio, que componen el cálculo del ID. En lugar de proporciones, se calculan en este caso, las diferencias de los porcentajes correspondientes a cada radio censal ($= x_i/X - y_i/Y$), respecto de las dos categorías de población consideradas.

Massey y Denton (1988) señalan que a través de los años, se ha propuesto una variedad de índices para medir las distintas características de la distribución y han argumentado por la adopción de uno y la exclusión de otros. Los autores concluyen que la segregación debería ser medida no con uno sino con varios índices. Por ello sostienen que la segregación residencial es una construcción global que subsume cinco dimensiones, cada una correspondiente a diferentes aspectos de la variación espacial: equidistribución (evenness) – también distribución

uniforme o igual –, exposición (exposure), concentración (concentración), centralización (centralización) y agrupamiento (clustering). Cada una de estas características tiene diferentes implicaciones sociales y comportamentales. (op.cit.: 283).

Más recientemente, Weinberg, Iceland y Steinmetz hacen una revisión de las nuevas propuestas de medida de la segregación residencial e indican que las dimensiones e índices propuestos por Massey y Denton se reafirmaron en 1996, en un estudio con datos del censo de USA de 1990. Posteriormente, otro trabajo presentado en 2003 (Steinmetz, y Iceland, 2003), utilizando los datos del censo de 2000, constata que se mantiene la validez de esa estructura basada en las cinco dimensiones.

Aspectos metodológicos y fuentes

Como se hace referencia en la Documentación de la Base Usuarios del Censo 2001, "el *criterio de comparabilidad* es uno de los aspectos de importancia a considerar a la hora de comenzar el proceso de generación de datos estadísticos, en razón de que permite el estudio de los fenómenos sociales concretos en diferentes entornos socioculturales y períodos de tiempo. No obstante, a lo largo de los sucesivos relevamientos, este requisito se flexibiliza en función de mejoras en la medición de los fenómenos en términos de confiabilidad y validez" (INDEC, 2001).

En relación a la escala, se seleccionó la unidad más pequeña de desagregación espacial, esto es, el radio censal (unidad mínima de recuperación de datos a partir del Software Redatam+SP para el caso de Argentina). Estas áreas comprenden, aproximadamente, entre 300 y 400 viviendas. En las áreas centrales cubren pequeños espacios, mientras que en el macrocentro y en la periferia su superficie en varios casos es similar al barrio. Por ello, se considera una escala adecuada para el estudio de la segregación socio-residencial. Asimismo, se debe tomar en consideración que al trabajar con más de un censo, surgen problemas de comparabilidad debido a las variaciones en la distribución de la población, que ocasiona la subdivisión y la incorporación de nuevos radios censales.

En este trabajo se opta por aplicar el Índice de Disimilitud de Duncan como una primera aproximación al estudio de la segregación socio-residencial, dado que es una medida sencilla y significativa. Además, a partir de su cálculo se puede tener una representación con el SIG de la distribución espacial de los componentes por radio censal, como se ha indicado anteriormente. También una limitante para la aplicación de otras medidas es que al trabajar con dos censos, se identificaron problemas en la información disponible y la definición de los radios censales, por lo tanto se dejó para un próximo estudio avanzar en la medición de la segregación. El propósito es incorporar los resultados del último censo de 2010, para analizar los cambios ocurridos y aplicar otros índices que complementen el estudio. Según lo informado por el INDEC, los usuarios tendrán acceso a la base de datos en el mes de junio, con una primera entrega de datos preliminares, que se completará en el mes de diciembre con los resultados definitivos.

Es por ello que en este estudio se aborda el análisis con un índice global, como un primer avance. Se trabajará exclusivamente con bases de micro-datos censales correspondientes a los Censos de Población, Hogares y Vivienda de 1991 y 2001, procesados con el Software REDATAM+SP (CEPAL-CELADE)[3], utilizando como unidad espacial de análisis el radio censal.

Los micro-datos censales procesados con REDATAM constituyen un componente clave para la medición de la segregación residencial (SR) y para la investigación de sus determinantes demográficos. Además, se utilizarán otras fuentes de información como informes técnicos y otros documentos, particularmente aportados por el Municipio de Bahía Blanca, referidos a infraestructura básica de servicios, equipamiento y conjuntos habitacionales de interés social.

A diferencia del censo del año 1991, en el cual las características más interesantes para evaluar las condiciones de vida de la población fueron relevadas en el cuestionario ampliado (A) correspondiente a una muestra estratificada de un 20%, en el censo 2001 se aplicó un único cuestionario a toda la población. Esto resulta de particular importancia para obtener información sobre la población, los hogares y la vivienda correspondientes a unidades territoriales pequeñas, ya que se trata de un relevamiento de la población y no de una muestra (INDEC, 2005; Velázquez, 2008).

Entre las limitaciones que afectan la comparabilidad, cabe indicar la diferencia en la división por radios en las dos fechas censales, debido al incremento poblacional para el segundo censo, que ocasiona la subdivisión y la incorporación de nuevos radios censales (220 radios en 1991 y 284 en 2001).

Respecto a la segregación residencial se utilizará una medida clásica, el Índice de Disimilitud de Duncan, que fue elaborado inicialmente para cuantificar el grado de segregación residencial de las minorías raciales en los Estados Unidos (Rodríguez,2001). El ID varía entre cero y uno, valores que corresponden respectivamente a una distribución espacial exactamente igualitaria y a una distribución de máxima segregación. De hecho, el valor cero sólo se alcanza cuando en todas las unidades hay la misma proporción de población en el grupo x y en el correspondiente al grupo de referencia o al resto de la población (Massey y Denton, 1988).

Este índice también admite una interpretación en forma de porcentaje, lo que permite conocer la proporción del grupo analizado que debe cambiar de localización para alcanzar la igualdad en la distribución.

El índice de Disimilitud se define como:

[3] A través de los microdatos, es decir datos o variables referidas a individuos, hogares, viviendas u otros elementos de información se pueden generar diversos tabulados para cualquier área geográfica definida por el usuario.

$$D = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{x_i}{X} - \frac{y_i}{Y}\right| \quad 0 \le D \le 1$$

Donde:

xi: población del grupo x en el radio censal i
X: población total del grupo x en la ciudad
yi: población del grupo y en el radio censal i
Y: población del grupo y en la ciudad
n: número de radios censales en la ciudad

En el análisis serán consideradas 3 variables de segmentación socioeconómica en la aplicación del índice de Disimilitud, a saber: Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), Hacinamiento y Escolaridad jefe de hogar.

Dado que éste es un índice sintético, se complementa el estudio con la distribución espacial de las características y condiciones de vida de los bahienses, con la aplicación de la base de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG-Arc Gis 9.1) con el objeto de establecer el nivel de desigualdad social y su materialización en el territorio bahiense.

En este sentido, los SIG se han convertido en una herramienta esencial para el análisis geográfico "al ser susceptibles de ser usados en cualquier aplicación cuyo objetivo principal sea gestionar algún tipo de información geo-referenciada", al permitir "manipular con eficacia la información geográfica" y constituir un importante soporte en la toma de decisiones (Comas- Ruiz, 1993:3).

La segregación socio-residencial en Bahía Blanca

Antes de introducirnos en el análisis del caso de estudio, se presentan algunas características generales del contexto económico y socio-demográfico.

La ciudad de Bahía Blanca, ubicada en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Figura 4-14), constituye un centro urbano de tamaño intermedio[4], que de acuerdo con datos correspondientes al Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (INDEC) del año 2001, registra un total de 274.838 habitantes, concentrando el 96,7 % de la población total del Partido (284.776 habitantes). La población urbana del Partido se completa con dos pequeñas localidades, Gral Daniel Cerri y Cabildo. No están disponibles aún los datos correspondientes al último censo -año 2010- para la ciudad, y los resultados provisionales corresponden al Partido de Bahía Blanca, que registró 301.531 habitantes, lo que estaría indicando un bajo crecimiento de la población en el último período intercensal.

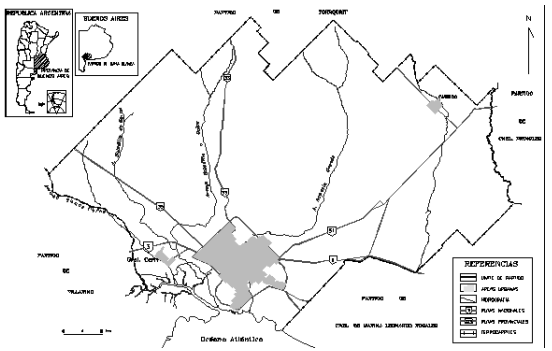


Figura 4-14. Localización de la ciudad de Bahía Blanca

De acuerdo con los criterios establecidos por Vapñarsky y Gorojovsky (1990), la ciudad de Bahía Blanca (cabecera de partido) es considerada una aglomeración de tamaño intermedio (ATIS). Dentro de esta clasificación, la ciudad corresponde a una ATIS media por estar dentro de la categoría que va de 50.000 a 399.999 habitantes. Por las diversas y especializadas funciones que allí se desarrollan, se desempeña como un importante centro regional. En este sentido, constituye un destacado nodo de comunicaciones y transporte a escala regional y muy particularmente, a escala nacional, como así también un importante centro de servicios. El puerto de aguas profundas lo posiciona como uno de los principales puertos en el comercio internacional.

[4] Bahía Blanca, constituye la ciudad de mayor tamaño de esta subcategoría en la Pcia. de Buenos Aires, seguidas por San Nicolás de los Arroyos, Tandil, Zárate, Pergamino, Olavarría, Junín, Necochea-Quequén, Campana, Luján, Punta Alta, Azul, Chivilcoy y Mercedes.

La Tabla 4-12 muestra el peso demográfico de la ciudad de Bahía Blanca y su dinamismo. Para el período 1960-2001, la tendencia en el ritmo de crecimiento demográfico muestra una reducción, debido a la disminución de sus tasas, con tasa de crecimiento baja en el último período intercensal. La dinámica demográfica bahiense muestra la disminución en el crecimiento natural y la reducción en el saldo migratorio, que se vincula a la menor atractividad en el ámbito regional, debido a los problemas que se han presentado en la estructura económica y en el mercado laboral en las últimas dos décadas.

Tabla 4-12. Ciudad de Bahía Blanca 1960-2001Población y tasas de crecimiento medio anual

Censo	Bahía Blanca	
	Población Total	r %
1960	126.669	
		3,59
1970	182.158	
		2,04
1980	223.818	
		1,42
1991	260.096	
		0,54
2001	274.838	

Fuente: elaboración propia, INDEC, Censo Nacional de Población, 1960, 1970,1980, 1991 y 2001.

En la ciudad de Bahía Blanca la producción y apropiación del espacio, tanto desde los agentes inmobiliarios como de la intervención del Estado y las acciones de las familias de menores recursos, ha resultado en una ciudad fragmentada y segregada, con grandes desigualdades (Formiga 2003; Formiga y Marenco, 2000). El espacio urbano bahiense aparece entonces fuertemente dividido en áreas residenciales que reflejan las diferencias sociales, revelando en parte el proceso histórico de producción de la ciudad.

La segregación socio-residencial según el Índice de Disimilitud

Para abordar las condiciones de segregación socio-residencial en la ciudad, se seleccionaron variables dicotómicas para la aplicación del Índice de Disimilitud (Tabla 4-13).

Tabla 4-13. Ciudad de Bahía Blanca Índice de Disimilitud 1991 - 2001

Variables	Censo 1991	Censo 2001
Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)*	0,52	0,39
Hacinamiento más de 3 prs. por cuarto**	0,37	0,55
Escolaridad jefe de hogar***	0,55	0,42
Escolaridad jefes de hogar****	0,61	0,52

Fuente: Basado en datos de INDEC, Censo 1991y 2001.

Indicadores utilizados:

* Hogares con NBI vs. Hogares sin NBI.

** Hogares con hacinamiento más de 3 personas por cuarto vs. Hogares sin hacinamiento.

*** Jefes con alto nivel de educación (13 o más años de escolaridad como indicador de educación superior vs. 12 o menos años de escolaridad -educación media como máximo-).

**** Jefes con alto nivel de educación (13 o más años de escolaridad) y jefes con bajo nivel de educación (hasta 6 años de escolaridad aprobados).

En una primera interpretación general de los resultados obtenidos, claramente se puede expresar que se evidencia en la ciudad una fuerte segregación espacial de la población. En cuanto a los resultados obtenidos para cada variable, se puede observar lo siguiente:

a) *Necesidades Básicas Insatisfechas*. Al relacionar Hogares con NBI vs. Hogares sin NBI, según los valores obtenidos del índice para el año 2001 (0,39), un 39% de los hogares que presentan necesidades básicas insatisfechas debería redistribuirse y cambiar su lugar de residencia si se desea alcanzar una distribución similar a la de los hogares sin NBI, entre los radios censales de la ciudad. Respecto al ID de 1991 (0,52), indica una reducción de la segregación socio-residencial según esta variable.

b) *Hacinamiento por cuarto*. Resulta significativo el resultado obtenido para 2001 en la relación Hacinamiento con más de tres personas por cuarto vs. Hogares sin hacinamiento, que es el mayor valor obtenido de las variables consideradas- 0,55- lo que refleja una fragmentación espacial mayor sobre el territorio (Tabla 4-13). El 55% de los hogares con este nivel de hacinamiento tendría que cambiar de lugar residencia para llegar a la igualdad en la distribución. Es importante señalar que, entre los resultados de 1991 y 2001, se registra un incremento importante en la segregación socio-residencial según esta variable y la única que registra un incremento en este período.

c) *Escolaridad Jefe de Hogar (Alto/Resto)*. Por su parte, al considerar años de escolaridad aprobados por el jefe de hogar, considerando Jefes con alto nivel de educación (13 o más años de escolaridad como indicador de educación superior) vs. 12 o menos años de escolaridad -educación media como máximo-), el valor del índice para 2001 asciende a 0,42, que indica una reducción respecto a la situación en 1991.

d) *Escolaridad Jefe de Hogar (Alto/Bajo)*. Al relacionar la distribución de los Jefes con alto nivel de educación (13 o más años de escolaridad) vs. Jefes con bajo nivel de educación (hasta 6 años de escolaridad aprobados), se observa como en el caso anterior, una reducción en los valores del ID entre 1991 y 2001, aunque con valores mayores en ambos casos.

Ambos indicadores referidos a la escolaridad del jefe de hogar (c y d) evidencian para 2001 menor segregación, en términos del ID y de esta variable, respecto a 1991. Es de destacar que se observa una mayor segregación al considerar los dos grupos más contrapuestos, Alto vs. Bajo nivel de educación, que cuando se considera Alto vs. Resto.

Si bien este ID no hace referencia a la distribución espacial de la segregación, se analizaron los mapas construidos con las diferencias por radio correspondientes a cada variable, para ver la situación en 1991 y 2001. Los valores positivos indican una mayor representación del grupo seleccionado para medir la segregación (x_i), respecto del grupo de referencia (y_i), especialmente los valores más altos, y su disposición contigua y concentrada en determinadas áreas, indican la tendencia a conformar un espacio fragmentado y segregado. Se seleccionaron las dos variables más representativas, nivel de educación del jefe de hogar y hacinamiento por cuarto (véase Figuras 4-15, 4-16, 4-17 y 4-18).

Diferencias por radio en la proporción de jefes de hogar según nivel de educación 1991 y 2001

Como se puede observar en la representación cartográfica, la mayor proporción de jefes de hogar con mayor nivel educativo, respecto de los que no han completado el nivel primario, se localizan en el centro y noreste de la ciudad, para ambas fechas censales, con una significativa concentración y diferenciación para el año 2001. Los valores negativos, que indican una mayor proporción de jefes con menor nivel de educación, se disponen predominantemente en la periferia, hacia el oeste y sur de la ciudad. Para el 2001, la disposición es más contrastrada, con una fuerte y opuesta localización de los sectores correspondientes a la mayor representación de jefes de hogar con mayor educación y de jefes de hogar con menor educación.

Coincidente con las condiciones de habitabilidad y características socioeconómicas, las áreas que presentan las mayores diferencias positivas se localizan en el micro y macrocentro de la ciudad, así como en las áreas del nordeste-este donde se localizan las áreas residenciales de familias de mayores ingresos. En el sentido contrario, las mayores diferencias negativas se localizan en la periferia de la ciudad, que corresponden a asentamientos carenciados y con condiciones habitacionales deficientes.

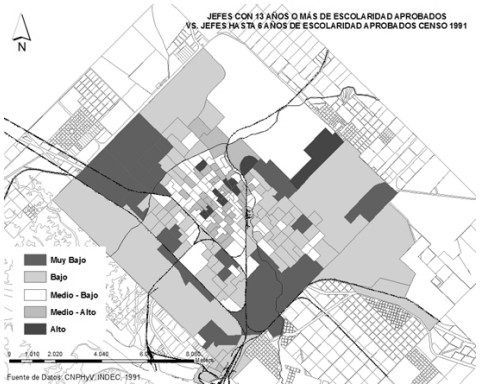


Figura 4-15. Jefes con 13 años o más de escolaridad aprobados y jefes con hasta 16 años aprobados 1991.



Figura 4-16. Jefes con 13 años o más de escolaridad aprobados y jefes con hasta 16 años aprobados 2001

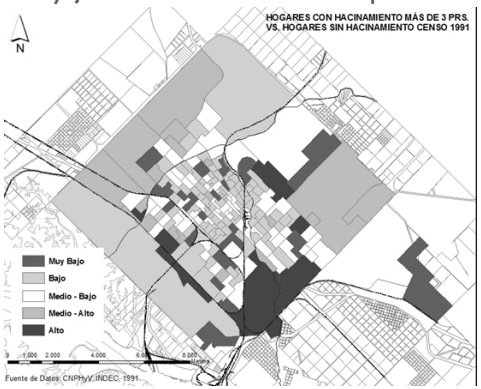


Figura 4-17. Hogares con hacinamiento de más de 3 personas y hogares sin hacinamiento 1991.

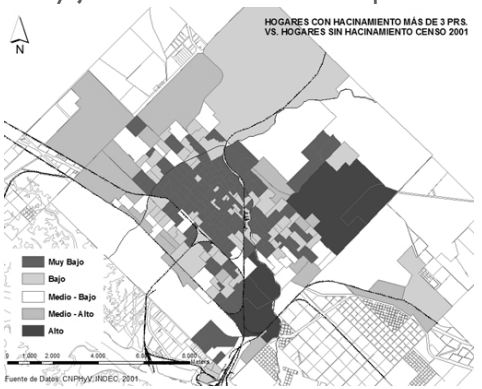


Figura 4-18. Hogares con hacinamiento de más de 3 personas y hogares sin hacinamiento 2001.

Diferencias por radio en la proporción de hogares según hacinamiento de cuarto

También en este caso el contraste más notable es en 2001 y también se evidencia una distinción tan marcada como con la variable anterior, aunque la concentración de valores positivos respecto a los hogares que presentan hacinamiento por cuarto se presenta en dos áreas. En primer lugar, se observa la menor proporción de hogares con hacinamiento, respecto de los sin hacinamiento, en el micro y macrocentro de la ciudad, con valores que se van aproximando en los radios de borde. Las mayores diferencias positivas, por mayor proporción de hogares con hacinamiento, se localizan en los radios más periféricos, donde se ubican asentamientos carenciados y con menor disponibilidad de infraestructura y equipamiento. En la periferia bahiense, excepto el sector norte, predominan las condiciones de hacinamiento. Las mayores diferencias positivas se concentran en dos áreas bien delimitadas – que están representando una mayor proporción de hogares con hacinamiento respecto de los sin hacinamiento – que se localizan en sectores donde predomina la marginalidad, particularmente en el sector sur entre el curso del arroyo Napostá y las vías ferroviarias.

Para 1991, las condiciones de hacinamiento se destacan en sectores correspondientes a asentamientos carenciados donde es posible que los conjuntos habitacionales, que se construyeron en ese período, hayan disminuido la presión del hacinamiento para 2001.

En este sentido, se observa que la distribución de las diferencias negativas y positivas presentan una disposición fragmentada, que corresponde a una segregación socio-residencial con fuerte contraste entre, por una parte el centro-nordeste de la ciudad, donde se concentran las mejores condiciones habitacionales, sociales y ambientales, y por el otro, el sur-oeste marginal social, ambiental y habitacional.

Diferenciación socio-espacial, fragmentación y segregación

Para complementar los resultados obtenidos con el ID, se incorpora el tratamiento individual de cada indicador considerado para el período intercensal 1991-2001, que permite apreciar las condiciones de segregación a que se hace referencia. Dentro de este contexto resulta importante señalar que Bahía Blanca no ha permanecido ajena a una tendencia de aumento de la pobreza, producto de la fuerte crisis económica y social que atraviesa el país.

Al abordar el estudio desde la perspectiva de las desigualdades, en la diferenciación socio-espacial, la atención se focaliza en uno de los aspectos de la realidad urbana, vinculado directamente a las áreas residenciales de los grupos de población de menores recursos que, por su relevancia social y espacial, conforman un rasgo destacado.

Respecto a las variables seleccionadas, en primer lugar se consideran las variables que tienen relación con el habitar, pues como señala Yujnosvky "La vivienda constituye una "configuración de servicios –los servicios habitacionales- que deben dar satisfacción a las necesidades humanas primordiales: ambiental, espacio, vida de relación, seguridad, privacidad, identidad, accesibilidad física, entre otras. Pero estas necesidades varían con cada sociedad y grupo social y se definen en el devenir histórico. La vivienda constituye parte de un todo más amplio e integra no sólo aspectos cuantitativos de su construcción (cantidad, tipo de materiales, entre otros), necesarios pero no suficientes, sino que además incorpora la dimensión social, es decir el sentido y significación que los individuos le otorguen" (1984:17).

En segundo lugar, se incluye el nivel de educación del jefe de hogar pues se considera una variable muy significativa del capital humano y que tiene relación con las oportunidades y condiciones de vida del hogar.

a) Hogares con NBI

Las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) hacen referencia a los hogares que no satisfacen un conjunto mínimo de necesidades básicas a partir de variables censales referidas a la calidad de la vivienda, disponibilidad de servicios sanitarios, accesibilidad a la educación y ocupación del jefe del hogar, que se considera se presentan con alta frecuencia en situaciones de bajos ingresos y asociadas con otras dimensiones de las necesidades básicas. Hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas son los hogares que presentan al menos uno de los siguientes indicadores de privación:

- Hacinamiento: más de tres personas por cuarto;
- Vivienda: habitan en una vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, pieza de hotel o pensión, casilla, local no construido para habitación o vivienda móvil), excluyendo casa, departamento y rancho;
- Condiciones sanitarias: no tienen ningún tipo de retrete;
- Asistencia escolar: tienen al menos un niño en edad escolar (6 a 12 años) que no asiste a la escuela;
- Capacidad de subsistencia: tienen cuatro o más personas por miembro ocupado, cuyo jefe no haya completado el tercer grado de escolaridad primaria.

Las categorías que se elaboran a partir de esta clasificación son:

1. No cumple con alguna condición: no presenta necesidades básicas insatisfechas.

2. Cumple con al menos una condición insatisfecha: tiene necesidades básicas insatisfechas.

De acuerdo con los datos censales correspondientes a la ciudad de Bahía Blanca se registran 8.700 hogares con necesidades básicas insatisfechas para el año 1991, mientras que para el 2001 se registran 5.847 hogares, lo que evidencia una reducción importante.

Respecto a la distribución que presenta esta variable en el ámbito de la ciudad de Bahía Blanca, para 1991 se observa una alta concentración de hogares con necesidades básicas insatisfechas en el sur y oeste de la ciudad, a la que se le agregan algunos radios hacia el noroeste (véase Figura 4-19) con valores que oscilan entre 18,55 a 68,55 por ciento de hogares con NBI. Debido a la amplitud de este quintil superior, se observaron los valores para una mejor comprensión de la situación. Resulta que la mayor parte de los radios se encuentran comprendidos entre 20 y menos de 40 % de los hogares (29 de 38). El resto se distribuye en forma semejante, con un número reducido de radios (3 radios con menos del 20% de los hogares, 2 radios de 40 a menos de 50%, 2 de 50 a menos de 60% y 2 de 60 a menos de 70 % de los hogares). Por lo tanto, se puede decir que respecto de esta variable, la situación no alcanza niveles muy críticos.

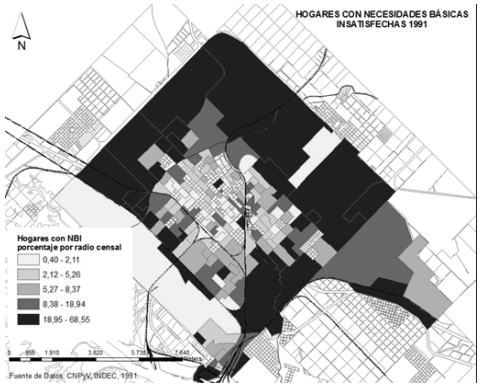


Figura 4-19. Hogares con necesidades básicas insatisfechas1991.

La distribución de hogares con **necesidades básicas insatisfechas (NBI año 2001)** (véase Figura 4-20) muestra condiciones diferenciadas, generando un modelo urbano fragmentado, materializado territorialmente.

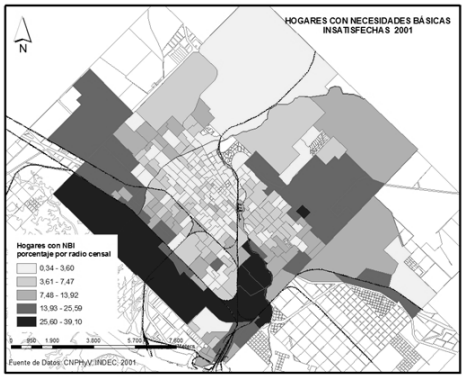


Figura 4-20. Hogares con necesidades básicas insatisfechas 2001.

La ciudad de Bahía Blanca muestra una alta concentración de hogares con necesidades básicas insatisfechas en el sur y oeste de la ciudad, que corresponde a los sectores donde se localizan los barrios de familias de menores recursos, así como los restantes radios periféricos con porcentajes altos de NBI, que corresponden a ocupaciones más recientes y ponen de manifiesto el problema en la extensión de los servicios básicos. Las áreas más críticas, en términos de necesidades básicas insatisfechas, coinciden con la periferia sur oeste del ejido urbano, con valores que oscilan entre 25,60 a 39,10% de los hogares por radio censal. Estos últimos forman parte del hábitat popular, integrado en gran parte por asentamientos irregulares que ocupan tierras del Estado y en distintas etapas de regularización dominial.

b) El hacinamiento como condición diferenciadora

En relación al ***Hacinamiento por cuarto***, constituye un indicador relevante para medir las condiciones de vida de la población. Dicho indicador se define como crítico, cuando hay más de tres personas por cuarto, entendiendo por cuarto a aquel espacio físico donde puede ubicarse una cama, excluyendo baño, cocina y/o pasillo. Si bien este indicador está incorporado en la variable NBI, se consideró de interés su tratamiento individual y efectivamente es más significativa como se puede observar en los valores del Índice de Disimilitud.

Su distribución espacial para el año 1991 (véase Figura 4-21), muestra valores que oscilan entre 18,64 a 51,17 por ciento de hogares con hacinamiento más de 3 personas por cuarto en coincidencia con aquellos radios censales correspondientes a la periferia de la planta urbana y a la localización de asentamientos carenciados. El análisis de esta variable para el año 2001 (véase Figura 4-22) a nivel de los radios censales, nos indica que las áreas afectadas coinciden con la periferia urbana, con valores entre 13,21 a 24,14% de los hogares con hacinamiento de 3 y más personas por cuarto, coincidentes con diversos asentamientos precarios como lo son Stella Maris y el área comprendida entre el arroyo Napostá y las vías del ferrocarril, el cual contiene un total de 9 asentamientos carenciados.

c) Diferencias significativas en la escolaridad del jefe de hogar

Una condición en la que se pone de manifiesto la segregación socio-residencial es la **escolaridad alcanzada por el jefe de hogar.**

La situación para 1991, muestra máximas concentraciones de jefes de hogar con nivel máximo de escolaridad (véase Figura 4-23) en coincidencia con los barrios Patagonia, Palihue, eje Alem, Barrio Universitario, Villa Floresta, micro centro de la ciudad y en forma dispersa radios censales correspondientes al macrocentro, con valores que oscilan entre 19,38 a 48,88 % por radio censal. Para el censo 2001, los barrios donde se concentran los jefes con niveles más altos de instrucción (véase Figura 4-24) corresponden a las áreas residenciales de mayor prestigio de la ciudad, con valores que alcanzan entre 47,60 a 75,07% de los jefes por radio censal, coincidente con el Barrio Palihue, Barrio Parque Patagonia, sector Universitario, Villa Floresta, micro y macro centro de la ciudad, eje Alem.

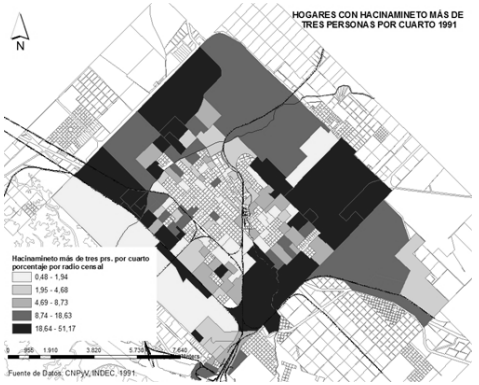


Figura 4-21. Hogares con hacinamiento de más de 3 personas por cuarto 1991.

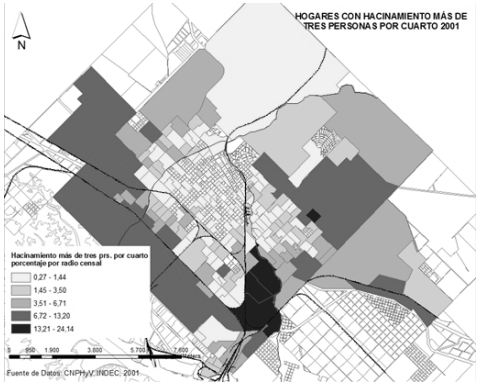


Figura 4-22. Hogares con hacinamiento de más de 3 personas por cuarto 2001.

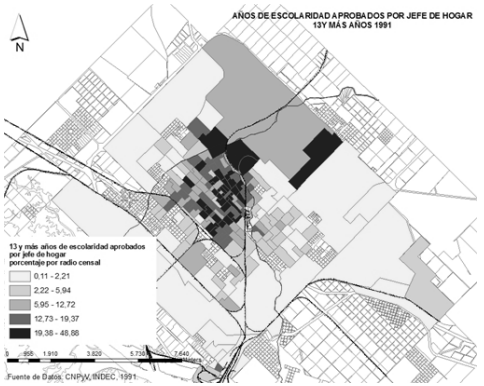


Figura 4-23. 13 y más años de escolaridad aprobados por jefe de hogar 1991.

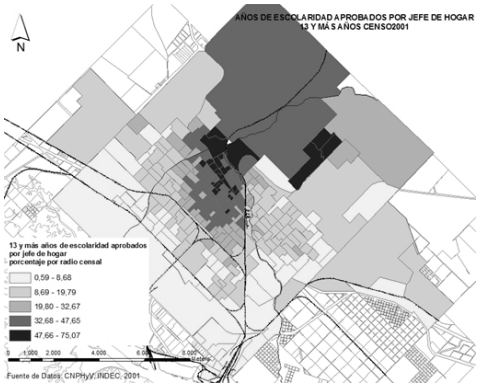


Figura 4-24. 13 y más años de escolaridad aprobados por jefe de hogar 2001.

La situación completamente opuesta corresponde a la distribución de jefes de hogar con bajo nivel de escolaridad (véase Figuras 4-25 y 4-26). Los mayores porcentajes de jefes de hogar hasta 6 años de escolaridad aprobados para el año 1991, por radio, se distribuyen en forma amplia por toda la periferia bahiense, con valores oscilan entre 42,10 a 64,82%. Se destacan Loma Paraguaya, Villa Delfina, Hardin Green, Villa Elena, Villa Gloria al este, Villa Hipódromo, Villa Ressia, Villa Parodi y Barrio Enrique Julio, en el sector sur de la ciudad, Barrio Mariano Moreno, Barrio Latino, Villa Irupé, Barrio Pampa Central, Barrio Cnel. Estomba, Avellaneda y Villa Duprat al oeste. En forma envolvente se ubican aquellos radios censales con valores entre 36,15 a 42,09 %.

Respecto a la situación en 2001, se observa una mayor concentración de los radios con mayores porcentajes de jefes de hogar con un bajo nivel de escolaridad, que son los que han evidenciado también los mayores déficits y que se localizan en la periferia urbana. Fundamentalmente, corresponden a las áreas donde se ubican los asentamientos carenciados y ocupaciones irregulares. Con una menor proporción de jefes de hogar en esta condición (18,96 a 28,29 %), se encuentran las áreas de la periferia donde también predomina el hábitat popular (véase Figura 4-27).



Figura 4-25. Total de años de escolaridad aprobados por jefe de hogar 1991.

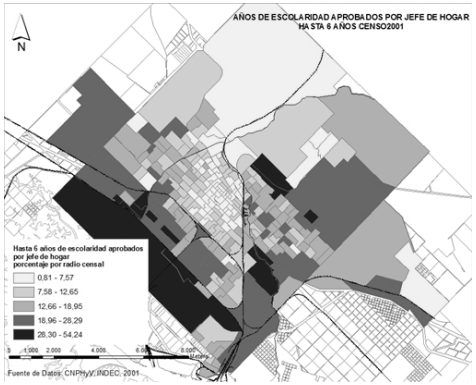


Figura 4-26. Total de años de escolaridad aprobados por jefe de hogar 2001.

d) *Fragmentación y segregación socio-residencial: norte/este-oeste/sur*

El sector sur-oeste es donde se concentran las desigualdades, las carencias y la marginalidad, social y ambiental (véase Figura 4-27). Y es en este sector donde se registran importantes intervenciones en conjuntos habitacionales, debido a que es allí donde también se localiza una amplia disponibilidad de tierras del Estado, destinadas a programas de vivienda social y son los sectores menos atractivos para el mercado inmobiliario. Desde hace algo más de una década, se iniciaron acciones que han resultado en cambios importantes en ciertas áreas; sin embargo, la situación de precariedad prevalece en gran parte del sector, ya que los diversos programas y proyectos no alcanzaron a producir una transformación significativa en el hábitat.

En este sentido, resulta importante incorporar en el análisis la distribución de los servicios básicos como elemento de diferenciación/segregación socio-espacial en el territorio, por cuanto inciden en términos de la salud y la calidad de vida de la población.

La cartografía pone en evidencia que la distribución de las redes de servicios es completa en el micro y macro centro de la ciudad, disminuyendo progresivamente el grado de cobertura a medida que nos desplazamos hacia la periferia del área urbana consolidada, especialmente en el caso particular del tendido de desagües cloacales, agua corriente y gas natural.

Esta asignación diferenciada de la infraestructura básica en la ciudad responde, en parte, al propio crecimiento urbano, dificultando su ampliación y tendido en aquellos sectores periféricos que presentan grandes superficies sin urbanizar. Por otro lado, cabe agregar que las menores densidades de población intensifican notoriamente los costes económicos para los propietarios.

En resumen, en la periferia la cobertura de servicios se muestra interrumpida o concentrada, en correspondencia con la localización de zonas residenciales (véase Figura 4-28).

A pesar de los esfuerzos que se realicen por parte de diversos agentes, tanto públicos como privados, en la planificación de los servicios y equipamientos básicos, se detecta un importante déficit en la provisión en el siguiente orden: desagües cloacales, agua corriente y gas natural.

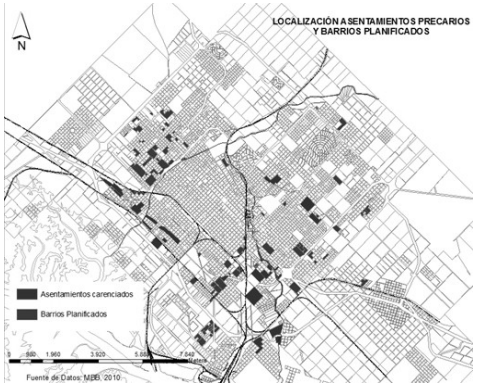


Figura 4-27. Localización de asentamientos precarios y barrios planificados 1991.

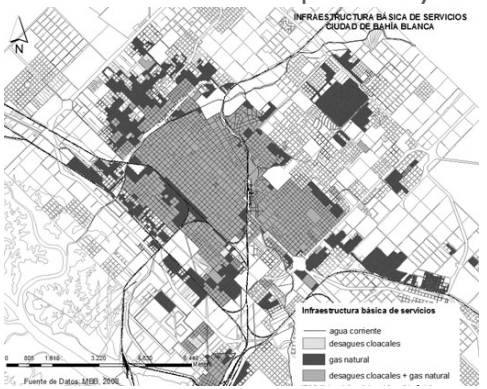


Figura 4-28. Localización de asentamientos precarios y barrios planificados 2001

Consideraciones finales

Esta investigación constituye un primer avance en el estudio de la diferenciación socio-espacial de la población en el período 1991-2001. Del análisis efectuado, quedan de manifiesto las situaciones de vulnerabilidad y precariedad que afectan a la población en términos de segregación residencial en la ciudad de Bahía Blanca. Los resultados del Índice de Disimilitud ponen en evidencia, a partir de la variables consideradas, un importante nivel de segregación (ID con valores superiores a 0,50). Estas constataciones cuantitativas se corresponden con la fragmentación y segregación socio-residencial observable en el espacio bahiense. Si bien se advierte una disminución de los resultados obtenidos del ID al considerar comparativamente el censo 1991 respecto a 2001, se exceptúan los hogares con hacinamiento más de tres personas por cuarto aumentando el valor de ID, pasando de 0,37 a 0,55 %. Los valores determinan dos sectores claramente individualizados y opuestos en la ciudad: el sector noreste-este donde se acumulan las externalidades positivas vinculadas a áreas residenciales de prestigio, con gran calidad ambiental y paisajística. La residencia va acompañada de áreas comerciales y de servicios especializadas y orientado a los grupos de mayores consumos. Desde la parte ambiental, corresponde a los sectores que disponen de las mejores áreas verdes y recreativas: parques con adecuado mantenimiento y los que forman parte de la agenda de gestión local, para mejorar la dotación del equipamiento. Este sector es el que presenta mayor interés desde el punto de vista inmobiliario, con los mayores valores de la tierra.

En contraste, en el sector sur-oeste se acumulan la marginalidad y la exclusión. La marginalidad social, porque allí se ubican en su mayoría los asentamientos precarios, formados espontáneamente, por los grupos que carecen de recursos para acceder a una solución habitacional. Marginalidad desde lo ambiental porque allí se encuentran las peores condiciones de habitabilidad, por la proximidad al estuario. El complejo portuario-industrial se suma a la degradación ambiental, en el que se destaca los efectos contaminantes de las empresas del polo petroquímico. Hay exclusión desde lo social y lo público, en el acondicionamiento del hábitat, dado que falta mantenimiento de calles, iluminación y del espacio público. Es muy escasa la disponibilidad de áreas recreativas (plazas y parques) y donde existen los espacios destinados a estos usos, generalmente están sin materializar o sin mantenimiento. Es el ámbito del hábitat popular, con escaso interés en el mercado inmobiliario. La amplia disponibilidad de tierras fiscales hace que aquí se localicen gran parte de los conjuntos habitacionales correspondientes a proyectos del Estado nacional y provincial. Si bien las diferencias en lo residencial corresponde a las condiciones para participar en el mercado inmobiliario y los recursos de que disponen las familias, se observa que la inversión pública acompaña la segregación y la refuerza, en el acondicionamiento y mantenimiento del espacio público y áreas verdes. Esto se hace patente tanto en lo que respecta a mantenimiento de calles, iluminación y pavimento, como en la dotación de áreas verdes e infraestructura para la recreación

Un aspecto positivo es el interés y los esfuerzos que se están invirtiendo en plantear una nueva perspectiva para la ciudad, que oriente las acciones hacia el desarrollo local y el ordenamiento territorial. Sin embargo, se observa una desarticulación entre las distintas propuestas, aun cuando todas están vinculadas o tienen su eje en el gobierno local. ¿Por qué es importante el estudio de la segregación? A veces, consultando los diversos trabajos sobre el tema, suele surgir el interrogante de si los esfuerzos se concentran en la definición del concepto y en la aplicación de distintos cálculos para su medición, dejando de lado la problemática en estudio; parece que en estas disquisiciones se pierde el significado, las implicancias que tiene en términos espaciales respecto a la calidad de vida de los habitantes, lo que justifica y hace necesario su estudio. Es decir, la aplicación de índices es de importancia, porque permite comparar y dimensionar el problema. Su captación respecto a la distribución espacial, a partir de las variables seleccionadas, es la vía para identificar y localizar las áreas problema.

Se considera importante hacer esta reflexión, pues de lo contrario parece que el objetivo es llegar a procedimientos más refinados, a conceptos más elaborados, en los que pierde el significado socio-espacial. En este sentido se considera que incorporar la distribución de las diferencias por radio, que componen el cálculo del ID, permite establecer si hay un patrón en la distribución, vinculado a la dispersión/concentración de los valores correspondientes a los radios censales. Este procedimiento también es el que se sigue en el cálculo de los índices de redistribución de la población, por ejemplo.El estudio de la segregación nos permite plantear las desigualdades en el espacio que llevan a determinar ciudadanos de primera y ciudadanos de segunda. Es preciso recuperar el derecho a la ciudad y el derecho a habitar, en un territorio donde todos los habitantes sean considerados ciudadanos. El propósito es evidenciar las inequidades en la apropiación ocupación y producción del espacio urbano, para tender a una ciudad más habitable, justa e integrada.

Agradecimientos

Esta publicación se enmarca en el Proyecto de Investigación "Tendencias y desafíos en las ciudades medias. Efectos dinamizadores. Procesos sociodemográficos y territorialización de las acciones en la ciudad de Bahía Blanca", que se desarrolla en el Departamento de Geografía y Turismo, financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur.

Referencias bibliográficas

ARRIAGADA, Camilo y Jorge RODRÍGUEZ (2003), Segregación residencial en áreas metropolitanas de América Latina: magnitud, características, evolución e implicaciones de política, Santiago, CEPAL, Serie Población y Desarrollo No. 47, LC/L.1997-P.

ARRIAGADA, Camilo y Jorge RODRÍGUEZ (2004), "Segregación residencial en la ciudad latinoamericana", EURE, Santiago, Volumen XXX, No. 89, páginas 5-24.

BRUN, J. (1994), La segregation sociale en milieu urbain, Recherches sur le concept de segregation et ses applicationes dans les études urbain francaise. Thése doctorat de L´ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

BRUN, J., RHEIN, C. (eds) (1994): La ségrégation dans la ville. Paris, L´Harmattan.

BUZAI, Gustavo D. (2003) Mapas Sociales Urbanos. Buenos Aires, Lugar Editorial.

BUZAI Gustavo, Baxendale, Claudia (2006), Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires. Editorial: GEPAMA.

CÁCERES, Gonzalo y Francisco SABATINI (editores) (2004), Barrios cerrados en Santiago de Chile: entre la exclusión y la integración residencial, Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile.

CASTELLS, M. (1974): La cuestión urbana. Buenos Aires, Siglo XXI.

CASTELLS, M. (1991): "El auge de la Ciudad Dual: teoría social y tendencias sociales". En ALFOZ, N°80, pp. 89-103

DE MATTOS, Carlos A. (2002) "Mercado metropolitano de trabajo y desigualdades sociales en el Gran Santiago: ¿Una ciudad dual?", en EURE, Santiago, Volumen 28, No. 85, páginas 51-70.

FEITOSA, Flavia, Gilberto CAMARA, Antonio MONTEIRO, Thomas KOSCHITZKI y Marcelino SILVA (2004), "Spatial measurement of residential segregation", Brazilian Symposium on GeoInformatics - GEOINFO (7:2004: Campos do Jordão: SP) / Cirano Iochpe e Gilberto Câmara. São José dos Campos: INPE, 2004. p. 59- 73 http://geoinfo.info/geoinfo2004/papers/6297.pdf.

FORMIGA, N. (2003): La diferenciación socio-espacial y los espacios subjetivos de los bahienses. Relación global-local en la estructuración del espacio urbano. Tesis Doctorales, Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

FORMIGA, Nidia y MARENCO, Silvia (2000), "La dinámica urbana. El proceso de desarrollo vertical y la problemática de la marginalidad urbana en Bahía Blanca, EdiUNS, Bahía Blanca.

FORMIGA, Nidia y PRIETO, María Belén. (2006). "La Medición de la Pobreza a partir de datos censales. El caso de Bahía Blanca", En VIII Encuentro Internacional Humboldt, "El Retorno de la Política", 25 al 29 de septiembre, Colón, Entre Ríos, Argentina, Publicado en CD.

FORMIGA, N., GARRIZ, E. (2008) "Tiempos lentos, rumbos cambiantes y resultados inciertos. Las políticas de vivienda en la ciudad de Bahía Blanca". X Coloquio Internacional de Geocrítica, Barcelona, 25-29 mayo. http://www.ub.es/geocrit/-xcol/programa.htm

GROISMAN, Fernando y Ana SUAREZ (2010) "Segregación residencial e inserción laboral en el Conurbano Bonaerense". En Población de Buenos Aires, Año 7, número 11, 7-28. http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-169.htm.

SABATINI, Francisco e Isabel BRAIN (2008)"La segregación, los guetos y la integración social urbana: mitos y claves". Eure 34(103): 5-26.

KAZTMAN, R. (2000). "Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social". Documentos de Trabajo de IPES / Colección Aportes Conceptuales N°2. Universidad Católica del Uruguay, Montevideo. http://www.ucu.edu.uy/Facultades/CienciasHumanas/IPES/pdf/Laboratorio/AC_Numero%202.pdf

KAZTMAN, Rubén (2001), "Seducidos y abandonados: el aislamiento social de los pobres urbanos", Revista de la CEPAL, Santiago 75: 171-189.

KAZTMAN, Rubén y Alejandro RETAMOSO (2005), "Segregación espacial, empleo y pobreza en Montevideo", Revista de la CEPAL, Santiago, No. 85, páginas 131-148.

MARTORI CAÑAS, Joan Carles, HOBERG, Karen (2004) "Indicadores cuantitativos de segregación residencial. el caso de la población inmigrante en Barcelona Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Vol. VIII, núm. 169.

MASSEY, Douglas, DENTON, Nancy (1988) The Dimensions of Residencial Segregation Social Forces, Vol.67, N° 2 (Dec.,), pp. 281-315.
http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic185351.files/massey.denton.pdf. Bajado enero 2011

OSZLAK, Oscar (1991) Merecer la ciudad. Los pobres y el derecho al espacio urbano, Buenos Aires Humanitas-Cedes.

PRECEDO, Ledo. 1996. Ciudad y desarrollo urbano. Síntesis. Madrid.

PRETCEILLE, E. (1992):"La ségrégation sociale dans les grandes villes". La Documentation Française, N°684, 17 juillet.
RODRÍGUEZ V. J. (2001). Segregación residencial socioeconómica: ¿qué es?, ¿cómo se mide? ¿qué está pasando, ¿importa?. CELADE-UNFPA, Santiago de Chile. Serie Población y Desarrollo número 16.
RODRÍGUEZ V., J. (2001b). Vulnerabilidad y grupos vulnerables: un marco de referencia conceptual mirando a los jóvenes. Población y Desarrollo N 17. CELADE. Santiago de Chile.
RODRÍGUEZ VIGNOLI J. (2002). Vulnerabilidad Sociodemográfica. Viejos y Nuevos Riesgos para comunidades, hogares y personas. CELADE-UNFPA, Santiago de Chile. Serie Población y Desarrollo.
RODRÍGUEZ, A. y L. WINCHESTER (2001), "Metropolización, globalización, desigualdad", EURE, Santiago, Volumen XXVII, No. 80, páginas 121-139.
RODRÍGUEZ, Jorge (2004). Migración interna en América Latina y el Caribe: estudio regional del período 1980-2000, Santiago, CEPAL, Serie Población y Desarrollo, No. 50, LC/L.2059-P.
RONCAYOLO. Tome II, Travaux et publications. Paris, 4 Juillet.
SABATINI, Francisco y Guillermo WORMALD (2004), Santiago de Chile bajo la Nueva Economía, 1980-2000: Crecimiento, Modernización, y Oportunidades de Integración Social, Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, The Center for Migration and Development, Working Paper Series, Princeton University, CMD Working Paper, No. 04-04a.2.
SABATINI, Francisco, Cáceres, Gonzalo y Cerda, Jorge (2001), "Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: Tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción", EURE, Volumen 27, N° 82, Santiago de Chile.
SABATINI, Francisco, Gonzalo CÁCERES y Jorge CERDA (2001), "Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción", EURE, Santiago, Volumen 27, No. 82, páginas 21-42.

SANTOS, M. (2000). La naturaleza del espacio. Madrid: Ariel.
SANTOS, Milton. (1996). De la totalidad al lugar. Oikos-Tau. Barcelona.
SANTOS, Milton. (1996). Metamorfosis del espacio habitado. Oikos-Tau. Barcelona.
SEGOUD, M., Bonvalet, C., Brun, J. (direction) (1998): Logement et habitat. L'état des savoirs. Paris, La Découverte.
SOUZA, M. A. De, (1996) "Reflexión sobre la metrópoli global", En Anales de Geografía de la Universidad Complutense, N°16, Madrid, Universidad Complutense, pp. 49-62.
STEINMETZ, Erika, ICELAND, John (2003) "Racial and Ethnic Residential Housing Patterns in Places: 2000".Paper presented at the annual meetings of the Population Association of America, Minneapolis, Minnesota, May 1-3.
TRIVELLI, Pablo. (1981). Elementos teóricos par el análisis de una nueva política de desarrollo urbano: Santiago de Chile, En Revista Interamericana de Planificación, Sociedad Interamericana de Planificación, México.
VAPÑARSKY, César, GOROJOVSKY, Néstor (1990), El crecimiento urbano en la Argentina. IIED- Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires.
WEINBERG, ICELAND, AND STEINMETZ, Measurement of Segregation by the U.S. Bureau of the Census in Racial and Ethnic Residential Segregation in the United States: 1980-2000. (En línea) www.centerforurbanstudies.com/.../racial_and_ethnic_housing_patterns.pdf. Acceso: Enero 2011.
YUJNOVSKY, Oscar, (1984) Claves políticas del problema habitacional Argentino 1955-1981, Buenos Aires, GEL.

ANÁLISE MORFOLÓGICA SOBRE A INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE TRANSPORTE NA ACESSIBILIDADE URBANA

RESUMO

O estudo sobre acessibilidade, nos últimos cinqüenta anos, tem sido um importante instrumento para o planejamento territorial, urbano e de transporte. Este trabalho tem como objetivo identificar e avaliar o impacto do sistema transportes e da infra-estrutura urbana sobre a acessibilidade e associar com as principais tipologias urbanas, com base em uma abordagem sistêmica e sob a ótica da morfologia urbana, utilizando modelagem por meio de simulação computacional. Foram realizados experimentos em modelos analíticos construídos a partir de modelos teóricos (conceituais) e de malhas viárias de cidades reais, representantes tipologias urbano xadrez, radial, linear e espontânea, obtendo resultados comparativos sobre a influência dos sistemas de transportes na acessibilidade para as tipologias urbanas testadas.

Palavras chave: acessibilidade urbana, transporte e morfologia urbana.

MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TRANSPORT SYSTEM IN URBAN ACCESSIBILITY

ABSTRACT

In the last fifty years, the study of accessibility has been an important tool for territorial, urban and transport planning. This study aims to identify and assess the impact of transport systems and urban infrastructure on urban accessibility, and also evaluate the correlations with the main urban typologies, based on a systemic approach and in the perspective of urban morphology using configurational analysis tools, such as modeling through computer simulation. Experiments were performed on analytical models constructed based on theoretical models (conceptual) and street networks of real cities, representatives of various urban typologies (grid, radial, linear and spontaneous), in order to compare results of the influence of transport systems in the accessibility of the various urban typologies that were tested.

Key words: *urban accessibility, transport and urban morphology.*

Krüger[1], Evaldo Tavares; Polidori[2], Dr. Maurício Couto; Dra. Faria[3], Ana Paula Neto; Stone4, Bruno Cardozo. [1] Secretaria Municipal de Transporte e Trânsito; 2,3e 4 Universidade Federal de Pelotas. 1Rua Conde Porto Alegre, 326. CEP 96010-290. Pelotas, RS, Brasil. 2,3,4 Rua Benjamim Constant,1345. CEP 96010-020. Pelotas, RS, Brasil. 1 rottakruger@ibest.com.br; 2 mauricio.polidori@terra.com.br; 3 apnfaria@gmail.com; 4 brnostone@gmail.com.

Introdução

A constante expansão das cidades, especialmente a dos países em desenvolvimento, tem se caracterizado por uma ordenação territorial que tem gerado espaços urbanos de grande estratificação social, econômica e ambiental. As dificuldades na gestão do crescimento urbano e a falta de instrumentos eficazes de planejamento associados à crescente oferta e demanda de bens e serviços têm colocado como ponto central, entre os problemas urbanos, as questões de transporte.

A necessidade de acesso das pessoas a atividades como lazer, trabalho, bens e serviços (transporte de pessoas) e o de abastecimento das atividades, como comércio e indústria (transporte de cargas), tem gerado aumento da demanda por viagens inter e intra-urbanas. A conjunção de fatores como crescimento urbano e a dificuldade de gestão da circulação quando confrontados com a crescente necessidade por deslocamentos fazem da acessibilidade um componente fundamental para o equacionamento dos problemas urbanos.

A compreensão sobre acessibilidade tem sido um importante avanço da pesquisa para o planejamento territorial, no entanto, não existe uma delimitação clara de seu conceito. Há muitas variantes sobre os fatores que condicionam ou determinam o conceito de acessibilidade. Mas diversos pesquisadores concordam que a acessibilidade é uma combinação do sistema de transporte e dos padrões de uso do solo.

Dentro deste enfoque é que se insere este trabalho que tem como objetivo associar sistema de transporte, acessibilidade e formas de traçados viários urbanos buscando semelhanças e diferenças. Para isto propõe-se: a) elaborar conceito e medida de acessibilidade adequada ao seu objetivo, ou seja, capaz de avaliar os efeitos da interação entre acessibilidade, sistema de transporte e a forma urbana; b) identificar as principais famílias de traçado urbano; c) desenvolver método para construção de modelos analíticos para ambiente computacional; d) selecionar e adequar software para efetuar simulação de análise espacial com base em modelos base morfológica e que opere como um sistema de informações geográficas - SIG; e) realizar simulações, em ambiente computacional, do efeito do sistema de transportes sobre os modelos representantes das diferentes tipologias de traçado urbano; e f) analisar comparativamente o efeito do sistema de transporte, sobre a acessibilidade para as diferentes tipologias.

Como metodologia o presente trabalho possui uma abordagem sistêmica do fenômeno urbano, sob a ótica da morfologia urbana e se utiliza de instrumentos da análise configuracional, como modelagem dentro do ambiente de simulação computacional. Para tanto se considera que *modelo* deva ser entendido como em Echenique (1975, 13) "Não basta só conceber a cidade como sistema; é necessário, porém, representá-la. Toda representação é um modelo e o objetivo deste é promover um quadro simplificado e inteligível da realidade, com o fim de compreendê-la melhor" e *sistema*, como expressa em Bertalanffy (1968, 62), é "um conjunto de elementos ou partes interconectados".

O trabalho está estruturado da seguinte forma: 1. Introdução; 2. Revisão bibliográfica - conceito e medidas de acessibilidade; 3. Método e materiais - descreve o método geral, conceito e medida de acessibilidade utilizada, seleção das tipologias urbanas, parâmetros do sistema de transporte, descrição do software utilizado e construção dos modelos analíticos; 4. Simulações com os modelos analíticos; 5. Análise dos resultados; 6. Conclusões e considerações e por fim bibliografia, tabelas e figuras.

Conceito de acessibilidade

O conceito de acessibilidade não é recente. Em 1826, Von Thünen aborda aspectos relacionados a modelos teóricos de processos espaciais envolvendo acessibilidade. Desde então o conceito de acessibilidade tem sido utilizado em diversos campos de estudo. O termo acessibilidade é freqüentemente utilizado na geografia humana, em planejamento territorial e urbano e na área de transportes, sendo uma das medidas mais utilizadas para avaliar a qualidade do serviço. A acessibilidade é um conceito que se tornou fundamental para o planejamento físico territorial.

O conceito de acessibilidade tem sido desenvolvido e expresso em indicadores mensuráveis, em paralelo com o conceito de mobilidade. Enquanto mobilidade tem seu foco no desempenho dos sistemas de transporte, acessibilidade tem na interação dos sistemas de transportes e padrões de uso da terra. Bhat *et al.* (2000) credita a Hansen (1959) o primeiro trabalho significativo sobre esse tema. Medidas de acessibilidade-são capazes de avaliar os efeitos da interação entre infra-estrutura de transporte e participação modal, por um lado, e da forma urbana e a distribuição espacial das atividades, por outro. Algumas medidas também incluem outros determinantes como os comportamentais. Litman (2003) aponta que o planejamento do tráfego e da mobilidade tem tradicionalmente se preocupado principalmente com a circulação de veículos automotores (tráfego) ou pessoas e bens em geral (mobilidade), enquanto a acessibilidade assume explicitamente a conexão entre uso do solo e transportes. Geurs e van Eck (2001, 36) definem acessibilidade como: "*sistemas de transporte e uso do solo permitem que pessoas ou mercadorias possam alcançar destinos ou atividades por meio de um modo ou combinação de modos de transporte*". Bhat *et al.* (2000,1) usam a seguinte definição: "*A acessibilidade é uma medida da facilidade de um indivíduo para exercer um tipo de atividade desejada, em um local desejado, por um modo desejado, e em um tempo desejado* ". Ambos os autores fazem referência específica ao uso da terra e dos transportes, caracterizando assim que a acessibilidade está intrinsecamente ligada a infra-estruturas de transporte e aos padrões de urbanização.

Para Geurs e van Eck (2001), a compreensão da acessibilidade consiste em quatro componentes:

a) *o componente transporte* que está preocupado com medidas tais como o percurso, custo, tempo e o esforço do movimento no espaço;
b) *o componente uso do solo* que mede a distribuição espacial das atividades ou das oportunidades, e contém uma avaliação da natureza competitiva de oferta e procura entre atividades ou destinos e os usuários potenciais;
c) *o componente temporal* que analisa as limitações de tempo, a experiência dos usuários para os seus padrões de atividade, e a disponibilidade de atividades ou oportunidades de acordo com a época do dia, semana ou ano;
d) *o componente individual* que investiga as necessidades, habilidades e possibilidades dos usuários de transporte, portanto, leva em consideração fatores sócio-econômicos e demográficos.
Tanto Bhat *et al.* (2000) quanto Geurs e van Eck e (2001) identificam vários tipos de medidas acessibilidade, e discutem a classificação adequada e as limitações da suas aplicações. Acessibilidade é um conceito de muitas interfaces, não existindo um conceito ou medida abrangente, universal, capaz de atender todas as necessidades. Litman (2003, 32) afirma, "não há uma única maneira para medir o desempenho de transporte que seja simultaneamente conveniente e abrangente". No entanto, alguns pesquisadores têm proposto critérios básicos que devem ser apresentados por qualquer medida de acessibilidade como, por exemplo, o trabalho de Weibull (1976). Geurs e van

Wee (2004, 130) produziram uma lista de recomendações que toda medida de acessibilidade deve conter, independentemente de sua perspectiva ou combinações de uso:
a) A acessibilidade deve estar relacionada às alterações nas viagens e oportunidades, nas suas qualidades e impedimentos: Se o nível de serviço (tempo de viagem, custo, esforço) de qualquer modo de transporte em uma área aumenta (ou diminui), acessibilidade deve aumentar (ou diminuir) para qualquer atividade nessa área, ou a partir de qualquer ponto dentro desse domínio.

b) A acessibilidade deve estar relacionada às mudanças no uso do solo: Se o número de oportunidades aumenta (ou diminui) para uma atividade em qualquer lugar, a acessibilidade a essa atividade deve aumentar (ou diminuir) a partir de qualquer lugar.

c) A acessibilidade deve estar relacionada a mudanças nas restrições sobre a demanda de atividades: Se a demanda por oportunidades para uma atividade com certa capacidade de restrição aumentar (ou diminuir), a acessibilidade a esta atividade deve diminuir (ou aumentar).

d) A acessibilidade deve estar relacionada com as possibilidades e limitações pessoais: Um aumento do número de oportunidades para uma atividade em qualquer local não deve alterar a acessibilidade a essa atividade para um individuo (ou grupo de indivíduos) incapaz de participar da referida atividade.

e) A acessibilidade deve estar relacionada com o acesso das pessoas a viagens e oportunidades do uso do solo: As melhorias em um modo de transporte ou um aumento do número de oportunidades para uma atividade não deve alterar a acessibilidade a qualquer indivíduo (ou grupos de indivíduos) com as habilidades ou capacidades insuficientes (por exemplo, carteira de motorista ou nível de educação) para usar esse modo ou participar da atividade.

Indicadores de acessibilidade

Há uma variedade de abordagens metodológicas com o fim de sistematizar as medidas de acessibilidade, sendo que os trabalhos de Bhat *et al.* (2000) e Geurs e van Eck (2001) aparecem como particularmente relevantes neste sentido. A classificação a seguir apresentada tem como base os dois trabalhos.

Medida de separação espacial

O modelo de separação espacial identificado por Bhat *et al.* (2000) pode ser comparado à medida de medida infra-estrutura de Geurs e van Eck (2001). Ela é uma medida, que em principio só usa a distância física da infra-estrutura como elementos de entrada, portanto, adequada para a análise de estruturas em rede (Leake e Huzayyin, 1979). É fácil de entender e calcular e requer o mínimo de obtenção de dados de entrada. No entanto, não há referência a padrões de uso do solo, a distribuição espacial das oportunidades ou restrições na rede com relação á velocidade das viagens ou outras fontes de resistência. A crítica às medidas de separação espacial é que estas não levam em consideração aspectos de comportamento humano e de opções de viagens, a variável atração espacial das atividades e o valor da variável tempo para diferentes grupos de viagem (Baradaran & Ramjerdi, 2001).

A separação entre as localidades não precisa ser medida somente pela distância geográfica, em vez disso, outras categorias de viagens como o custo ou impedimentos podem ser empregados. Exemplos: incluir o tempo de viagem, custo do transporte, confiabilidade das viagens, freqüência das viagens, ou uma combinação de características (Baradaran e Ramjerdi, 2001). Scheurer e Porta (2006) apontam que a análise

da acessibilidade aos transportes públicos em particular, não é bem servida por uma medida do custo de viagem quando avaliada com base na distância física, pois o tempo de viagem e o custo raramente são proporcionais à distância em redes de transportes públicos.

Medida de oportunidade cumulativa

A medida de contorno, na terminologia de Geurs e van Eck (2001), ou de oportunidade cumulativa, no modelo de Bhat *et al*. (2000), é a medida mais simples de acessibilidade que leva em consideração tanto a distância como o objetivo de uma viagem. Essa medida define um limite de tempo de viagem ou distância e usa o número de atividades potencialmente possíveis de ser atingidas dentro desse limite como a acessibilidade para aquela unidade espacial. Muitas vezes, a variação do tempo ou aumento das distâncias é usada para criar um mapa isocrônico (Hanson, 1986). Esta abordagem incorpora padrões de uso da terra, bem como restrições de infra-estrutura.

Versões mais complexas dessa medida começam a se assemelhar às medidas do tipo gravitacionais, quando as atrações são ponderadas por um valor em relação ao transporte.

A principal crítica sobre a medida cumulativa de oportunidades é que ela não inclui variável comportamental e quanto às oportunidades, trata de forma igualitária as que estão perto e longe, não incluindo um fator ponderador em função da distância.

Medida de interação espacial (gravitacional)

O modelo gravitacional na classificação de Bhat *et al*. (2000), é algo relacionado a medidas de acessibilidade potencial discutidas por Geurs e van Eck (2001). A medida gravitacional inclui um fator de atração, bem como um fator de separação. Enquanto a medida cumulativa de oportunidades considera as atrações e usa uma medida discreta para o tempo ou distância, as medidas gravitacionais utilizam uma medida contínua para reduzir as oportunidades, que vai aumentando com o tempo ou a distância da origem. A fórmula geral do modelo tem um fator de atração ponderado pelo tempo de viagem ou pela distância que aumenta de forma exponencial.

Diversos pesquisadores têm buscado a natureza adequada do fator de impedância para a equação de gravidade. Alguns defendem uma forma Gaussiana onde os valores seriam maiores quando mais próximo das atrações e depois decresceriam com a distância ou tempo. Procurando uma forma e valor adequado para a impedância, muitos pesquisadores acham apropriado ter valores de parâmetro diferentes para diferentes tipos de atrações.

Vários pesquisadores criticam as medidas de acessibilidade gravitacional por não refletir adequadamente a acessibilidade. Uma das críticas é que muitas medidas atribuem o mesmo nível de acessibilidade a todos os indivíduos em uma zona (Ben-akiva, 1979). O modelo ainda trata todos os usuários dos transportes dentro da área de estudo de forma igual e despreza as variações nas preferências individuais em relação à conveniência de atividades (Baradaran e Ramjerdi, 2001). Mas isso ocorre com todas as medidas que agregam a nível zonal. A crítica final é que a forma geral do modelo gravitacional implica um *trade-off* entre a atração e a distância. Uma unidade de atração é igual a uma unidade de distância. No entanto, essa crítica é específica para as formas simples de medir a gravidade e não é relevante para as formas gerais da medida (Bhat *et al*. 2000).

Medidas de espaço-tempo

Medidas de espaço-tempo, são discutidas por Bhat *et al*. (2000) e van Eck e Geurs (2001). Os indicadores espaço-temporais tomam como elemento central, na estimativa da acessibilidade, as limitações de tempo das pessoas consideradas na análise potenciais usuárias dos serviços

(Hägerstrand, 1970). A razão para adotar esta abordagem é o entendimento de que os indivíduos têm períodos limitados para realizar atividades específicas (ex. acesso aos serviços). Assim, à medida que o tempo de viagem aumenta o tempo para realizar as atividades diminuem. Por sua vez, a implementação destes projetos ou atividades enfrentam três restrições fundamentais: restrições de capacidade - relacionada às limitações no desempenho humano (por exemplo, as pessoas precisam de tempo para descansar, dormir ou comer) além das diferenças entre os indivíduos (por exemplo, jovem, adulto e idoso); restrições de sincronização - são as necessidades das pessoas de estar num um lugar específico num determinado momento (por exemplo, no trabalho); e restrições de autoridade - que são derivadas de força legal, que impedem o movimento ou atividades (ex. condições de acesso a serviços ou regras de conduta).

A principal crítica à abordagem espaço-temporal é que ela requer uma abordagem quase individualizada, tornando difícil a aplicação e análise a nível global (grupos, áreas dentro das cidades, cidades, regiões metropolitanas); portanto, a maioria das análises empíricas com base nesta abordagem são ilustrativas e se limitam a uma micro-escala, para curto prazo e essencialmente individual (Bath et al. 2000).

Medidas de utilidade

Medida de utilidade é um método para estimar a acessibilidade baseado no conceito de utilidade derivado da micro-economia. Este tipo de medida é baseado na utilidade percebida por um indivíduo para diferentes opções de viagem. Ou seja, a acessibilidade para um individuo é definida como o valor esperado de utilidade máxima entre todas as alternativas de destino para um grupo de opções. Os indicadores de utilidade têm gerado muito interesse na comunidade acadêmica, especialmente entre os especialistas em transporte (Bath *et al*., 2000).

A principal crítica a esse tipo de indicador é que nem todos os destinos estão disponíveis para todos os indivíduos, fator que normalmente não integra as restrições sobre a escolha dos destinos, e que resultados são obtidos a partir do comportamento observado dos usuários (que podem estar sujeitos a muitas limitações) e não refletem claramente os benefícios de aumentar as opções de destinos (Bath *et al*., 2000).

Entre as medidas apresentadas, a de separação espacial, é a que mais se aproxima da medida de acessibilidade utilizada neste trabalho, para tanto deverá ser adequada e somado ao seu conceito especificidades atinentes ao trabalho apresentadas no desenvolver deste.

Método e materiais

O método para abordagem do problema desenvolve-se basicamente através das etapas a seguir descritas:

a) Identificação, seleção e construção do conceito de acessibilidade; num segundo momento, a evolução deste conceito com incorporação das características do sistema de transportes.

b) Identificação das principais tipologias urbanas e seleção de modelos teóricos e de cidades reais representantes conceitualmente da sua classe tipológica.

c) Elaboração de sistemática para simular o efeito de diferenciação do desempenho das vias quanto à capacidade de transporte.

d) Seleção do software computacional, baseado na teoria de grafos, capaz: de implementar o conceito de acessibilidade selecionado, de incorporar as medidas selecionadas relativas ao impacto ou efeito do transporte sobre a acessibilidade e que possua entrada e saída de dados na forma numérica e representação espacial gráfica.

a. Desenvolvimento de modelos urbanos analíticos construídos com base nos modelos teóricos e reais representantes de cada tipologia identificada e que sintetizem as características urbanas da classe tipológica a qual representam.

b. Simulação e avaliação, nos diversos modelos, do impacto do sistema de transporte sobre a acessibilidade e as distinções e correlações sobre as principais tipologias.

Medida de acessibilidade utilizada

Como o objetivo deste trabalho é a análise do impacto do sistema de transporte sobre as tipologias urbanas, a partir da compreensão sistêmica das cidades onde as vias são conexões entre as partes do sistema, as diversas áreas urbanas, a medida de acessibilidade construída e utilizada nas simulações assemelha-se a de separação espacial onde a informação primária é distância, portanto é uma medida de acessibilidade geométrica. No entanto, o sistema de transporte não é entendido como uma impedância, como na maioria dos estudos na área de transporte, e sim como um elemento que qualifica as conexões. Vias com melhor sistema de transporte são conexões mais eficientes, portanto melhoram a interconexão entre as partes, enquanto que vias com pior sistema de transporte, naturalmente relativo ao mesmo sistema urbano, são conexões menos eficientes. Assim, entende-se o sistema viário como um conjunto de conexões com diferentes graus de eficiência. O modelo para verificação dos índices de acessibilidade geométrica é concebido como diferenciação espacial baseado em conectividades e distâncias entre espaços urbanos. Pode ser definido pelos seguintes enunciados:

a) $A_{Ii} = [mín]d_{pq}^{-1}$

onde a acessibilidade da entidade i na interação I é igual ao inverso da mínima distância entre as entidades p e q, sendo AIi a acessibilidade da entidade i na interação I e $[mín]d_{pq}^{-1}$ a mínima distância entre as entidades p e q e

b) $A_{Ai} = \sum_{i-1}^{ij} A_{Ii}$

Onde a acessibilidade da entidade i é igual ao somatório das acessibilidades da entidade i em todas as interações I, de i a j, sendo o primeiro i igual a 1, e A_{Ai} a acessibilidade da entidade i e A_{Ii} a acessibilidade da entidade i na interação I.
O conceito de acessibilidade adotado, por ter como finalidade analisar o efeito das conexões sobre a forma, agrega os componentes traçado viário e transporte e implicitamente o temporal, no entanto desconsidera o efeito da atratividade e o componente individual.

Tipologias urbanas

A identificação das tipologias de traçados viários foi feita através de análise sucinta, por períodos históricos, da origem ou evolução das cidades, procurando identificar e agrupar por similaridade os diversos padrões, naquilo que possuem de comuns. A revisão foi desenvolvida utilizando como princípio classificação previamente definida para os traçados viários, que são: regular e espontâneo e como subdivisão para os traçados regulares quadriculados, radiais e lineares resultando na classificação: xadrez, radial, linear e espontânea, utilizada para seleção dos modelos teóricos, modelos reais e desenvolvimento dos modelos analíticos. O desenvolvimento das primeiras civilizações urbanas que ocorreram entre a região mediterrânea e o golfo pérsico entre os anos de 3500 a 1500 a.C. (Mesopotâmia, Egito, Grécia, Síria) apresentavam um padrão urbano irregular, livre, espontâneo, como exemplo as cidades de Arbela (Arbil) no Iraque, Atenas, Bizâncio/Constantinopla (Istambul).

No primeiro milênio a.C. aparecem regras urbanísticas para construção de cidades e o surgimento de novas cidades com padrões urbanos regulares tanto no oriente (China, Índia, Indochina), por exemplo, a cidade de Pequim ou cidades como Kyoto e Nara fundadas no primeiro milênio d.C. como no ocidente. Neste período, cidades Gregas e Romanas são fundadas como as cidades de Mileto, Rhodes e Nápoles, Pompéia. Tanto as cidades orientais como ocidentais são construídas a partir de regras urbanísticas próprias e reproduz como base o padrão urbano xadrez. A partir do século VII, com a queda do império romano e com expansão da civilização islâmica, várias cidades são fundadas ou adaptadas entre o atlântico e a Índia com padrões das cidades muçulmanas, dentro de um padrão irregular, com ruas estreitas e labirínticas. No entanto a construção de Bagdá, 762 d.C. apresenta uma forma circular, regular. Do século VIII ao XII o oriente médio e a região do mediterrâneo tornam-se o centro do comercio entre a Europa, Ásia e África. Neste período desenvolvem-se grandes cidades muçulmanas na região assim são fundadas cidades na Europa, como Toledo, granada entre outras. No período medieval, depois do ano mil, começa o renascimento econômico da Europa com grande aumento da população, a cultura medieval tende a não estabelecer padrões formais e as cidades adaptam-se livremente, mas possuem uma rede viária menos irregular e mais ampla que a muçulmana. As principais cidades europeias expandem-se. Mas neste período produzem-se também algumas cidades francesas e inglesas com geometria regular, dentro do padrão xadrez.

No renascimento tem inicio da à expansão mundial da civilização europeia. As construções de cidades em colônias são mais representativas do que em solo europeu. No século XVI, as cidades foram implantadas na América Central e Meridional no padrão tabuleiro, xadrez. As cidades coloniais americanas são as realizações urbanísticas mais importantes do século. O modelo em tabuleiro para traçar as cidades é aplicado pelos franceses e ingleses no século XVII e XVIII na América Setentrional e Norte, como exemplos têm as cidades de Filadélfia e Nova York.

Depois da metade do século XVIII, a revolução industrial na Inglaterra traz grande desenvolvimento na Europa e em todo mundo com grande aumento da população urbana e geração de espaços urbanos caóticos. Na busca de soluções para o problema geram-se uma série de propostas e alternativas teóricas e práticas. Entre as alternativas surgem propostas como de Haussmann para Paris com grandes avenidas radiais sobre a cidade medieval. O modelo radial é aplicado em outras cidades no mesmo período.

No Século XX, o movimento moderno trás a busca de um novo modelo de cidade, alternativo a cidade tradicional, a cidade racional, eficiente, lógica. Surgem alternativas como a cidade jardim, de Howard, no inicio do século com padrão radial e a partir da segunda década surgem princípios como propostos por Le Corbusier, grupo MARS, que resultam em padrões urbanos lineares/raiz, padrão bastante utilizado na expansão de cidades ou na produção de novas cidades como Brasília no Brasil e Chandigard na Índia.A cidade contemporânea não possui um padrão tipológico urbano novo, caracterizando-se pelo uso misto das tipologias identificadas conforme interesse político, econômico ou social ou mesmo cultural.

Parâmetros sobre serviços de transporte e infra-estrutura viária

Com o fim de simular o efeito do sistema de transporte sobre os modelos analíticos de forma equânime e estabelecer efeito comparativo sobre as tipologias de traçado viário, está estabelecido neste trabalho como critério quatro níveis de desempenho viário quanto à capacidade transporte para classificação das vias. Assim resultando em vias do tipo um, dois, três e quatro com os coeficientes: 0,10 - 0,20 - 0,30 e 1,00 respectivamente.

Software

- M*orphometrics*, software selecionado para efetuar as simulações, é um software computacional de análise espacial baseado em modelos configuracionais urbanos de base morfológica, desenvolvido em parceria do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (PROGRAU/UFPel) com o Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PROPUR/UFRGS).

O programa *Morphométrics* opera como um sistema de informações geográficas - SIG simplificado, trabalhando simultaneamente com dois tipos de informações: dados espaciais, em ambiente vetorial e dados tabulares, contendo bancos de dados sobre o ambiente em estudo. Os dados espaciais representam o sistema de espaços interconectados da cidade, normalmente referido às ruas urbanas; os dados tabulares especificam geométrica e topologicamente as informações espaciais, bem como conferem ao espaço atributos qualitativos e quantitativos. Uma vez disponíveis esses dados, o programa permite a aplicação dos modelos de Acessibilidade, Centralidade e Desempenho.

Para elaboração deste trabalho foi adicionado um módulo para simular o efeito dos transportes onde, em caso realístico, é possível qualificar as vias a partir das modalidades de transporte existentes em cada via e da qualificação da infra-estrutura viária. No caso deste estudo, por tratar-se de análise sobre modelos analíticos, foi adotado para qualificação do sistema de transporte um modelo simplificado, explicitado no item anterior.

Modelos analíticos

Para o desenvolvimento dos modelos analíticos foram adotados princípios construtivos, a seguir descritos, com o objetivo de possibilitar comparações entre tipologias urbanas analisadas e para que traduzissem as características dos modelos teóricos e das cidades reais que representam.

O diagrama da lógica construtiva e relacional entre os modelos está apresentado na Figura 4-29.

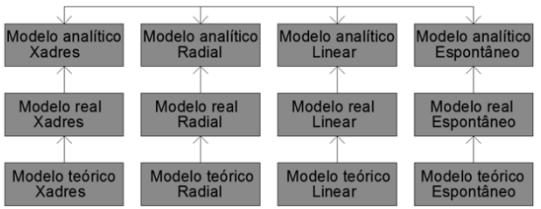


Figura 4-29. Diagrama da lógica construtiva e relacional dos modelos analíticos

Para fim deste trabalho se considera modelo analítico a representação gráfica bidimensional de uma tipologia urbana; modelo teórico a representação gráfica bidimensional conceitual de uma configuração urbana e modelo real a representação gráfica de uma cidade real representante de uma tipologia urbana.

Princípios construtivos dos modelos analíticos

Os modelos foram representados através de sistemas de eixos seguindo a lógica da teoria de grafos, e possuem correlação quantitativa entre eles com o fim de permitir comparações e correlações entre os elementos testados e as diversas tipologias.

Princípios construtivos:

a) Similaridade do padrão. Representa a identidade configuracional, as relações geométricas características das tipologias.

b) Granulometria do padrão. Expressa o tamanho, as dimensões do padrão urbano, traduzida no modelo através das dimensões das "quadras" e conseqüentemente expressa à densidade viária (extensão viária relacionada com área urbana).

c) Distribuição similar dos índices de acessibilidade. Os modelos foram desenvolvidos e compatibilizados para possuírem uma distribuição dos índices de acessibilidade semelhantes aos modelos teóricos e reais de sua classe tipológica.

d) Proporcionalidade de área entre modelos. Os modelos abrangem áreas físicas iguais ou proporcionais. Os modelos xadrez, radial e espontâneo abrangem área igual a 1.000.000 m², valor resultante da aproximação das áreas dos planos para implantação de cidades espanholas na América latina, de cidades medievais e do modelo radial teórico adotado. Para o modelo linear em função das proporções entre comprimento, largura e dimensões de quadra foi necessário abranger uma área maior, de 3.500.000 m², três vezes maior que os demais modelos.

Modelos teóricos e reais

Foram selecionadas como modelos teóricos por representar conceitualmente as tipologias: Xadrez, o plano de implantação da cidade de Mendoza (Argentina); Radial, o modelo de cidade Jardim do Howard; Linear, a cidade linear de Soria y Mata (1894), e Espontânea, a cidade medieval, o centro histórico de Toledo, Espanha.

Para representar os modelos reais foram selecionadas cidades na qual suas características predominantes se assemelham com os modelos conceituais, sendo selecionadas para as tipologias: Xadrez, a cidade de Balcarce, Argentina; Radial, Plano da Cidade de Goiânia, Brasil; Linear, a península residencial norte da Cidade de Brasília, Brasil e Espontânea, a cidade medieval, o centro histórico de Milão, Itália.

Representação gráfica dos modelos analíticos para as tipologias xadrez, radial, linear e espontânea (Figura 4-30)

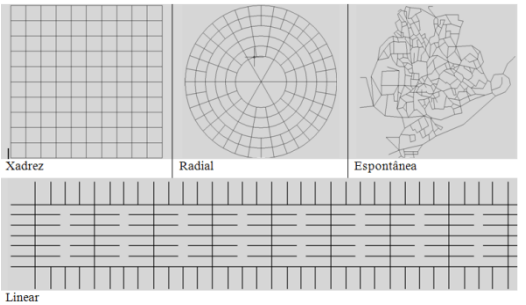


Figura 4-30. Modelos analíticos para as tipologias xadrez, radial, linear e espontânea

Para modelo analítico da tipologia espontânea foi utilizada a cidade medieval de Toledo, área histórica, Espanha.

Simulações

As simulações foram realizadas sobre os modelos analíticos das principais tipologias urbanas: xadrez, radial, linear e espontânea. Foram executadas simulações para acessibilidade geométrica. Os índices de acessibilidades resultantes e IDs (entidades para o qual foram calculados os índices de acessibilidade) foram classificados através do método estatístico *natural breaks* em quatro classes e identificados nos mapas e legendas por cores: azul para classe um, com menores índices, vermelho para classe quatro, com os maiores índices e cores intermediárias entre o azul e o vermelho para as classes dois e três. O método de otimização de Jenks, também chamado de Natural Breaks, é um método de classificação de dados concebido para determinar o melhor arranjo de valores em diferentes classes.

Tabela 4-14. Tipologias para as simulações A-01, A-02 e A-03 da variação percentual entre as classes relativo aos índices de acessibilidades

Classes	A-01				A-02				A-03			
	X	R	L	E	X	R	L	E	X	R	L	E
1	26,6	1,8	16,7	34,0	23,8	18,9	17,9	33,7	22,8	14,2	17,0	17,7
2	23,5	49,9	24,4	20,0	21,9	29,0	19,6	19,6	19,5	22,8	31,5	13,0
3	24,1	25,3	20,1	17,1	21,7	15,9	22,7	17,0	23,7	23,9	27,1	14,3
4	25,9	23,1	38,9	29,0	32,5	36,2	39,8	29,8	34,0	39,1	24,3	55,0

X- Xadrez, R- Radial, L- linear e E- Espontâneo.

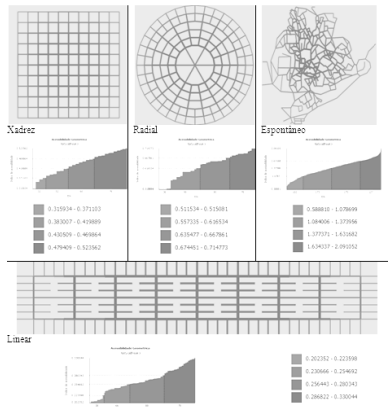


Figura 4-31. Simulação A-01- Acessibilidade sem impacto dos meios de transporte para as tipologias

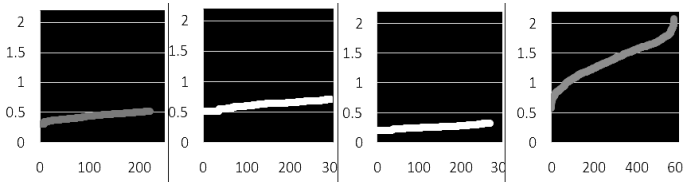


Figura 4-32.Curvas dos índices de acessibilidades entre as tipologias para simulações A-01

Tabela 4-15. variação entre classes (%) en números de Ids entre as tipologias, simulações A-01, A-02 e A-03

Classes	A-01				A-02				A-03			
	X	R	L	E	X	R	L	E	X	R	L	E
1	14,6	12,2	14,1	18,5	25,5	18,4	14,8	21,1	49,1	18,4	31,1	11,4
2	23,6	30,6	24,4	29,9	27,3	26,5	48,1	31,4	32,7	12,2	25,2	31,3
3	27,2	30,6	32,6	29,9	23,6	30,6	21,5	33,2	12,7	36,7	23,7	37,5
4	34,6	26,5	28,9	21,8	23,6	24,5	15,6	14,3	5,4	32,7	20,0	19,8

X- Xadrez, R- Radial, L- linear e E- Espontâneo

Os gráficos apresentam no eixo dos 'X' o número de IDs, ordenados pelos respectivos valores dos índices de acessibilidades, apresentados no eixo dos 'Y' em ordem crescente; eles foram desarrolhados sobre os modelos analíticos três tipos de simulações para verificação do índice de acessibilidade que correspondem a:

a) A-01 – verificação sem impacto dos sistemas de transportes, apresentada nas Tabelas 4-14 e 4-15 e Figuras 4-33 a 4-37;
b) A-02 – verificação com impacto do sistema de transporte "tradicional", buscando reproduzir a prática convencional, onde as vias (IDs) de maior índices de acessibilidade são as que possuem melhores qualidades de infra-estrutura viária e de sistema de transporte, desta forma, foram aplicados os seguintes coeficientes de desempenhos para: classe um -1,00, classe dois - 0,70, classe 3 – 0,40 e classe quatro - 0,10, apresentadas nas Tabelas 4-14 e 4-15 e Figuras 4-33 a 4-37 e
c) A-03 – verificação com impacto do sistema de transporte "não tradicional", buscando reproduzir a prática inversa ao convencional, onde as vias (IDs) de menor índices de acessibilidade são as que possuem melhores qualidades da infra-estrutura viária e de sistemas de transporte, desta forma, foram aplicados os seguintes coeficientes de desempenhos para: classe um - 0,10; classe dois – 0,40; classe 3 – 0,70 e classe quatro 1,00, apresentadas nas Tabelas 4-14 e 4-15 e 4-33 a 4-37.

As avaliações e conclusões estão apresentadas em quatro grupos: 1. simulações A-01. Análise entre tipologias sem impacto do sistema de transporte; 2. simulações A-02. Análise sobre e entre as tipologias com impacto dos sistemas de transporte "tradicional"; 3. simulações A-03. Análise sobre e entre as tipologias com impacto dos sistemas de transportes "não tradicional" e 4- análises comparativas entre os grupos A-01, A-02 e A-03.

Grupo um. Para as simulações A-01 observou-se:

a) com relação às médias dos índices de acessibilidade as tipologias apresentaram a ordenação: Espontânea (1,389), radial (0,626), xadrez (0,442) e Linear(0,265) (Figura 4-32);

b) com relação à variação da amplitude (diferencial entre o maior e menor valor) dos índices de acessibilidade as tipologias apresentaram a ordenação: espontânea (1,48), xadrez e radial (0,20) e linear (0,13) (Figura 4-32);

c) que quanto à amplitude e o valor da média as tipologias apresentaram: espontânea- valores mais expressivos; radial e xadrez - valores intermediários e a linear valores menos expressivos (veja Figura 4-32 e Tabela 4-14);

d) com relação ao percentual do número de IDs por classe que a tipologia xadrez apresentou maior valor para classe 4 (34,55%), de maiores índices de acessibilidades, enquanto que a espontânea maior valor para classe 1 (18,48 %), de menores índices de acessibilidades (veja Figura 4-32 e Tabela 4-15);

e) com relação ao percentual dos valores dos índices de acessibilidade, por classe, que a tipologia linear apresentou o maior valor para classe 4 (38,92 %) - de maiores índices de acessibilidades - enquanto que a espontânea maiores valores para classe 1 - de menores índices de acessibilidades (Figura 4-32 e Tabela 4-14);

f) que a tipologia espontânea apresenta os maiores percentuais para classe 1, tanto para o número de IDs como para os valores dos índices de acessibilidades (Figura 4-32 e Tabela 4-15).

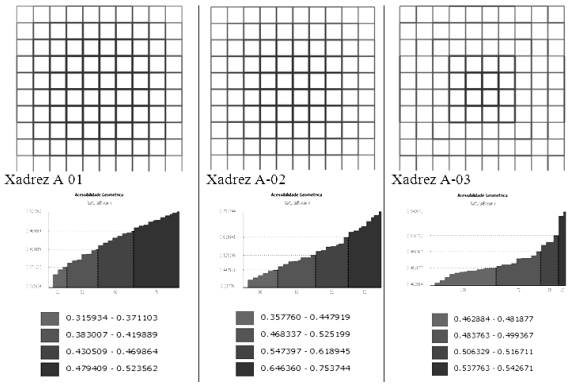


Figura 4-33. Tipologia xadrez. Simulações A-01, A-02 e A-03. Modelo, gráficos e legendas

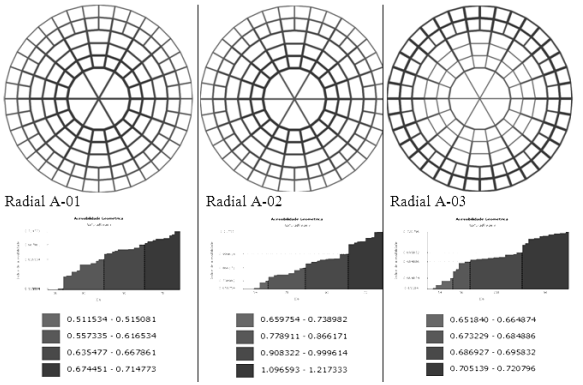


Figura 4-34. Tipologia radial. Simulações A-01, A-02 e A-03. Modelo, gráficos e legendas

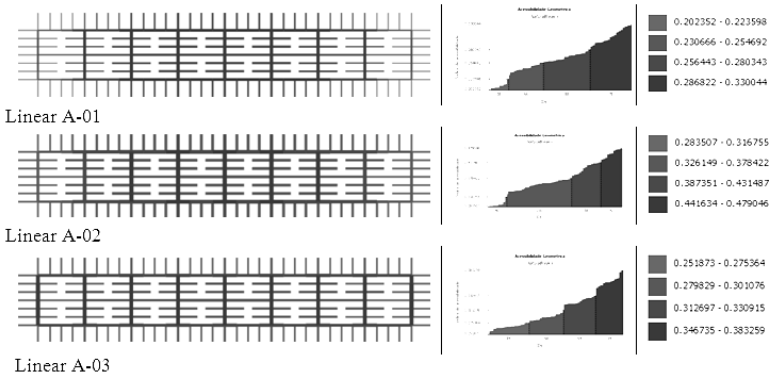


Figura 4-35. Tipologia linear. Simulações A-01, A-02 e A03. Modelo, gráficos e legendas

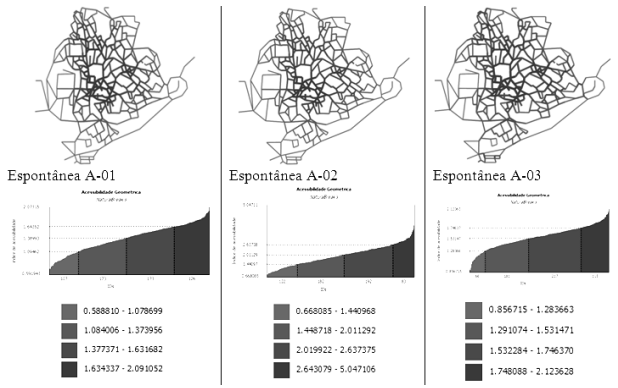
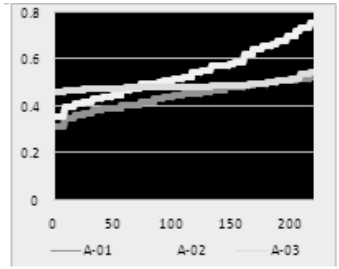
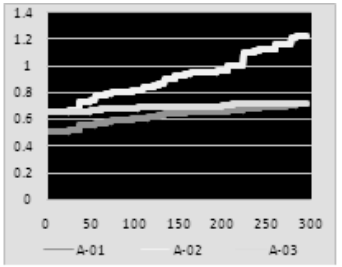


Figura 4-36. Tipologia espontânea. Simulações A-01, A-02 e A-03. Modelo, gráficos e legendas



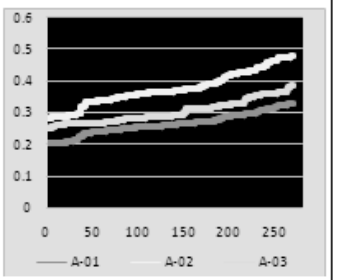
Xadrez

	Média	Amplitude
A-01	0,442	0,20
A-02	0,541	0,39
A-03	0,488	0,08



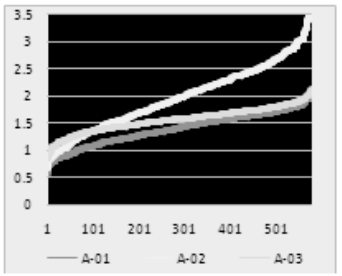
Radial

	Média	Amplitude
A-01	0,626	0,20
A-02	0,915	0,56
A-03	0,691	0,07



Linear

	Média	Amplitude
A-01	0,265	0,13
A-02	0,376	0,20
A-03	0,303	0,13



Espontânea

	Média	Amplitude
A-01	1,389	1,48
A-02	1,979	3,04
A-03	1,559	1,26

Figura 4-37. Gráficos comparativos dos índices de acessibilidade entre tipologias urbanas e impacto do sistema de transporte A-01, A-02 e A-03

Grupo dois. Para as simulações A-02 observou-se:

a) aumento nas médias e nas amplitudes dos índices de acessibilidades para todas as tipologias (Figura 4-33 a 4-37);

b) com relação à variação da média dos índices de acessibilidade que a tipologia xadrez apresentou menor percentual de aumento (22,39 %) enquanto que as tipologias radial, linear e espontânea aumentaram (46,16 %, 41,88 % e 42,47 %) respectivamente (Figura 4-33 a 4-37);

c) com relação à variação da amplitude a tipologia espontânea apresentou a variação mais expressiva (de 1,48 para 3,04) e a linear a mais discreta (de 0,13 para 0,20) (Figura 4-33 a 4-37);

Grupo três. Para as simulações A-03 observou-se:

a) aumento nas médias dos índices de acessibilidades para todas as tipologias, ainda que menores que os apresentados nas simulações A-02 (Figura 4-31, 4-33 a 4-37);

b) redução na amplitude para todas as tipologias, exceto para a linear que manteve o mesmo índice (0,13), sendo que as tipologias xadrez e radial apresentaram as variações mais expressivas (de 0,20 para 0,08 e 0,07 respectivamente). (Figura 4-33 a 4-37);

c) que as tipologias xadrez e espontânea apresentaram para os elementos iniciais (IDs) valores superiores aos das simulações A-01 e A-02 (Figura 4-33 a 4-37);

Grupo quatro. Para análise comparativa entre as simulações A-01, A-02 e A-03 observou-se:

a) que a tipologia linear demonstrou grande insensibilidade às modificações introduzidas pelas simulações A-02 e A-03, principalmente com respeito à amplitude, mantendo sua linha original (A-01) praticamente inalterada. Quanto à variação nos índices de acessibilidade apresentou acréscimos regulares e constantes gerando linhas paralelas a linha de simulação A-01 para simulações A-02 e A-03 (Figura 4-33 a 4-37);

b) que a implementação de melhorias nos sistemas de transportes nas classes com maiores índices de acessibilidade, simulação A-02, trazem maiores acréscimos na média do sistema do que as melhorias nas classes de menores índices de acessibilidade, simulações A-03 (Figura 4-33 a 4-37) e

c) que a implementação de melhorias nos sistemas de transportes nas classes com menores índices de acessibilidade, simulação A-03, trazem maior equidade ao sistema, reduzindo a amplitude entre os índices de acessibilidades (Figura 4-33 a 4-37).

Os resultados das simulações, mesmo considerando características específicas e limitações do estudo, indicam que:

a) As tipologias urbanas possuem diferenças intrínsecas relativas aos seus padrões morfológicos que se expressam também quanto à acessibilidade. Considerando a avaliação A-01, avaliação da acessibilidade sem influência do sistema de transporte, as tipologias apresentaram diferenças para as médias dos índices de acessibilidades e amplitude relativa [1] (Figura 4-32) e para a participação percentual de IDs por classe (Tabela 4-15) e variação percentual dos índices de acessibilidade por classe (Tabela 4-14).

[1] Amplitude relativa é a variação percentual do maior índice de acessibilidade em relação ao menor.

O traçado xadrez apresenta como característica a terceiro valor para média do índice de acessibilidade, e o segundo valor para a variação percentual (67%) para amplitude relativa, ou a segunda maior diferenciação entre áreas periféricas e área central.

O traçado radial apresenta como característica a segunda melhor média do índice de acessibilidade e menor valor para a variação percentual (39%) para amplitude relativa, ou a menor diferenciação entre áreas periféricas e área central.

O traçado linear apresenta como característica a menor média do índice de acessibilidade e o terceiro valor para a variação percentual (65%) para amplitude relativa ou segunda menor diferenciação entre áreas periféricas e área central.

O traçado espontâneo apresenta como característica o melhor índice médio de acessibilidade, no entanto, maior valor (260 %) para amplitude relativa ou a maior diferenciação entre áreas periféricas e área central.

b) A*s tipologias responderam de forma diferente, quanto à análise da acessibilidade, quanto submetida a políticas de transportes semelhantes.* Os padrões tipológicos xadrez e radial apresentaram semelhanças, enquanto que o espontâneo e linear apresentaram maior diferenciação. Considerando as avaliações A-01, A-02 e A-03, se observa que as tipologias xadrez e radial apresentam comportamento semelhante para as simulações A-02 e A-03, quanto à variação da amplitude e distribuição dos aumentos dos índices de acessibilidade, estes apresentados nos gráficos da figura 4-37.

O traçado xadrez apresenta a menor variação no índice médio de acessibilidade, para as simulações A-02 e A-03 (9% e 22%) respectivamente. No entanto apresenta o melhor aumento nos índices de acessibilidades, para simulação A-03, para a classe de menores índices de acessibilidade (figura 4-37), reduzindo consideravelmente a diferenciação entre áreas periféricas (classe de menores índices) e áreas centrais (de maiores índices de acessibilidade).

O traçado radial apresenta maior variação percentual no índice médio de acessibilidade para a simulação A-02 (46%), ou seja, é o traçado que tem maior ganho para o sistema quando otimizado o transporte na área central. Também se observa no traçado radial (figura 4-34) que elementos (IDs) da classe um (de menores índices), quando submetido à simulação A-03, aumentam de valores e passam a compor a classe quatro, característica não apresentada por outros traçados, ou seja, o traçado radial.

O traçado espontâneo apresenta maior sensibilidade às intervenções. Considerando as políticas de transporte A-02 e A-03 se observam que o padrão espontâneo (figura 4-37) apresentou aumento para os índices de acessibilidade para ambas as políticas, mas de forma distinta. Para A-02 houve aumento considerável dos índices de acessibilidade para as classes que já apresentavam maiores índices, acentuando expressivamente a amplitude, ou seja, a diferenciação entre a área central e a área periférica. Enquanto para A-03 houve aumento dos índices de acessibilidade para as classes de menores índices e discreto aumento nos índices da classe de maior índice, reduzindo a amplitude do sistema. Assim, o padrão espontâneo quando submetido à melhoria no sistema de transporte em áreas centrais, de maiores índices acessibilidades, acentua a diferenciação espacial quanto à acessibilidade e quando submetido à melhoria no sistema de transporte em áreas periféricas, de menores índices acessibilidades, atenuam a diferenciação espacial quanto à acessibilidade.

O traçado linear apresenta menor sensibilidade as intervenções. Considerando as políticas de transporte A-02 e A-03 se observa que o padrão linear (figura 4-37) apresentou aumento para os índices de acessibilidade praticamente uniforme, com maior aumento para simulação A-02 do que A-03 e quanto à amplitude manteve praticamente inalterada, com um aumento discreto para simulação A-03. Assim, o padrão linear apresenta resistência na modificação da diferenciação espacial, quanto à acessibilidade, tanto para políticas que otimizem o sistema de transporte em áreas centrais como em áreas periféricas.

Como próximos passos ficam:

a) a continuidade, ou seja, a necessidade de ampliar amostras, aprofundar conceitos e métodos, aperfeiçoar modelos, qualificar *softwares*;

b) a confirmação a realidade - aplicar metodologia a cidades reais, através de estudo de caso, com coeficientes construídos a partir das características do sistema de transporte e da infra-estrutura viária, uma vez que o software permite esta aproximação com a realidade;

c) a prospecção sobre o futuro - simular propostas de modificações na infra-estrutura viária, nos modelos ou políticas de transporte que possibilitem avaliações posteriores.

Referencias Bibliograficas

ALLEN W.B., LIU D. AND SCOTT SINGER S. (1992): Accesibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. Department of Public Policy and Management, The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104-6372, U.S.A.

BARADARAN, S., & RAMJERDI, F. (2001). Performance of accessibilitymeasures in Europe. Journal of Transportation and Statistics.September/December.

BEN-AKIVA, M. e LERMAN, S. (1979): Disaggregate Travel and Mobility Choice Models and Measures of Accessibility Behavioral Travel Modeling, eds. Rensher, D., and Stopher, P., London: Croom Helm, 654-679.

BENEVOLO L. (1982): Diseño de La Ciudad. Editora Gustavo Gili S/A. Barcelona, Espanha.

BERTALANFFY, L. V, (1973): Teoria Geral dos Sistemas. (tradução Francisco M. Guimarães) Petrópolis, Vozes.

BHAT C., HANDY S., KOCKELMAN K., MAHMASSANI H., K, CHEN Q., WESTON L. (2000): Urban Accessibility Index: Literature Review. Center for transportation Research. The University of Texas at Austin.

BHAT C., HANDY S., KOCKELMAN K., MAHMASSANI H., K, CHEN, Q., WESTON, L (2000): Accessibility Measures: Formulation Considerations and Current Applications. Center for transportation Research. The University of Texas at Austin.

BUCKLEY, W. (1976): A sociologia e a moderna teoria dos sistemas. (tradução O.M. Cajado) 2º Ed., São Paulo, Cultrix.

DAVIDSON, K.B. (1977): Accessibility in Transport/land-use Modeling and Assessment. Env. and planning A.V9, h.12, p 1401-1416.

DAVIDSON, K.B. (1991): Accessibility and Isolation in Transportation Network Evaluation. Paper presented a 7th Word conference on transport research. The University of New South Wales. Sidney, Austrália.

CHADWICK, G. F. (1973) Uma Vision Sistemica del Planeamiento. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 283p.

ECHENIQUE, M. (1975) Modelos Matemáticos de la estructura urbana: aplicaciones em América Latina. Ediciones S.I.A.P, Buenos Aires, Argentina.

GEURS, K. T., & VAN ECK, J. R. (2001). Accessibility measures: Review and applications. (National Institute of Public Health and the Environment, RIVM)-Urban Research Centre. Bilthoven/Utrecht, Netherlands: Utrecht University.

GEURS, K. T., & VAN WEE, B. (2004). Accessibility evaluation of land use and transport strategies: Review and research directions. Journal of Transport Geography, 12, 127–140.

HANSON, S. (1986): Dimensions of the Urban Transportation Problem, The Geography of Urban Transportation, ed. Hanson, S., The Guilford Press, New York, 1986. P.3-23.

HAGERSTRAND, T. (1970): What about People in Regional Science? Papers of the Regional Science Association, 14,p. 7-21.

HANSEN W.G. (1959): How Accessibility Shapes Land Use, Journal of the American Planning Association, Volume 25, Issue 2, Pages 73 – 76.

INGRAM, D.R. (1971): The Concept of Accessibility: A search for an operational form. Taylor & Francis, Regional Studies, Volume 5, Issue 2 July 1971, pages 101 – 107. Jan 7, 1971. Copyright © Routledge.1991.

LEAKE, G. R., & HUZAYYIN, A. S. (1979). Accessibility measures and their suitability for use in trip generation models. Traffic Engineering and Control, 20(12), 566–572.

LITMAN, T. (2003): Measuring transportation: Traffic, mobility and accessibility. ITE Journal, 73(10), 28–32.

SCHEURER, J., & PORTA, S. (2006). Centrality and connectivity in public transport networks and their significance for transport sustainability in cities. World Planning Schools Congress.

WEIBULL, J. W. (1976): An Axiomatic Approach to the Measurement of Accessibility, Regional Science and Urban Economics, 6, 357-379.

GEOPROCESSAMENTO NA REQUALIFICAÇÃO URBANA: EVOLUÇÃO E CONTEXTO NO PENSAMENTO URBANO E ESTUDO DE CASO NO HIPERCENTRO DE BELO HORIZONTE-MG, BRASIL

Ana Clara Mourão Moura[1], Bruno Santa Cecília[2], Mateus Moreira Pontes[3]

RESUMO

O artigo visa apresentar uma experiência do novo currículo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, onde o geoprocessamento é explorado segundo metodologias de modelagem e análise de dados espaciais. Desenvolve estudo de caso aplicado ao hipercentro de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. É relatado estudo de caso de emprego da Análise de Multicritérios na identificação e caracterização de áreas de interesse para projetos de requalificação espacial no território. Discute o contexto de desenvolvimento do tema, desde a reflexão sobre a evolução do pensamento urbano até as reflexões das novas lógicas e práticas no planejamento urbano e, sobretudo, como se insere o geo-procesamento e a visão sistêmica favorecida pela análise multicritérios. Apresenta revisões bibliográficas que é base para outros estudos e roteiro metodológico que se aplica ao ensino de diferentes áreas da análise espacial.

Palavras chave: Requalificação urbana, ensino de arquitetura, análise multicritérios, geoprocessamento.

GIS IN URBAN REQUALIFICATION PROCESSES: EVOLUTION AND CONTEXT IN URBAN VALUES AND CASE STUDY OF THE HYPERCENTER OF BELO HORIZONTE-MG, BRAZIL

ABSTRACT

The article presents a new experience of the curriculum of Architecture and Urbanism, UFMG, where GIS is operated according to the methods of modeling and analysis of spatial data. A case study was applied to the area in Belo Horizonte, the capital of Minas Gerais, Brazil. It reports a case study where a Multicriteria Analysis was used to identify and characterize areas of interest for spatial regeneration projects in the territory. It discusses the development context of the subject since the debate on the evolution of urban thought until the reflections of the new logics and practices in urban planning, and especially how it fits into the geo-processing and systemic view favored by the multi-criteria analysis. It also presents literature reviews that are the basis for further studies, and methodological guideline that applies to teaching in different areas of spatial analysis.

Key words: *urban requalification, architecture teaching, multi-criteria analysis, GIS.*

Escola de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba 697, cep 30130-140, Belo Horizonte, MG – Brasil.
1 anaclara@ufmg.br, 2 bruno@arquitetosassociados.arq.br, 3 mateus.pontes@gmail.com

1. Introdução

O novo currículo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG apresenta ênfase em planejamento urbano e questões de interesse social. As geotecnologias e as metodologias de modelagem e análise de dados espaciais estão sendo lecionadas nas oficinas integradas de planejamento arquitetônico e urbano.

No presente trabalho inicialmente é proposta reflexão sobre o estado da arte da inserção do geoprocessamento na evolução do pensamento urbano, justificando os motivos que fazem dos modelos de análise espacial baseados em complexa gama de variáveis representantes dos pensamentos vigentes em análise espacial urbana.

É então desenvolvido estudo de caso no hipercentro de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. A área está em processo de esvaziamento residencial e substituição por atividades de comércio e serviços, que resultam em degradação do espaço no período noturno e transformação do perfil de usuários. É proposto aos alunos o emprego do geoprocessamento como ferramenta para análise espacial para indicar os locais ótimos para intervenções espaciais de requalificação urbana, tais como: áreas ótimas para construção de habitações de interesse social, áreas prioritárias para a requalificação urbana, áreas prioritárias no combate aos riscos de segurança urbana, entre outros.

Para a estruturação do modelo de análise espacial são escolhidas variáveis que respondem pelo fenômeno urbano de interesse e elas são mapeadas e espacializadas como superfícies matriciais. As variáveis são combinadas por análise de multicritérios e o resultado é a classificação de todo o hipercentro segundo os graus de pertinência para a implantação da intervenção escolhida pelos grupos de alunos.

A experiência se mostrou muito rica na obtenção de análises espaciais urbanas que apresentem critérios defensáveis e que forneçam características para elaboração das propostas arquitetônicas de requalificação urbana e arquitetônica construídas pelos alunos. Ela motivou os alunos no uso dos SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) como ferramentas de trabalho para o arquiteto urbanista.

O estudo aborda a questão dos pensamentos vigentes no planejamento urbano hoje, para contextualização tanto da proposta de emprego do geoprocessamento no estudo de caso propriamente dito, assim como para compreensão das lógicas que regem o novo curso de Arquitetura e Urbanismo. Realizado o estudo sobre a evolução do pensamento em planejamento urbano é apresentada a proposta do novo curso de Arquitetura e Urbanismo e a proposta da disciplina na qual foi desenvolvido o estudo de caso em questão. São apresentadas as bases bibliográficas e conceituais do modelo de análise espacial empregado: Análise Multicritérios para construção de síntese de variáveis. Uma vez caracterizado o contexto de desenvolvimento do tema, é apresentada a metodologia de trabalho de emprego do geoprocessamento na análise espacial urbana, são discutidos os resultados obtidos e elaboradas as reflexões sobre a experiência.

2. Estado da arte / antecedentes / revisão bibliográfica

A trajetória da atuação do planejador urbano percorreu etapas em que a elaboração de propostas de novos espaços e as intervenções nos espaços existentes se baseava no ato de desenhar geometricamente no plano físico. Dominava a crença no papel do projeto, que teria o poder de definir, inclusive, o modo de vida dos usuários do espaço urbano. Neste contexto a realidade era vista de modo linear, e eram feitas previsões, resultantes de generalizações, que raramente se concretizavam. Surge, então, a consciência de que a realidade não é linear, mas

absolutamente complexa e resultante da inter-relação de muitas variáveis. Uma conseqüência é o alerta de que, diante da frenética dinâmico espaço - temporal urbanística, não basta desenhar uma proposta para que ela se materialize.

Para se atuar na complexidade e considerar as muitas variáveis, cujas inter-relações que estão em constante mudança, uma ferramenta bastante útil é o Geoprocessamento. Contudo, é fundamental que as rotinas empregadas pela técnica sejam traduções de bases conceituais. Destaca-se o papel dos modelos de análise e o estudo de suas adequações à nova visão de espaço urbano.

De caráter multidisciplinar, o conjunto de procedimentos metodológicos do Geoprocessamento significa uma forma de diálogo entre diferentes visões sobre a análise espacial, pois permite que profissionais de diferentes formações promovam suas representações e interpretações da realidade. Os urbanistas podem contar com uma ferramenta para conjugar seus estudos com as variáveis de outros profissionais, de modo que o resultado é a síntese que caracteriza o universo espacial enfocado.

2.1. Do desenho urbano à abordagem sistêmica de compreensão da complexidade espacial

As manifestações urbanísticas são a espacialização e a materialização de valores culturais e político-econômicos de uma época. As primeiras tentativas de ordenação do espaço urbano atuavam de forma a *desenhar* uma proposta de ocupação espacial, com pensamentos de época manifestados no traço do urbanista ou do responsável pela intervenção. Traçava-se o uso do espaço segundo fatores físicos, considerando os condicionantes da paisagem e a melhor forma de comunicar os valores vigentes.

As cidades barrocas, por exemplo, eram compostas por um conjunto interconectado de eixos divergentes e convergentes, tendo sua estrutura pontuada por centros nodais simbolicamente importantes e visualmente dominantes. Segundo Lynch (1987, p.380), no modelo barroco "um sistema visualmente ordenado pode ser criado em um terreno acidentado, ou em uma cidade de traçado irregular existente." A malha urbana barroca poderia ser obtida pelo roteiro sugerido por pelo autor (op.cit., p.281):

Escolha um conjunto de pontos principais ao longo de um terreno, e estabeleça estruturas simbólicas importantes nestes pontos. Conecte estes eu por vias principais largos o suficiente para comportarem o tráfico arterial, e conformado como alcance visual para os pontos simbólicos ou nós. As laterais dessas ruas devem ser controladas para dar a elas o senso de unidade, através do emprego de paisagismo ou mobiliário especial, assim como as alturas, as fachadas e as restrições de uso. Uma vez feito isto, um arranjo de ruas e edificações menos controladas e de vários tipos podem ocupar o interior dos triângulos entre as ligações das vias arteriais. O modelo é, em sua representação, uma estratégia para a aplicação econômica do poder central. Ele produz forte efeito visual e determina o arranjo espacial para o simbolismo público. Em outras palavras, é um modo útil para se alcançar a sensibilidade, e para a proveitosa separação entre controle público e privado.

O modelo barroco se adaptou perfeitamente às intenções do domínio absolutista no Brasil colonial, e foi a linguagem adotada em cidades como Ouro Preto no estado de Minas Gerais (que data de 1711 e possui arquitetura barroca). Suzy de Mello (1983, p.33) explica o surgimento do urbanismo barroco na Europa como uma proposta que "buscava a integração urbana entre espaços e edificações, criando grandes sistemas viários interligando pontos de especial interesse (monumentos ou edifícios)." O barroco é, para a autora (op.cit., p.13): "A constante unidade como meio de representação formal das duas grandes forças que marcaram sua época: A Contra-Reforma e o Absolutismo que, respectivamente, correspondiam ao poder e à pompa. Assim, a grandiosidade e a magnificência que deveriam simbolizar o domínio dos reis e do catolicismo foram demonstrados com a devida riqueza pelo Barroco que, acima de tudo, valoriza o conjunto da obra artística tanto pela total integração de seus componentes de arquitetura, pintura e escultura quanto pelo seu permanente dinamismo."

Ouro Preto é expressivo exemplo do modelo barroco. A cidade nasceu junto aos locais de exploração mineral, do ouro de aluvião, e se tornou de grande importância para a Coroa. Tendo os portugueses assumido o controle do território, a morfologia barroca se adequou muito bem à modelagem urbana, pois poderia ser empregada em conjuntos já existentes, com a escolha de pontos focais para a instalação de monumentos e criação de eixos expressivos ligando esses pontos. Destaca-se o grande referencial simbólico promovido, pois nos pontos focais, para os quais se dirigiam os principais eixos visuais, foram implantados os principais monumentos da arquitetura institucional e da religiosa.

O emprego da monumentalidade, mas com destaque para as edificações civis (institucionais), em substituição à arquitetura religiosa foi também utilizado por Major Pierre L'Enfant no plano da cidade de Washington (projeto de 1791, inaugurado em 1800), por Baron Haussmann na reforma de Paris (desenvolvida entre 1853 e 1870) e por Aarão Reis no projeto de Belo Horizonte (capital do estado de Minas Gerais, projetada em 1894, inaugurada em 1897). O mais contraditório é que os planos de Washington, a reforma de Paris e o projeto de Belo Horizonte foram concebidos dentro de princípios bastante distintos do barroco: em contraposição aos valores absolutistas de provocar a complexidade de eixos visuais e de promover o desenho barroco na conformação urbana, os novos planos do século XIX objetivavam a materialização da razão: a geometria desenhava o espaço. O ponto comum é a valorização da monumentalidade, obtida pela colocação de espaços e edifícios simbólicos em pontos nodais dos eixos visuais. A grande diferença é que o barroco busca a complexidade; e a nova visão, denominada positivista, busca materializar a razão.

Cidades como Belo Horizonte foram concebidas na época em que três correntes dominavam as discussões filosóficas: o positivismo, o abolicionismo e o republicanismo. Pelos objetivos da república, deveriam ser construídas novas capitais, centralizadas no território, materializando o princípio de federação. Belo Horizonte foi o primeiro exemplo deste objetivo, e o ponto culminante foi a construção de Brasília.

A visão positivista, por sua vez, foi a inserção do pensamento moderno na ordenação urbana, pois a razão e os princípios científicos ditavam o desenho do espaço. As cidades deveriam promover boas condições sanitárias e higiênicas, com eixos de deslocamento claramente traçados, ordenamento hierárquico dos fluxos viários, e distribuição segmentada de usos urbanos. Em Belo Horizonte foi proposto um anel de contorno que demarcaria a ocupação urbana, dentro do qual as grandes avenidas conformam eixos monumentais, com destaque para a Av. Afonso Pena ligando a região do Rio Arrudas com a Serra do Curral (marcos referenciais importantes). Os usos foram claramente distribuídos, com a concentração de área verde (Parque Municipal), atividades administrativas, comerciais e residenciais, chegando ao ponto de diferenciar grupos sociais nos assentamentos (como foi o caso do Bairro dos Funcionários, onde se concentraram servidores públicos).

O plano previa que a cidade chegaria a, no máximo, 200.000 habitantes, e a crença de que bastaria o desenho para definir a ocupação da cidade é fruto do pensamento modernista de que a razão controlaria a dinâmica urbana. Um século depois Belo Horizonte já alojava mais de 10 vezes este número de habitantes.

Lima (1994, p.148) assim define o que foi o projeto de Belo Horizonte e destaca o pensamento vigente do poder do desenho na ordenação espacial: "Uma atualidade que se baseava em uma ordenação geométrica, com um risco controlado no papel e onde os riscos da insalubridade seriam contidos. Cidade higiênica e, por isso, bela. Cidade vergel, acúmulo de pensamentos e práticas urbanísticas, prestes a acontecer, a um passo da modernidade."

No barroco e no positivismo, o modo de atuar do planejador urbano reflete a postura de que o desenho teria o poder de definir o *modus vivendi*, e que bastaria a visão do projetista para que fossem materializados os valores de época. Estes conceitos no urbanismo são válidos até meados do século XX e têm seu ápice no denominado "Movimento Moderno", intimamente relacionado à figura de Le Corbusier (1887 - 1965). A proposta tem como ícone a cidade de Brasília.

Para Le Corbusier um novo espírito estava sendo implantado pela era das máquinas, e cabia ao urbanista materializá-lo para responder às expectativas do novo homem e do novo mundo. Acreditava-se no "homem-padrão", no "homem-tipo", independente de valores de época, cultura ou região. O urbanista desenvolvia suas propostas baseado na racionalidade, na estética da linha reta e no uso de traçados reguladores, que seriam uma garantia contra o arbitrário. Acreditava-se ser necessário um novo espírito para habitar a cidade moderna, moldado à padronização, às casas em série e à funcionalidade.

A cidade moderna deveria ser organizada de forma a atender às funções básicas de habitar, trabalhar, recrear e circular, separadas no espaço pelo zoneamento funcional. O zoneamento funcional, ainda vigente em muitos planos diretores urbanos da atualidade, propunha a separação estanque das atividades urbanas: áreas só para o recrear, áreas só para o trabalhar, áreas só para o morar e os grandes eixos de deslocamento interligando os setores urbanos. Um morador da cidade moderna deveria ter cabeça, tronco e rodas, pois é o ritmo do automóvel que desenha os fluxos e os deslocamentos, e não mais o caminhar a pé ou o encontro ao acaso. A razão desenha, mais uma vez, o espaço: é o ápice dessa filosofia.

As propostas de Le Corbusier, materializadas em Brasília (capital do país) e em Chandigard (na Índia), foram publicadas na "Carta de Atenas", em 1933, e tiveram amplo alcance mundial. Pode-se dizer que até hoje exercem grande fascínio nos planejadores urbanos, sobretudo naqueles que ainda acreditam que o projetista pode controlar a dinâmica espacial pela implantação de um traçado estético.

David Harvey (1992, p.39), ao falar sobre o que representou a época das propostas modernistas, coloca: "A liberdade e a libertação contemporânea dependiam de maneira vital da imposição da ordem racional. O modernismo assumiu no período entre guerras uma forte tendência positivista e, graças aos intensos esforços do círculo de Viena, estabeleceu um novo estilo de filosofia que viria a ter posição central no pensamento social pós-Segunda Guerra. O positivismo lógico era tão compatível com as práticas da arquitetura modernista quanto o avanço de todas as formas de ciência como avatares do controle técnico. Foi nesse período em que casas e as cidades puderam ser livremente concebidas como "máquinas nas quais viver."

Como reações ao extremo racionalismo dos valores modernos começam a surgir propostas de se pensar a questão urbana como algo mais complexo, resultante da inter-relação de variáveis e da conjugação de diferentes olhares. Em lugar da setorização estanque das atividades urbanas, discute-se a riqueza da diversidade e propõe-se a mescla de usos. Valorizam-se os lugares que geram fatos urbanos, os espaços simbólicos. O pluralismo na composição do espaço urbano é denominado de "cidade-colagem", assim definida por David Harvey (op.cit., p.53): "Enquanto os modernistas pressupunham uma relação rígida e identificável entre o que era dito (o significado ou "mensagem") e o modo como estava sendo dito (o significante ou "meio"), o pensamento pós-estruturalista os vê separando-se e reunindo-se continuamente em novas combinações."

Esta nova forma de ver as questões urbanas propõe princípios como a holística e a consciência da inter-relação entre variáveis e fenômenos ambientais. A corrente surge na década de 60 do século passado, com os estudos de Percepção Espacial, e amadurece na década de 80, já denominada de visão Pós-moderna.

O planejador sai do posto de grande criador de propostas totalizantes, de aplicação universal, para trabalhar em equipes multidisciplinares, melhor ainda se transdisciplinares, em diferentes interpretações da realidade apresentadas por diferentes profissionais. Realizam-se análises por correlações de variáveis, cruzamento de interpretações, e são considerados diferentes enfoques nas proposições. O urbanismo é uma "obra aberta".

A concretização dos novos valores em projetos de intervenção urbanística carece, contudo, de procedimentos metodológicos que possibilitem sua prática. A visão holística muito se aproxima dos princípios de abordagem sistêmica, proposta ainda na segunda metade do século XX.

Acredita-se que a prática urbanística hoje, ciente da necessidade de conjugação de complexa gama de variáveis, só é possível com o apoio das técnicas de Geoprocessamento. Por outro lado, o Geoprocessamento é uma ferramenta de aplicações de processos metodológicos que devem traduzir um modo de pensar o mundo. É na montagem de modelos de análise que está a chave para a atuação do urbanista contemporâneo. A abordagem sistêmica propõe instrumentos aplicáveis na construção de análises, sínteses e elaboração de propostas para as intervenções urbanas, sendo fundamental a consciência da complexidade da dinâmica espacial.

Destaca-se, ainda, o caráter multidisciplinar do Geoprocessamento, pois ele pode ser compreendido como uma linguagem facilitadora do intercâmbio entre profissionais de diferentes áreas, promovendo a conjugação de complexa gama de variáveis e interpretação da realidade urbana.

2.2. Instrumentos na construção de análises, sínteses e propostas para as intervenções urbanas

O início da segunda metade do século XX foi marcado pelo ressurgimento do positivismo, evitando a utilização de juízos de valor e defendendo uma linguagem única entre as ciências, marcada pela matemática. É a época da Geografia Quantitativa. Essa nova face do positivismo aceita a existência de algum grau de indeterminação nas previsões futuras, passando a trabalhar com o conceito de probabilidade. Merecem destaque os trabalhos de Hettner e de Hartshorne, cujas raízes filosóficas têm caráter neokantista. Hettner elabora estudos das diferenças de porções da superfície da terra, resultantes de inter-relações. O autor, segundo Ferreira e Simões (1986, p.129), defende: "A realidade é um espaço tridimensional que observamos de três pontos de vista diferentes. Em primeiro lugar, vemos as conexões de uma inter-relação material; a partir do segundo ponto de vista, vemos o desenvolvimento no tempo; e, a partir do terceiro, a distribuição e a ordem no espaço. Portanto, devem considerar-se as ciências corológicas, juntamente com as sistemáticas e as cronológicas."

Hartshorne retoma a obra de Hettner e trabalha os temas "área" e "inter-relações", sendo a área construída no processo de investigação, e não pré-definida. Para Hartshorne, a geografia sistemática busca princípios de relação que possam agrupar fenômenos e traçar leis generalizantes, mas muitos fenômenos são únicos, e o processo de busca de integração é sempre uma forma de moldar a realidade. As classificações promovidas pela integração resultam em perda de informação e imprecisão.

A geografia quantitativa irá se basear na lógica e na matemática. É a época da geração e utilização de modelos espaciais, baseados em métodos dedutivos. Trabalha-se com a noção de e*spaço relativo*, definido pelo físico Poincaré em "*Science et méthode*", quando defende que a localização relativa de um ponto depende de sua posição em relação a outros, o que pode variar com o tempo e com a abordagem (1908, *apud* Ruelle, 1993, p.22). Pode-se assim ter uma distância-tempo no espaço absoluto diferente da distância-tempo no espaço relativo.

A consciência da variabilidade dos fenômenos e da validade das análises dentro de situações pré-determinadas é um avanço significativo, mas os modelos gerados são distantes da experiência do homem e são somente simplificações reducionistas. Muitos modelos em geografia vão apresentar caráter corológico, ou seja, interessa a disposição dos fenômenos em uma área, e não os fenômenos em si.

No final da guerra fria, as visões reducionistas da geografia quantitativa passam a ser questionadas por meio das correntes da fenomenologia e do existencialismo, que trazem a abordagem psicológica e as preocupações com os problemas sociais. Surgem, inicialmente, os estudos da geografia da percepção e do comportamento, estudando a relação entre a "imagem mental" que o usuário constrói do ambiente e seu modo de organizar o território. Na mesma época surgem, também, os estudos da geografia radical liberal, acreditando que uma nova ordem espacial poderia resultar em melhoria social.

As propostas de considerar os fatores humanos, de trabalhar com planejamento participativo, e de ter consciência da complexidade e da interatividade dos fenômenos espaciais resultou, nas últimas décadas, no surgimento de estudos baseados na visão holística. São movimentos que têm consciência de que os fenômenos espaciais estão em constante mudança e em estreita inter-relação. Com a nova consciência, caracterizada como pensamento Pós-moderno, a matemática incorpora a indeterminação. Baseia-se em conceitos como a teoria da Catástrofe e do Caos e a geometria dos fractais. Eles são regidos pela lógica Fuzzy, que rejeita as generalizações, as interpretações teóricas de aplicações universalizantes e propõem a fragmentação, as relações em perpétua mudança.

A teoria do Caos estuda os sistemas não lineares, fenômenos que, para serem enfocados, deve-se avaliar complexa gama de fatores. Antes da conscientização a respeito da matemática do Caos, os sistemas eram vistos como lineares; podiam ser montados e desmontados que as peças se encaixariam. Seria possível fazer previsões, uma vez que definida a reta (a explicação) você teria todos os possíveis pontos da reta (as ocorrências).

A nova proposta de tratamento matemático substitui a descrição linear pela consciência da complexidade. Na Teoria do Caos a equação se torna um processo em lugar de uma descrição; dinâmica em lugar de estática. Busca-se a "ordem na desordem", e o Geoprocessamento pode ser um importante aliado, pois permite o gerenciamento de significativo banco de dados, assim como a aplicação de algoritmos na análise e integração de variáveis.

Diante desses novos valores, as geotecnologias adquirem papel principal como facilitadoras na estruturação de coleção de dados e como ferramentas de integração das informações. A informação organizada, correta e disponível de forma ágil é um recurso estratégico e indispensável para tomar decisões adequadas e em tempo hábil. Nesse contexto, o Geoprocessamento é importante ferramenta de gestão, pois é um conjunto de tecnologias para processamento da informação cuja localização geográfica é uma característica inerente, indispensável para análise.

O termo Geoprocessamento, surgido do sentido de processamento de dados geo-referenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra. Não é somente representar, mas é montar um sistema e associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação.

As tecnologias integradas que dão suporte para a aplicação do Geoprocessamento são a Topografia, a Geodésia, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), a Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto (SR), a Cartografia, a Ciência da Computação e os Sistemas Informativos Geográficos (SIGs, também conhecidos como Sistemas de Informações Geográficos). Eles são fundamentais para a elaboração

de conjuntos de dados, e cabe ao Geoprocessamento, através da aplicação de modelos de análise espacial, a transformação dos dados em informação, com ganho de conhecimento.

Os Sistemas Informativos Geográficos, ao buscarem formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Como um sistema, é um conjunto de partes que interagem; que não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. Em lugar de simplesmente descrever elementos ou fatos, podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, de modo a produzir informações espacializadas antes não perceptíveis.

Observa-se hoje uma grande difusão do SIG na produção de inventários e apoio à prática do planejamento, uma vez que permite a definição física e a análise quantitativa dos componentes sócio-econômicos, mesmo análises qualitativas, atribuindo pesos às características identificadas dentro de uma escala de valores estabelecida. Tem-se tornado o principal instrumento de planejamento urbano por possibilitar um retrato mais fiel da complexidade e permitir a integração de análises por disciplinas diversas.

2.3. Modelos na análise espacial

Com o objetivo de organizar os dados ambientais de modo a preparar o raciocínio para a utilização de métodos facilitadores de classificações, tanto no sentido da discretização do território como de organizações taxonômicas, Berry (1959) propôs a "Matriz Geográfica". O processo trata da representação das questões ambientais na forma de matriz x/y, colocando as variáveis nas linhas e as unidades territoriais nas colunas. A organização da matriz exige uma classificação taxonômica (escolha e apresentação das variáveis) e uma resolução espacial (segmentação da área geográfica). Caso a matriz seja tridimensional (x/y/z), no terceiro eixo, eixo z, podem ser representadas informações sobre razões (taxas) ao longo do eixo taxonômico. Assim, é possível associar a questão tempo às análises espaciais. A matriz em três dimensões constitui a essência conceitual dos Sistemas Informativos Geográficos.

Uma vez montado o sistema, é necessário escolher lógicas de análise e integração de variáveis. Xavier-da-Silva (1999, p.1-3) explica uma delas, a lógica do V ou F, 0 ou 1: a chamada lógica Booleana. Essa lógica é aplicável em casos em que um especialista irá responder a questões sobre conhecimentos específicos, tais como: "A forma é mais importante que a cor na embalagem?". As respostas dadas cabem em um contexto no tempo e no espaço, em uma situação específica.

O autor apresenta, também, a possibilidade de utilização da Perspectiva Bayesiana, baseada no conceito de probabilidade condicional, ou seja, a probabilidade de ocorrência de um fenômeno é medida uma vez constatada a ocorrência de outro fenômeno a ele associado. Esta lógica não pode ser utilizada em estudos exploratórios de situações ambientais desconhecidas, pois exige conhecimento prévio das possibilidades de relações entre fenômenos.

O mesmo autor defende a adequabilidade do uso da Média Ponderada nas análises ambientais. Na média ponderada, cria-se um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por *knowledge driven evaluation*, ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por *data-driven evaluation,* que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes.

Outra lógica bastante aplicável à complexidade ambiental é a lógica *Fuzzy,* ou nebulosa. Levine *et al.*(1988, p.97), ao discutirem o uso das probabilidades e da lógica nebulosa, explicam que "as pessoas não conseguem sempre se expressar por meio de respostas exatas." O uso de conceitos inexatos é chamado de lógica nebulosa, que melhor se aproxima da complexidade da realidade, pois permite lidar com conceitos imprecisos dependentes da intuição e avaliações humanas.

Trabalhar com a lógica *Fuzzy* é classificar segundo graus de pertinência. Segundo Bonham-Carter (1994, p. 291) ela é definida por: "Em uma teoria clássica, o grau de membro em um conjunto é definido como falso ou verdadeiro. O grau de membro em um conjunto *Fuzzy*, contudo, é expresso por uma escala contínua que vai de 1 (maior grau de membro, maior pertinência) a 0 (menor pertinência)."

Xavier-da-Silva (1999) acredita que a função de pertinência na análise ambiental é medida pela probabilidade de ocorrência de um fenômeno, como ocorre na lógica *Fuzzy* ou na Média Ponderada. Para dar respostas, ainda que dentro de faixas de probabilidade, elas devem ser geradas em discussões organizadas, como a aplicação do método *Delphi* ou a consulta a especialistas (*experts*).

A complexidade em trabalhar com análise ambiental está, justamente, na capacidade de se perceber as constantes mudanças espaço-temporais e o valor relativo (e não absoluto) das diferentes variáveis que compõem o sistema. Uma realidade percebida aqui e agora não é mais percebida em um momento seguinte ou em outro espaço. Além disso, a distribuição das ocorrências não é homogênea, mas condicionada por rugosidades da composição social e territorial.

Por mais que os encantos da técnica nos seduzam e nos levem a acreditar numa realidade virtual modelada pelo Geoprocessamento, há de se destacar a importância do embasamento conceitual que fornece os pilares para a geração dos modelos de análise. O Geoprocessamento é caracterizado por técnicas de aplicação de processos metodológicos de análise espacial, em adoção de modelos que são simplificações da complexa realidade.

Entre os modelos de análise espacial existentes, destaca-se o de Análise de Multicritérios. Moura (2007, p. 2900) explica que a metodologia de análise de multicritérios é bastante adequada para o emprego das geotecnologias na criação de sínteses de variáveis cujo objetivo é a identificação de áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico. A autora defende: *"O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas".*

Para a aplicação da metodologia, o primeiro passo é a definição dos objetivos (a síntese que se pretende obter a partir da combinação de variáveis) para a seleção de temas de mapeamento e estruturação da base de dados cartográfica e alfanumérica.

Estruturada a coleção de dados, eles são trabalhados na forma de mapas temáticos ou planos de informação que retratam superfícies potenciais de distribuição da variável. Os planos de informação podem ser armazenados em formato vetorial ou matricial, mas há fortes tendências para o predomínio das operações dos modelos em formatos matriciais (*raster*). A questão se justifica pela relação de topologia implícita ao processo matricial, o que não só aperfeiçoa o cruzamento de dados, como também é condição *sine qua non* em alguns modelos.

Devem ser organizadas camadas de informação na forma de mapas temáticos, e elas deve ser convertido para formato matricial com controle do tamanho da unidade territorial de integração dos dados, o que significa definição da resolução ou do tamanho do pixel da matriz. Quando as camadas de mapeamento das variáveis são resultantes de fontes de diferentes escalas, deve-se optar pela de pior resolução, de menor detalhe, e converter as demais para esta resolução. O critério de escolha da resolução é dado pelo padrão de exatidão cartográfico (0.5 mm na escala do mapa a partir do qual a camada foi gerada, quando ele é de qualidade A) ou pela acurácia visual (0.2 mm na escala da fonte). A resolução pode também ser definida segundo a dimensão de interesse de análise espacial, segundo os objetivos definidos pelo pesquisador. Como exemplo, se um mapa tem como fonte a escala 1:10.000, o pixel mínimo na escolha da resolução é de 5 metros, mas o pesquisador pode optar pelo pixel de 20 metros caso esta dimensão de resposta territorial atenda bem aos seus objetivos de investigação.

Uma vez estruturadas as variáveis em camadas de informação, são propostos modelos de combinação dessas variáveis. Moura (2007, p. 2902) explica a lógica de combinação de variáveis: *"O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por "knowledge driven evaluation", ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por "data-driven evaluation" que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas."*

A Árvore de Decisões é um fluxograma que demonstra como serão combinadas as variáveis pelo processo de álgebra de mapas. Neste trabalho a álgebra adotada foi de média ponderada, sendo os pesos e notas sugeridos por especialistas que dominavam tanto o fenômeno retratado em cada mapa, como tinham conhecimento específico sobre o território de estudo. É apresentado exemplo de Árvore de Decisões para combinação de variáveis (Figura 4-38).

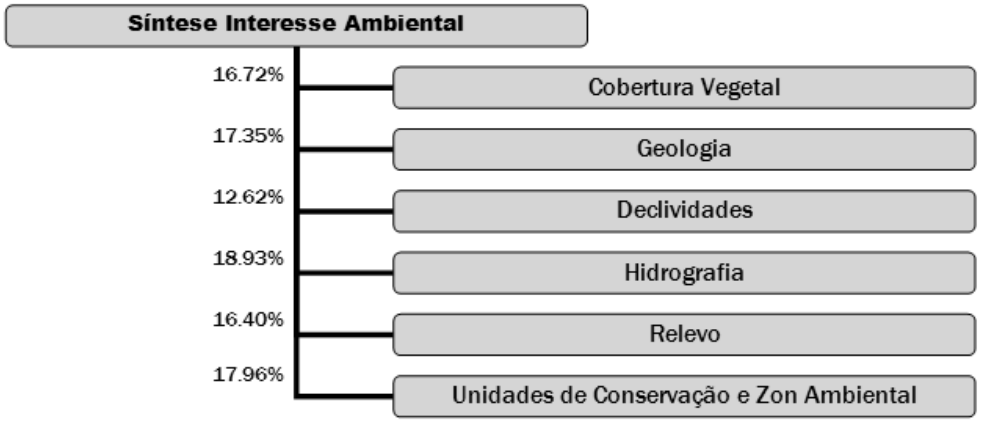


Figura 4-38. Árvore de Decisões no exemplo de estruturação de Síntese de Interesse Ambiental

3. Materiais, dados e métodos

A metodologia de trabalho é desenvolvida em 4 etapas: A primeira etapa é a apresentação das bases conceituais em geoprocessamento e análise espacial, ilustrada por exemplos de outros estudos de caso de síntese de variáveis para a caracterização de potenciais e limitações em usos do solo. A segunda etapa é a apresentação da coleção de dados cartográficos e alfanuméricos existentes, assim como a orientação sobre a montagem do Sistema de Informações Geográficas. A terceira etapa é a de montagem do modelo de análise espacial por Análise Multicritérios e a obtenção os mapas de síntese de variáveis. A quarta etapa é o trabalho de campo para calibração e validação dos resultados, assim como a definição do projeto de requalificação urbana para a área escolhida para a intervenção.

3.1. Apresentação das bases conceituais para as atividades

Os alunos recebem como material de leitura artigos sobre o estado da arte em geoprocessamento, sobre um estudo de caso de aplicação do geoprocessamento em projeto de requalificação de favelas em Belo Horizonte, e sobre reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios.

Além do material de leitura, é apresentada aula expositiva sobre o roteiro de aplicação do geoprocessamento na análise espacial (Figura 4-39), sobre onde e como obter dados para análise espacial e as aplicabilidades desses dados, sobre como estruturar um Sistema de Informações Geográficas, quando e porque trabalhar com dados vetoriais e matriciais, como escolher a resolução da matriz da análise espacial e preparar as camadas de informações, a forma de estruturar uma Árvore de Decisões, e o modo de atribuir pesos e notas às variáveis componentes do sistema.

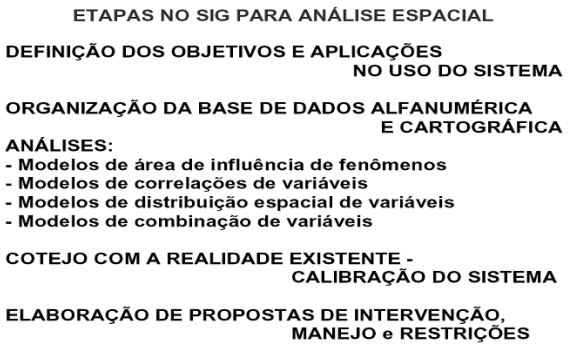


Figura 4-39. Roteiro e etapas na estruturação do SIG para análise espacial

3.2. Apresentação da coleção de dados cartográficos e alfanuméricos

Os alunos recebem significativa coleção de dados cartográficos e alfanuméricos da área, entre os quais o detalhamento do uso e ocupação dos lotes. Entre as informações estão tabelas de caracterização por edificação que informam o número de pavimentos, o uso, o estado de conservação, os níveis e tipos de degradação, se existem tombamentos ou níveis de proteção d patrimônio. Recebem informações sobre a distribuição de áreas de lazer, cultura, bancos, comércios, postos de saúde. A base cartográfica é bastante detalhada, apresentando elementos urbanísticos e projeções das edificações. Recebem também imagens de satélite de alta resolução.

Cabe aos alunos analisar a coleção de dados e definir entre as variáveis disponíveis aquelas que respondem ao seu motivo de investigação e devem ser tratadas de modo a serem utilizadas na análise espacial. Os alunos trabalham em grupos, e nesse momento o grupo deve definir o seu objetivo de análise para a seleção das variáveis.

Se um grupo, por exemplo, opta por identificar lugares ótimos para a implantação de uma habitação de interesse social, pode ser critério de o grupo selecionar áreas que possuem infra-estrutura de comércio e serviços bem estruturada, áreas cuja condição de conservação permite investimentos financeiros acessíveis (se já estão mais degradadas é mais fácil obter maiores áreas e a requalificação é um benefício para o entorno), ou mesmo áreas onde seja possível realizar demolições ou que já se encontrem vazias (segundo o número de pavimentos das edificações).

O grupo deve se empenhar com muito cuidado nesta etapa. O geoprocessamento não pode ser visto como mero instrumento de combinação de variáveis e o mapa síntese final como uma verdade sem que os passos da escolha de variáveis sejam muito bem pensados. O grupo precisa ter claro o seu objetivo no projeto de intervenção de requalificação, assim como indicar com segurança as variáveis que melhor respondem por aquele fenômeno investigado.

3.3. Montagem do modelo de análise espacial por Análise Multicritérios e a obtenção os mapas de síntese de variáveis.

Os alunos, uma vez escolhidas as variáveis de trabalho, realizaram a conversão de dados vetoriais para dados matriciais, através da definição da resolução (unidade territorial de integração dos dados que corresponde à célula da matriz (figura 4-40) e da escolha, muitas vezes, de interpoladores espaciais (Figura 4-41 e Figura 4-42).

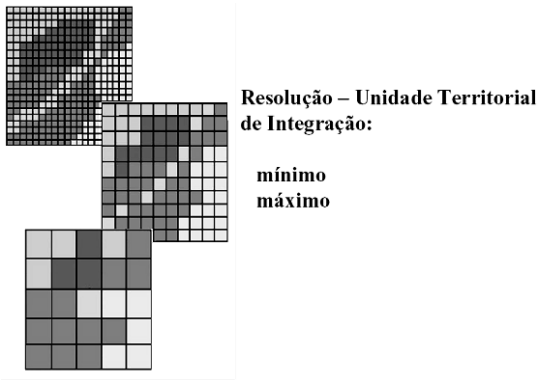


Figura 4-40. Escolha da resolução ou tamanho do pixel da matriz de análise espacial

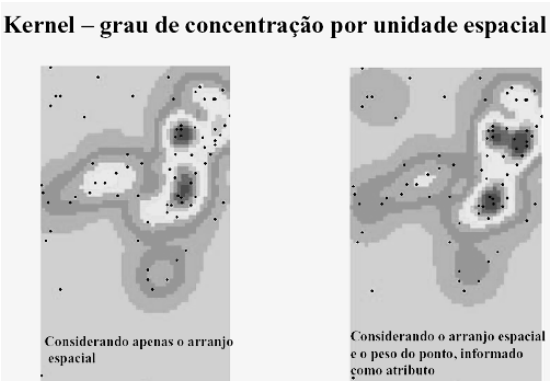


Figura 4-41. Escolha de interpoladores para o mapeamento das variáveis – Exemplo do Kernel

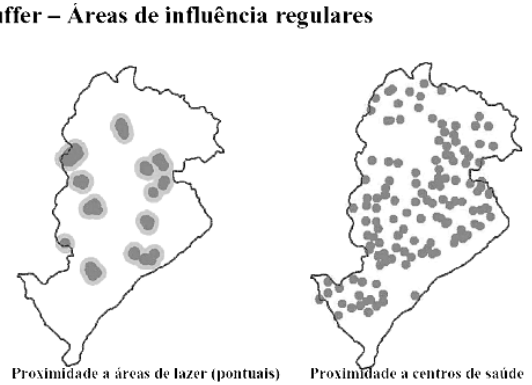


Figura 4-42. Escolha de interpoladores para o mapeamento das variáveis – Exemplo do Buffer

A escolha da unidade territorial de integração, que se traduz no pixel, foi consensuada como de 10 metros, pois assim as respostas sairiam em dimensão territorial um pouco menor que os lotes urbanos.

Uma vez prontas todas as camadas de informação em formato raster (matricial), os alunos devem estruturar a Árvore de Decisões e definir o modo de integração das variáveis, os pesos atribuídos a cada variável e as notas para seus componentes de legenda. Por exemplo: se a variável "número de pavimentos" foi escolhida porque era expectativa do grupo localizar áreas onde podem ser realizadas demolições para a construção de uma nova edificação, eles devem atribui o peso para esta variável em 100%, em relação ao conjunto das demais variáveis na Análise Multicritérios. Além do peso, a legenda do mapa "número de pavimentos" foi dividida em de 0 a 2 pavimentos, de 3 a 5 pavimentos, e acima de 5 pavimentos (justificado pelo fato de que a partir de 5 pavimentos o edifício possui elevador e o custo de compra pode inviabilizar a escolha da área), é necessário atribuir nota de 0 a 10 para cada uma dessas legendas, sendo 0 atribuído à pior condição para o objetivo da análise e 10 a melhor condição.

Para a definição das variáveis, o peso de cada variável e a nota de cada componente de legenda, o grupo aplica uma abordagem de maximização de consenso, através do método Delphi, para obter a síntese das opiniões dos alunos componentes do grupo.

Em seus princípios metodológicos, o método *Delphi* na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que indiquem e depois hierarquizem as variáveis (ou planos de informação) segundo a ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado. Exemplo: para a geração do mapa de *Síntese de identificação das áreas mais degradadas*, quais são e qual é a ordem de importância das variáveis escolhidas? Uma vez recebidas respostas do grupo, realiza-se a seleção da média e a indicação do predomínio nas manifestações.

O especialista então recebe o resultado da consulta e é solicitado a rever suas posições – caso ele tenha firmeza das suas escolhas, mantém suas respostas, mas caso ele decida ajustar suas avaliações diante da resposta do grupo, ele manifesta nova opinião. A partir da média das respostas do grupo são determinadas as variáveis a serem mapeadas, para posteriormente combiná-las por processo de álgebra de mapas.

No estudo de caso do hipercentro muitos grupos realizaram a combinação de variáveis em duas etapas: a primeira através da síntese, por média ponderada e empregando os valores obtidos no Delphi, e na segunda etapa aplicando fatores de exclusão, na forma de álgebra de mapas de multiplicação das matrizes para recorte de condições que não poderiam sequer ser cogitadas. Exemplo: uma vez identificadas as áreas ótimas para a proposição de instalação de habitações de interesse social, foram excluídas aquelas edificações que eram caracterizadas como patrimônio tombado e nas quais haveria restrições de uso e intervenções.

3.4. Trabalho de campo para calibração e validação dos resultados

Nessa etapa os alunos avaliam os resultados obtidos na Análise de Multicritérios e vão a campo para validação dos resultados ou para a proposição de calibração do modelo. Uma vez realizado esta observação, eles propõe o projeto de requalificação urbana para a área escolhida para a intervenção, inclusive justificando a escolha da área.

4. Descrição e análise dos resultados

Como cada grupo define seus objetivos, escolhe suas variáveis, e realiza a Análise de Multicritérios segundo pesos e notas que caracterizam o pensamento e os valores do grupo, há diferentes respostas dos estudos realizados. Há uma grande diversidade das análises realizadas, de modo que apresentamos algumas delas.

Foram muitos os grupos que já fizeram esta prática n Laboratório de Geoprocessamento da Arquitetura. Selecionamos aleatoriamente alguns exemplos de promoção de síntese de variáveis segundo diferentes objetivos. Demonstramos exemplos de indicação de lugares para indicados para a instalação de área de habitação de especial interesse social (Figra 6), lugares mais indicados para a construção de um hotel com vistas à requalificação urbana (Figura 4-43) e lugares mais propensos à degradação espacial (Figura 4-45).

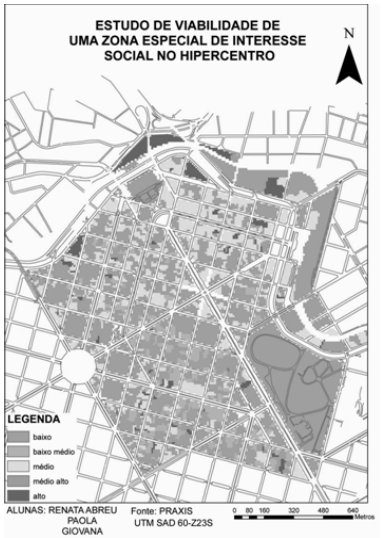


Figura 4-43.Análise espacial para identificação de áreas propícias para a instalação de ocupações de interesse social



Figura 4-44. Análise espacial para identificação de áreas propícias para a instalação de hotel

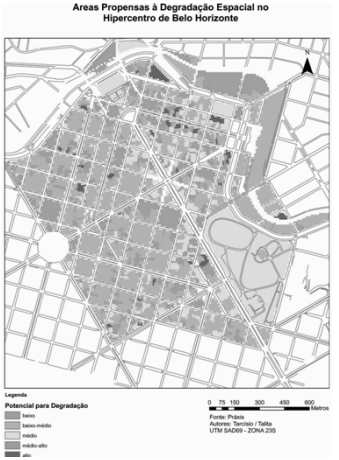


Figura 4-45. Análise espacial para identificação de áreas com propensão à degradação espacial

5. Discussão e resultados da avaliação

A atividade de síntese de variáveis para seleção de lugares ótimos para as intervenções de requalificação no hipercentro de Belo Horizonte cumpre vários propósitos do processo pedagógico da disciplina. Inicialmente, o de instrumentalizar alunos para utilizarem as geotecnologias, através do emprego de *softwares* comerciais e de softwares livres mais conhecidos no mercado.

Cumpre também o papel de apresentar aos alunos uma situação bastante real e complexa, na qual eles devem ter clareza de seus objetivos e se posicionarem frente a suas escolhas. Para definir os motivos, o como, e o onde fazer um projeto de requalificação de edificações e áreas urbanas eles devem construir muitas reflexões. Devem se posicionar sobre questões sociais, ambientais, normativas e leis, valores vigentes e, sobretudo, devem compreender como se insere o processo metodológico de análise espacial realizado hoje frente à evolução dos princípios de planejamento urbano, conforme apresentado no início do presente artigo.

Os alunos aprendem a trabalhar em grupos, mas aprendem também uma técnica de maximização de consensos para integração de variáveis, o método Delphi, que será muito útil quando eles tiverem que lidar com sínteses de opiniões em projetos com planejamento participativo. Finalmente, os alunos compreendem que não há verdades absolutas e respostas únicas. Toda análise espacial apresenta resultados que são recortes que traduzem os valores do pesquisador e de sua cultura, dentro de um recorte temporal e espacial. Eles aprender a lidar com a visão sistêmica e a ponderar as muitas possibilidades na compreensão e caracterização de um território.

6. Conclusões

Foi um desafio e uma conquista levar o geoprocessamento para o curso de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG. A temática tem sido explorada em cursos de Geografia, de Engenharia Ambiental, de Cartografia e em alguns outros, mas na maioria em estudos de caso inseridos em disciplinas, em projetos de pesquisa. Poucos são aqueles que apresentam a temática de Geoprocessamento como disciplina.

Na Escola de Arquitetura o tema ainda não é uma disciplina individual, mas é abordado em algumas disciplinas de caráter instrumental e de caráter prático, como é o caso das oficinas. Os alunos têm o primeiro contato com o tema na Oficina de Cartografia e Topografia, no primeiro semestre do curso. Depois o geoprocessamento é amplamente empregado na Oficina de Planejamento Urbano e dá apoio ao estudo de caso aqui apresentado na Oficina Integrada de Arquitetura e Urbanismo.

O interesse tem crescido significativamente, pois o tema é muito bem aceito pelos alunos e já existe um movimento de interesse por parte dos professores que ainda não utilizam as ferramentas. O arquiteto é um profissional que tem muito interesse por todos os recursos de expressão gráfica para o seu trabalho, e está sempre apto a inovações. Da mesma maneira que os projetos arquitetônicos são hoje apresentados em tratamentos gráficos de alta qualidade, os projetos urbanísticos também devem investir nesse sentido.

É tarefa do urbanista é conseguir comunicar à comunidade a sua proposta de projeto, e as ferramentas de geoprocessamento favorecem a compreensão dos motivos de escolha que levam o projetista a realizar as suas proposições. Favorecem também a comunicação das propostas e a simulação das mudanças que ocorrerão a partir da implantação do plano de intervenção.

Destaca-se que a qualquer momento a comunidade pode questionar as variáveis escolhidas, o valor atribuído a cada variável e os objetivos definidos pelo urbanista. O geoprocessamento proporciona a revisão de cada etapa de trabalho, através da calibração do modelo e geração de novos resultados que se adaptem melhor aos valores dos usuários.

O geoprocessamento se apresenta como significativo apoio à tomada de decisões, como uma ponte de comunicação entre projetistas e comunidade, e como um conjunto de ferramentas que busca ganho de conhecimento através das análises espaciais. Os resultados obtidos têm o poder de inquietar o projetista e de exigir que ele tenha muita segurança conceitual e metodológica para realizar as suas investigações e torná-las públicas à comunidade.

Referências bibliográficas

BERRY, Brian. (1959) : A note concerning methods of classification. Annals of the Association of American Geographers, Washington, v. 48, pp. 300-303.
BONHAM-CARTER, Graeme F. (1994): Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS. Ottawa: Pergamon.
FERREIRA, Conceição C., SIMÕES, Natércia N. (1986): A evolução do pensamento geográfico. Lisboa: Gradiva.
HARVEY, David. (1993): Condição pós-moderna. São Paulo: Loyola. pp. 69-96.
LEVINE, Robert I., DRANG, Diane E., EDELSON, Barry. (1988): Inteligência artificial e sistemas especialistas. São Paulo: McGraw-Hill. pp.97-128.
LIMA, Fábio J. M. (1994): Memória, identidades e utopia; a um passo da modernidade na Belo Horizonte do final do século XIX. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte: PUC-MG, n. 2, pp.137-148.
LYNCH, Kevin. (1987): Good city form. Massachusetts: MIT Press.
MELLO, Suzy de. (1983): Barroco. São Paulo: Brasiliense.
MOURA, Ana Clara M. (2003): Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Ed. da Autora.
MOURA, Ana Clara M. (2007): Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE. pp. 2899-2906.
RUELLE, David. (1993): Acaso e Caos. São Paulo: UNESP, pp.17-23.
XAVIER-DA-SILVA, Jorge. (1999): Estruturas lógicas de análise e integração. Rio de Janeiro: Lageop.
ZEVI, Bruno. (1978): Saber ver a arquitetura. São Paulo: Martins Fontes.

A PRODUÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA DE ÁREAS ANTROPIZADAS COMO BASE PARA ANÁLISES ESPACIAIS URBANAS E REGIONAIS

Ana Clara Mourão Moura[1] , Danilo Marques De Magalhães[2]

RESUMO

Proposta metodológica de construção de base de dados sobre a ocupação humana no espaço, na forma de manchas de área antropizada, para apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana da cidade de Belo Horizonte, Brasil. Propõe o aproveitamento de coleção de dados de localização de postes de energia elétrica, caracterizados pelo tipo de uso e número de ligações. A validação da camada de dados e as muitas informações que puderam ser produzidas a partir de sua construção foram realizadas pela comparação das manchas de áreas antropizadas segundo os postes versus a ocorrência de áreas antropizadas obtidas por classificação de imagens de satélite *Rapid Eye*. A comparação dos produtos permitiu identificar a vacância na ocupação territorial, a área antropizada de fato ocupada, e a área antropizada caracterizada pela justaposição com a cobertura vegetal. Os dados permitem a análise espacial da rede de centralidades e deslocamentos territoriais.

Palavras chave: Análise espacial, área antropizada, planejamento territorial.

PRODUCTION OF INFORMATION ON THE OCCURRENCE OF AREAS OF HUMAN OCCUPATION SPACE, AS A BASIS FOR URBAN AND REGIONAL ANALYSIS

ABSTRACT

A methodological proposal to build a database of human occupation in space, in the form of patches of anthropic occupation area, aiming to support the Master Plan of the Metropolitan Region of Belo Horizonte City, Brazil. It proposes the use of data collection produced from the location of posts of electric service, characterized by the type of use and number of connections. The validation of the data layer and the stuff that might be produced from its construction were made by comparing the patches of anthropic occupation area produced by posts versus the occurrence of anthropic occupation areas obtained by classification of Rapid Eye satellite images. The comparison of the results allowed the identification of the vacancy in the land occupation, the area actually occupied by anthropic uses, and anthropic occupation characterized by the juxtaposition with the vegetation. The data allows the spatial analysis of network centralities and territorial displacement.

Key words: *Spatial Analysis, anthropic occupation area, centralities, regional planning, urban planning.*

Escola de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba 697, cep 30130-140, Belo Horizonte, MG – Brasil.
[1] anaclara@ufmg.br, [2]danzetrindade@yahoo.com.br

1. Introdução

A produção de base de dados que apoie a estruturação e o real aproveitamento dos recursos dos Sistemas de Informações Geográficas, através de aplicação de modelos de análise espacial, é um desafio enfrentado por todos os pesquisadores que se propõe a utilizar as ferramentas do geoprocessamento. Um pesquisador, hoje, vê-se às voltas com essa massa de dados a serem manipulados e correlacionados na busca de respostas e há, também, o perigo de que se tornem um labirinto, no qual o encantamento com a nova tecnologia cegue o pesquisador e dificulte, ainda mais, o reconhecimento da saída. Há o risco de se supervalorizar os meios em detrimento dos fins e, nas paredes de um labirinto metodológico, perder-se todo o ganho obtido com a evolução tecnológica. A idéia é organizar o potencial de dados já existente e torná-lo acessível à comunidade mundial. Objetiva-se gerar um "laboratório sem paredes" para pesquisadores em busca da compreensão das complexas interações entre humanidade e meio ambiente. Uma quantidade de dados nunca antes disponível já é representada pelas imagens de alta resolução. A questão é: sem os devidos cuidados com *processos metodológicos* para o manuseio e a exploração dos dados, pode-se cair na situação do labirinto, pois o excesso de informação é tão dramático como a falta dela. São o labirinto e o deserto, situações antagônicas. O excesso de informação, se não enfrentado de modo correto, pode levar a conclusões pouco sustentáveis, regidas essencialmente pelo aparato técnico. Outra questão importante é: a que custo? As novas tecnologias de mapeamento do modelo digital da superfície por nuvens de ponto resultantes de captura laser, para citar uma entre uma coleção de novas fontes de dados, encantam o usuário com suas perspectivas de aplicação, mas a custos talvez não acessíveis a muitos projetos.

Assim, o presente artigo visa apresentar um roteiro metodológico desenvolvido para a produção de uma coleção de dados que dão subsídios à construção de informações relativas à mancha de ocupação antrópica na Região Metropolitana de Belo Horizonte. As ações aconteceram em função das necessidades do PDDI – Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Figura 4-46), em desenvolvimento no ano de 2010 pela UFMG e para o qual o Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura foi responsável pela estruturação da base de dados cartográfica e pelo desenvolvimento de metodologias de análises espaciais com o apoio do geoprocessamento.



Figura 4-46. Localização

Uma vez estruturado o conjunto de informações sobre as manchas de ocupação antrópica na região, são associadas a informações relativas ao tipo de uso das unidades residenciais (comércio, indústria e residencial), assim como os quantitativos sobre os números de ligações por atividade por área. Isto permitiu realizar estudo sobre as centralidades da rede antrópica e suas conexões, segundo o modelo de Potencial de Interação.

O Potencial de Interação considera a importância de cada posição no espaço segundo o seu fator de massa (número de ligações de fornecimento de energia elétrica e o uso a que se destinam), avalia as distâncias entre as centralidades territoriais segundo os eixos viários existentes, e considera as dificuldades de interação entre as centralidades segundo os atritos espaciais. O resultado final é o conhecimento das relações de influência entre as ocupações territoriais (centralidades) e a simulação das consequências das proposições de melhoria e abertura de novos eixos viários de ligações na rede.

2. Estado da arte / antecedentes / revisão bibliográfica

Segundo Moura (2003) observa-se, hoje, a passagem de uma fase em que a ausência de dados para a análise espacial ditava os caminhos na pesquisa ambiental, para uma nova fase, em que a possibilidade de gestão de quantidade expressiva de dados não significa, exatamente, ganho de informação. Hoje migramos da dificuldade em obter dados para o excesso de dados, exigindo do pesquisador base conceitual e metodológica para organizá-los e tratá-los, de modo que os produtos gerados realmente sirvam de subsídios para intervenções positivas na realidade espacial. Há sim, expressiva coleção de dados, mas a maioria ainda sem condições de ser efetivamente aproveitado em modelos de análise espacial.

A ausência de dados pode ser comparada ao deserto e à necessidade de se trabalhar com inspeções pontuais e, a partir delas, propor generalizações espaciais. O momento atual pode ser comparado ao labirinto, pois já é possível obter dados com varreduras da superfície da Terra, ponto a ponto, proporcionadas por técnicas de sensoriamento remoto, e gerar sínteses e caracterizações espaciais.

No final do milênio, foram desenvolvidas etapas iniciais de um projeto de dimensões, literalmente, *mundiais*: o "*Digital Earth*", lançado pelo vice-presidente dos Estados Unidos, Al Gore. Segundo Xavier-da-Silva (1999c, p.1) trata-se do desafio de gerar um "Modelo Digital do Ambiente", no qual seria possível navegar em busca de informações e, a partir delas, promover amplo desenvolvimento científico, permitido pelo melhor conhecimento da realidade. É o processo de varredura ambiental levado a escalas espaciais de "*multi-resolution, three-dimensional representation of the planet, into which we can embed vast quantities of geo-referenced data*" (AL GORE, 1998, p.1).

Em discurso proferido na *California Science Center*, em 31 de janeiro de 1998, Al Gore declara:

"A new wave of technological innovation is allowing us to capture, store, process and display an unprecedented amount of information about our planet and a wide variety of environmental and cultural phenomena. Much of this information will be "geo-referenced" - that is, it will refer to some specific place on the Earth's surface. The hard part of taking advantage of this flood of geospatial information will be making sense of it - turning raw data into understandable information. Today, we often find that we have more information than we know what to do with." (*op.cit.*, p.1).

Christofoletti et al.(1992, p. 8) destacam o papel do geoprocessamento na análise espacial para a combinação de variáveis em procedimentos metodológicos que dão apoio à tomada de decisões: "*Situções complexas como as do sistema urbano que envolve a estrutura urbana, controle de trânsito, saneamento básico, qualidade ambiental, zoneamento, controle de enchentes, ou mesmo os aspectos administrativos de uma prefeitura, podem ser representadas e tratadas através de um SIG, propiciando resultados mais rápidos e confiáveis no tocante à tomada de decisões e planejamento*".

O estudo aqui apresentado explora as metodologias de geoprocessamento na construção de base cartográfica segundo o princípio de interpoladores espaciais de buffer (área de influência) e kernel (densidade de ocorrência de ligações de energia elétrica por tipo de uso). Obtidas as manchas de ocupação antrópica no território, o estudo explora o modelo de Potencial de Interação, Análise Multicritérios para geração de superfície de atrito territorial e Polígonos de Voronoi para estudo das áreas de influência das centralidades da rede de ocupação antrópica.

2.1. Potencial de Interação

O Potencial de Interação (PI) consiste num aplicativo desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento (LabGeo) da UFRJ que, através de um modelo gravitacional, calcula a interação entre pontos de referência de uma determinada área. O cálculo é feito a partir de uma massa informada pelo usuário e levando em conta a distância entre os pontos, que é percorrida pelos caminhos que os conectam dentro dessa rede e considera também as impedâncias ou atritos territoriais que facilitam ou dificultam o deslocamento. De acordo com Xavier-da-Silva (2001) o PI permite definir posições hierárquicas dos eventos estudados, no caso as centralidades econômicas, de modo a verificar seu interrelacionamento com as outras entidades da área de estudo, a partir de uma rede estruturada.

2.2. Polígonos de Voronoi

A construção de Polígonos de Voronoi consiste, basicamente, na delimitação de áreas de influência que levam em consideração a massa e a distância dos pontos de determinada área.

De acordo com Xavier-da-Silva (2001) pode-se considerar os valores associados aos pontos de interesse (massa) juntamente com o espaço geográfico, com suas características físicas, para representar as tendências de a organização do espaço segundo a ocorrência de centros de influência, ou seja, a polarização do território; e a presença de características ambientais dominantes, indicadoras das possibilidades da ocupação humana e definidoras de certa regularidade paisagística, ou seja, região, zona ou área "homogênea".

2.3. Superfície de Atrito – Análise de Multicritérios

Sabe-se que o território objeto de análise não é plano, tampouco é desprovido de obstáculos ou atritos aos deslocamentos de diferentes naturezas, desde os ambientais aos antrópicos. Por isso, a fim de se chegar a um resultado mais próximo da realidade, a delimitação das Áreas de Influências geradas pelos Polígonos de Voronoi, é importante propor uma superfície de atrito, que corresponde a impedâncias espaciais, ou seja, fatores que impedem ou dificultam o acesso e a expansão urbana.

A geração da superfície de atrito é realizada pela combinação de variáveis espaciais pelo processo de Análise de Multicritérios. As variáveis são organizadas na forma de mapas temáticos, que são transformados em superfícies potenciais na distribuição do tema, segundo a pertinência para a elaboração de cada síntese.

Moura (2007, p. 2900) explica que a metodologia de análise de multicritérios é bastante adequada para o emprego das geotecnologias na criação de sínteses de variáveis cujo objetivo é a identificação de áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico. A autora defende:

"O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas."

Para a aplicação da metodologia, o primeiro passo é a definição dos objetivos (a síntese que se pretende obter a partir da combinação de variáveis) para a seleção de temas de mapeamento e estruturação da base de dados cartográfica e alfanumérica.

A Análise de Multicritérios é o desdobramento da abordagem sistêmica estruturada através de métodos e técnicas permitidos pelas geotecnologias. Conforme Monteiro (2000, p.81) o tratamento geo-sistêmico visa à integração das variáveis "naturais" e "antrópicas" (etapa análise), fundindo "recursos", "usos" e "problemas" configurados (etapa integração) em "unidades homogêneas" assumindo papel primordial na estrutura espacial (etapa síntese) que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente na (etapa aplicação) do "diagnóstico".

Xavier-da-Silva (2001:11) complementa o raciocínio: "*É preciso lembrar, no entanto, que a modelagem ambiental é por si mesma complexa. É praticamente impossível lançar luz, ao mesmo tempo e com a mesma intensidade, sobre todos os aspectos da realidade ambiental. Os modelos ambientais representam sínteses que se resolvem segundo a expressão espacial das entidades envolvidas, ou seja, sua distribuição territorial. Como sínteses, constituem-se como uma visão de conjunto, altamente elucidativa do jogo integrado dos fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos, responsáveis pela realidade ambiental. Não podem, ao mesmo tempo, conter todos os aspectos desta realidade, tendo que restringir-se aos eventos e entidades relevantes".*

Estruturada a coleção de dados, eles são trabalhados na forma de mapas temáticos ou planos de informação que retratam superfícies potenciais de distribuição da variável. Os planos de informação podem ser armazenados em formato vetorial ou matricial, mas há fortes tendências para o predomínio das operações dos modelos em formatos matriciais (*raster*). A questão se justifica pela relação de topologia implícita ao processo matricial, o que não só aperfeiçoa o cruzamento de dados, como também é condição *sine qua non* em alguns modelos. Moura (2007, p. 2902) explica a lógica de combinação de variáveis: "*O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por "knowledge driven evaluation", ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por "data-driven evaluation" que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas".*

A promoção de síntese de variáveis e a atribuição de pesos e notas para sua integração através de consultas a especialistas seguem, de acordo com Bertalanffy (apud Christofoletti,1979:XI), a seguinte lógica:

"Dado un determinado objetivo, encontrar caminos o medios para alcanzarlo requiere que el especialista en sistemas (o el equipo de especialistas) considere soluciones posibles y elija las que prometen optimización, con máxima eficiencia y mínimo costo en una red de interacciones tremendamente compleja. Esto requiere técnicas complicadas y computadoras para resolver problemas que van muchísimo más allá de los alcances de un matemático".

A Árvore de Decisões é um fluxograma que demonstra como serão combinadas as variáveis pelo processo de álgebra de mapas. Neste trabalho a álgebra adotada foi de média ponderada, sendo os pesos e notas sugeridos por especialistas que dominavam tanto o fenômeno retratado em cada mapa, como tinham conhecimento específico sobre o território de estudo.

A atribuição de pesos e notas para as variáveis combinadas por multicritérios pode seguir, segundo Bornham-Carter (1994), o processo de *data-driven evaluation* ou o processo de *knowledge-driven evaluation*. O processo de atribuição de valores guiado pela pesquisa do comportamento dos dados, também conhecido como data-mining, busca identificar comportamentos e valores padrão para a ocorrência de

determinados fenômenos, e o resultado desta mineração é aplicada como referência na atribuição de pesos e notas. Por outro lado, a atribuição de valores obtida pelo conhecimento especialista surge de entrevistas a aqueles que têm domínio do fenômeno estudado e do território mapeado, sendo que o método mais conhecido para a busca de maximização de consendo é o método Delphi.

O método Delphi, segundo o Instituto de Estudos Avançados da USP (2004, p.5) é: "*A evolução em direção a um consenso obtida no processo representa uma consolidação do julgamento intuitivo de um grupo de peritos sobre eventos futuros e tendências. A técnica baseia-se no uso estruturado do conhecimento, da experiência, e da criatividade de um painel de especialistas, no pressuposto que o julgamento coletivo, quando organizado adequadamente, é melhor do que a opinião de um só indivíduo, ou mesmo de alguns indivíduos desprovidos de uma ampla variedade de conhecimentos especializados*." Na definição do número de especialistas a serem consultados, estudos do IEA-USP (op. cit) indicam, a partir de referências de Vichas (1982, apud IEA-USP, 2004), que eles podem ser entre 15 e 30 pessoas.

3. Materiais, dados e métodos

A elaboração do mapeamento de manchas urbanas em escala regional, como o necessário para o trabalho aqui apresentado, é classicamente realizada através de processamento digital de imagens de satélite de média resolução ou de vetorização a partir de imagens de melhor resolução. Os estudos foram iniciados testando essas fontes e os resultados que poderiam ser obtidos. Contudo, para estudo de uso e ocupação do solo, crescimento das manchas urbanas, cálculo de métricas das formas da ocupação, entre outros, seria necessário obter representações espaciais capazes de identificar as nuances de suas morfologias, tais como os braços de eixos, as formas conformadas pelos agrupamentos, enfim: um nível mais bem detalhado que o promovido pela generalização das classificações de imagens de satélite.

3. 1. Criação das manchas de ocupação antrópica no território

A proposta foi a de criar uma metodologia de aproveitamento de dados pontuais a partir de postes de energia elétrica da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e explorar suas potencialidades para agregar condições de interpretação da ocupação humana no espaço a partir dos dados. A coleção de dados pontuais de postes e seus atributos de uso fazem parte do Projeto GEMINI da CEMIG, aos quais aplicamos modelos de transformação de dados pontuais em manchas de agrupamento do serviço, o que conforma a mancha atropizada na área de estudo, ou seja: a representação mais próxima da real mancha de ocupação urbana que se pode obter (Figura 4-47, Figura 4-48, Figura 4-49).

O argumento se baseia no fato de que o serviço de energia elétrica em Minas Gerais é muito bem distribuído, chegando onde há ocupação humana do território, independente de ser área rural ou urbana. Destaca-se que a área de estudo se localiza na Região Metropolitana de Belo Horizonte, aonde chega eletrificação em praticamente 100% de onde há ocupação humana. O mesmo não pode ser dito sobre o mapeameneto de qualquer outra infra-estrutura, pois não há este rígido controle da informação por geoprocessamento de qualquer outra variável, seja ela rede de água, esgotamento sanitário, geo-referenciamento de unidades domicialires, entre outras. O banco de dados de poste separa o serviço em área rural e urbana, o que nos permitiu fazer a mancha da área antropizada total, a área antropizada em espaço rural e a área antropizada em espaço urbano.



Figura 4-47. Nuvem de pontos de postes de fornecimento de energia elétrica na RMBH – Projeto GEMINI – CEMIG



Figura 4-48. Detalhe da nuvem de postes de fornecimento de energia elétrica na RMBH – Projeto GEMINI - CEMIG

Attributes of ConsumidoresPostes

FID	Shape	FUSO	ABSCISSA	ORDENADA	CLASSE	QUANTIDADE
65514	Point	23	590330	7783229	Residencial	72
65515	Point	23	593380	7757760	Rural	1
65516	Point	23	610084	7815627	Residencial	63
65517	Point	23	611550	7795886	Comercial	938
65518	Point	23	604779	7762675	Residencial	3
65519	Point	23	605228	7810910	Residencial	72
65520	Point	23	611739	7825931	Residencial	1
65521	Point	23	604120	7761870	Residencial	6
65522	Point	23	609967	7793612	Residencial	14
65523	Point	23	605693	7811316	Residencial	18
65524	Point	23	610255	7795845	Industrial	1
65525	Point	23	559287	7788892	Industrial	3
65526	Point	23	606567	7792050	Comercial	1
65527	Point	23	615399	7802717	Residencial	16
65528	Point	23	630391	7810605	Residencial	16
65529	Point	23	585151	7793516	Residencial	4
65530	Point	23	609942	7806020	Residencial	42
6553	Point	23	601528	7794615	Comercial	4

Record: 65532 Show: All Selected

Figura 4-49. Detalhe da base de dados alfanumérica associada aos postes (uso e ligações).

A partir da nuvem de postes foram aplicados buffers para definição das áreas de influência de cada poste, definindo assim uma mancha de distribuição do serviço. Foram utilizados buffers de 50 e de 100 metros, definindo assim uma área de alcance máximo para a influência do poste. Como a escala de trabalho era a região metropolitana, observou-se que a mancha resultante da soma dos buffers de 100 metros de cada poste era bastante adequada às investigações (Figura 4-50). Destaca-se que a definição deste buffer seguiu indicação técnica da empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica de que a infra-estrutura implantada pode atender até esta distância territorial. Mapeada a mancha, realizou-se então procedimento de filtragem do resultado, para se trabalhar apenas com áreas maiores que a influência de um único poste isolado, e concentrar os cálculos, métricas e observações nos aglomerados da ocupação antrópica (Figura 4-51).



Figura 4-50. Postes de energia elétrica e manchas de área de influência do serviço, formando a área antropizada



Figura 4-51. Postes e manchas de área de influência, reduzidas para retirada das manchas de poste isolado, visando destaque das áreas aglomeradas da ocupação antrópica

3.2. Potencial de Interação – estudos da rede de centralidades, acessibilidades e impedâncias no território da RMBH

O trabalho adotou apenas com a rede rodoviária, a qual foi subdividida em: a) Existente; b) Proposta do Estado; c) Proposta do PDDI. Na rede rodoviária existente levaram-se em consideração as rodovias e as principais vias urbanas, compostas por avenidas e vias arteriais. Quando necessário, as informações foram atualizados com base em imagens de satélite *Rapid Eye* de 2009. Os pontos de referência, locais onde foram inseridas as massas para calcular o PI, foram sedes e distritos municipais e algumas localidades que foram identificadas nas pesquisas junto às prefeituras pela equipe USDEC-PDDI (Figura 4-52).

A massa de cada ponto foi correspondente à quantidade de consumidores de energia elétrica que têm seu cadastro na CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais – definido como atividade comercial, de serviços ou industrial. Esses dados foram retirados do número de ligação que cada poste da CEMIG, dentro da RMBH, faz para estabelecimentos que possuem esses fins. Como esses dados são pontuais e dispersos no território, foi necessário definir uma área de abrangência para cada ponto de controle da rede montada para o PI. A área de cada ponto foi definida pelo agrupamento de Áreas Homogêneas em *Campos*, unidade territorial comumente usada para fins de estudo e planejamento (Figura 4-53).

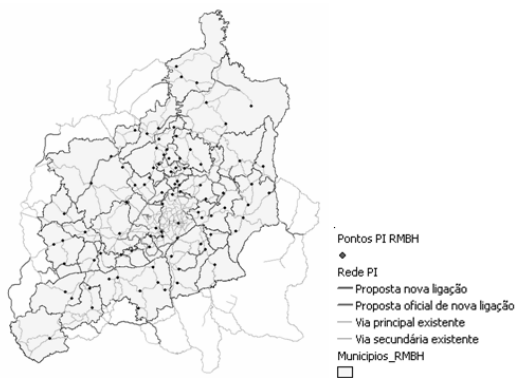


Figura 4-52. Rede rodoviária e pontos referência



Figura 4-53. Postes da CEMIG e Áreas Homogêneas

Buscou-se com isso uma massa que desse a noção da concentração de atividades comerciais, de serviços e industriais em cada região, o que é um dos retratos da dinâmica econômica de cada um desses pontos. É importante destacar que a coleção de dados sobre os postes apresenta o número de ligações por poste por atividade, o que permitiu gerar quantitativos do conjunto de atividades por área. Foi discutida em reunião do PDDI a possibilidade de ponderar esses valores segundo o grau de importância da localidade, de modo a separar, por exemplo, uma atividade comercial de uma localidade de baixa influência de uma mesma atividade localizada em área de maior impacto no conjunto. Esta ponderação ainda será considerada.

Com a rede montada, os pontos definidos e com a massa associada, foi testado o PI em três diferentes cenários: 1 – Com as vias existentes; 2 – Com as vias existentes mais a proposta de novas vias do governo do estado; 3 – Com as vias existentes, propostas do estado mais as propostas da equipe do PDDI. Os resultados foram organizados em tabelas que demonstram as transformações na interação desses pontos na rede, e foram espacializados como mapas através da criação de Polígonos de Áreas de Influência.

3.3 Polígonos de Voronoi

Uma vez estruturada a rede do PI e calculados os resultados de interação entre os pontos relacionados na tabela, foi promovida a construção da influência territorial desses pontos, através do modelo de Polígono de Voronoi. Esse procedimento, realizado no software SAGA-LabGeo-UFRJ, considerou os mesmos pontos de referência do PI, porém com massas variadas.

Primeiramente foram trabalhadas as mesmas massas utilizadas no PI, ou seja, a quantidade de comércios, serviços e indústrias por agrupamentos de áreas homogêneas, expresso no Mapa 1. Posteriormente foram elaboradas as áreas de influência dos pontos de acordo com os resultados três resultados obtidos no PI, ou seja: 1) PI com as vias existentes; 2) PI com vias existentes + proposta do estado; 3) PI com vias existentes + proposta do estado + proposta do PDDI.

3.4. Superfície de Atrito

Foram organizadas camadas de informação em diferentes escalas, sendo a de menor detalhe as originadas a partir do mapeamento geológico. Decidiu-se pela adoção da unidade territorial de integração de dados no valor de *pixel* ou célula de 50 metros, o que atende ao critério de precisão cartográfica, como, sobretudo, pela de dimensão de interesse para a análise territorial, uma vez que a resposta por unidade de área de 50 por 50 metros é mais do que suficiente para os estudos do PDDI.

Essa superfície foi gerada por meio de cruzamentos de diversas variáveis, segundo pode ser observado na Árvore de Decisões (Figura 4-54).

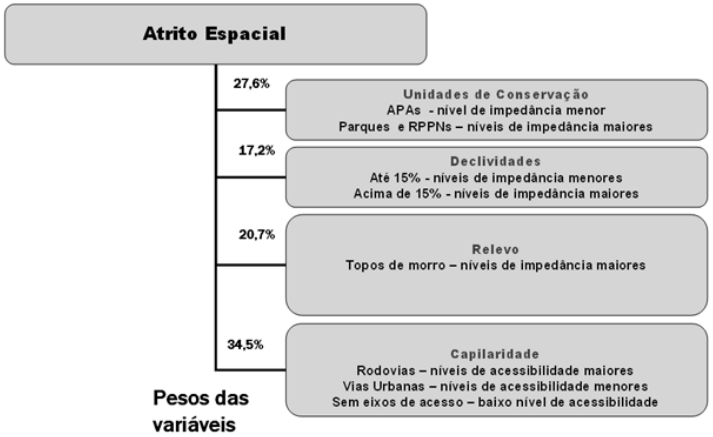


Figura 4-54. Árvore de Decisões

a) Grau de Capilaridade: corresponde à densidade e ao tipo de vias existentes (urbanas, rodovias, avenidas ou arteriais). As áreas em vermelho são desprovidas de vias de acesso, enquanto as áreas em verde escuro possuem maior densidade de vias e/ou vias de maior capacidade. (Figura 4-55).

b) Topografia: delimita faixas de maior altimetria (vermelho) indicando topos de morro, protegidos por legislação específica. (Figura 4-56).

c) Presença de unidades de conservação: indica as áreas de Proteção Integral (vermelho) e de Uso sustentável (amarelo), delimitadas por Parques, RPPN e Áreas de Preservação Ambiental. (Figura 4-57).

d) Declividades: indica as áreas de maior declividade (vermelho a amarelo) e aquelas mais planas, com maior facilidade de acesso. (Figura 4-58).

Todas essas informações foram cruzadas por meio de Análise de Multicritérios, o que nos proporcionou sintetizar esses fatores de modo a considerá-los como uma superfície de atrito para acessibilidade e expansão urbana. (Figura 4-59).

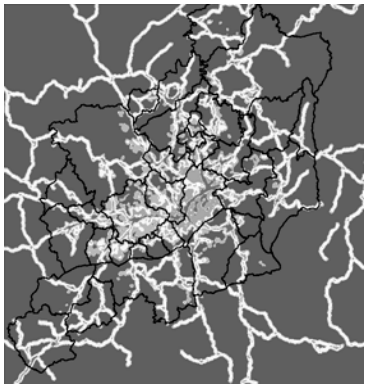


Figura 4-55. Grau de Capilaridade

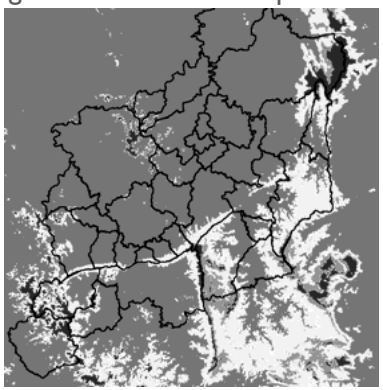


Figura 4-56. Topografia com as faixas de maior altimetria

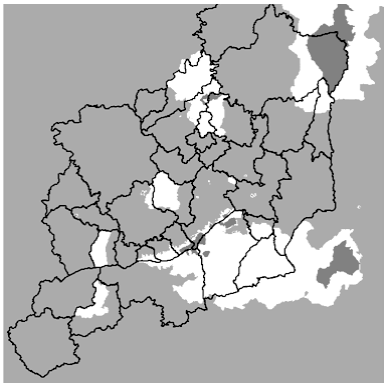


Figura 4-57. Unidade de Conservação na RMBH

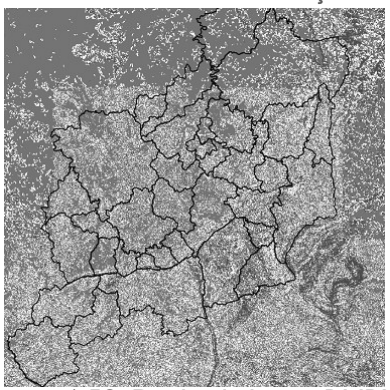


Figura 4-58. Declividades na RMBH

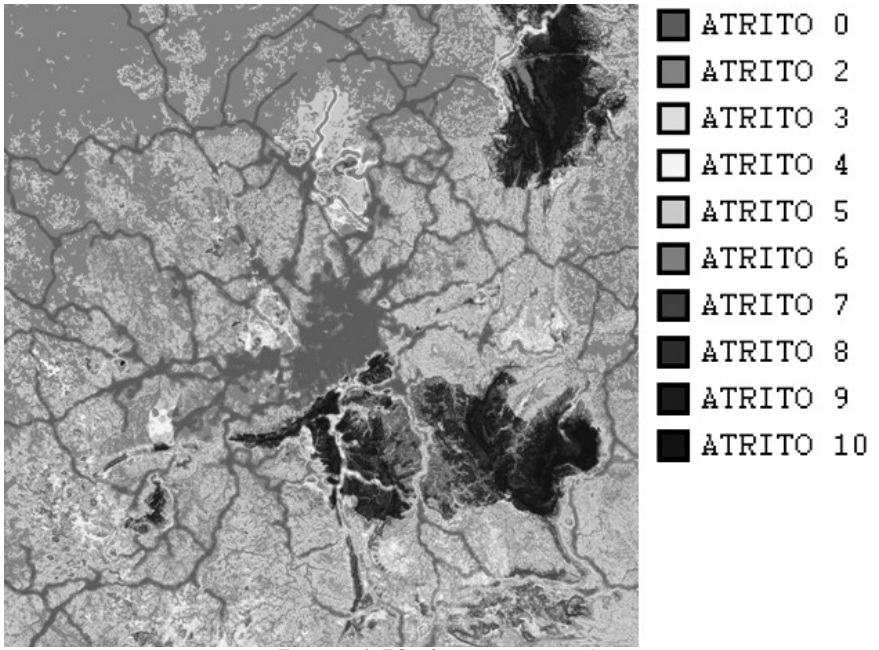


Figura 4-59. Atrito espacial

O estudo de distribuição dos postes de energia elétrica resultou no mapeamento da mancha da área antropizada na RMBH, partindo-se do pressuposto de que nesta região onde há ocupação há, certamente, energia elétrica (Figura 4-52). Foi mapeada separadamente e conjuntamente ocupação antrópica rural, urbana, e na ocupação urbana a distribuição dos tipos de uso.

Muitas foram as aplicações dos resultados obtidos, entre os quais citamos o trabalho do grupo MOM (Morar de Outras Maneiras) da Escola de Arquitetura, que partiu dessa espacialização para o estudo mais detalhado da vacância imobiliária na região. A equipe do Laboratório de Geoprocessamento da mesma escola elaborou o estudo de vacância da ocupação territorial, em escala menos detalhada que a domiciliar.

Uma forma que o estudo permite a identificação da vacância territorial é o comparativo da mancha antropizada a partir dos postes com a mancha de área antropizada obtida por classificação de imagens de satélite. Onde a classificação da imagem indica área urbana ou antropizada e não há manchas de poste, isto significa que houve alteração da paisagem através de implantação de novas glebas ou de solo exposto, mas isto não foi seguido de implantação de energia elétrica. Na RMBH este tipo de combinação significa vacância na ocupação, uma vez que onde há pessoas há luz.

A imagem de satélite classificada para os estudos foi a *Rapid E*ye, resolução de 5 metros. A classificação por processamento digital das imagens *Rapid Eye* se mostraram particularmente interessantes para a identificação de padrões de cobertura vegetal (vegetação rasteira, arbustiva e arbórea), inclusive em manchas de vegetação de área intra-urbana; assim como para a identificação de áreas antropizadas, caracterizadas por ocupação urbana e solo exposto (Figura 4-60,4-61 e 4-62).

Na Figura 4-63 é possível observar com clareza que as duas áreas em questão (mancha de área antropizada por agrupamento dos postes e mancha de área antropizada na imagem de satélite) são coincidentes, ou seja, a resposta para a metodologia aplicada no aproveitamento das informações por postes foi satisfatória. As figuras subseqüentes são aproximações que mostram que essa metodologia fornece outras informações importantes.

Observa-se que as Áreas Antropizadas, além de estarem de acordo com o uso do solo observado na imagem de satélite, facilitam a compreensão do mesmo. Na Figura 4-64 é apresentada uma área que visualmente poderia ser classificada como região de vegetação densa, de vegetação rasteira e de solo exposto. Porém, a densidade de postes da CEMIG presentes ali leva a entender que existe uma concentração de pessoas e de atividades humanas nessa área. Dessa maneira, as informações geradas a partir de uma fonte de dados confiável podem ser determinantes na hora de inferir sobre o uso e ocupação do solo nessa área.

Outra dúvida quanto à interpretação da imagem de satélite que pôde ser sanada a partir da comparação com as Áreas Antropizadas está exemplificada na Figura 4-65. Nesta área são vistas manchas de solo exposto, aparentemente pela abertura de novas vias, onde dificilmente seria localizada a concentração das atividades e ocupação humana. É certo interpretar que toda a área sofre influência das atividades humanas, porém pela concentração de postes observa-se que há um núcleo bem definido onde se concentram as ocupações e atividades.

Essa metodologia se mostrou eficaz para determinação de manchas de ocupação humana tanto para os grandes centros urbanos quanto para as zonas rurais da RMBH. Esses dados são constantemente atualizados pela CEMIG, por isso as Áreas Antropizadas geradas contemplam,

também, zonas aonde vêm ocorrendo uma expansão urbana recente, como Sabará. É importe ressaltar a confiabilidade da fonte dos dados e a precisão dos mesmos no que diz respeito ao uso e ocupação do solo pelas atividades humanas (Figura 4-66).

Uma análise territorial realizada a partir do estudo das distribuições espaciais dos postes foi a superfície de densidade de Kernel, simples e ponderada. A densidade de Kernel simples indica as áreas de concentração de postes, o que é um indicativo muito expressivo na localização de centralidades da ocupação territorial, sobretudo quando se separa como foi o caso dos postes que atendem a atividades de comércio e indústria (Figura 4-67). A densidade de Kernel ponderada mapeia as áreas de concentração de postes, mas com destaque para a concentração dos postes que apresentam maior número de ligações, sendo o resultado a identificação das principais atividades de comércio e indústria no território (Figura 4-68).

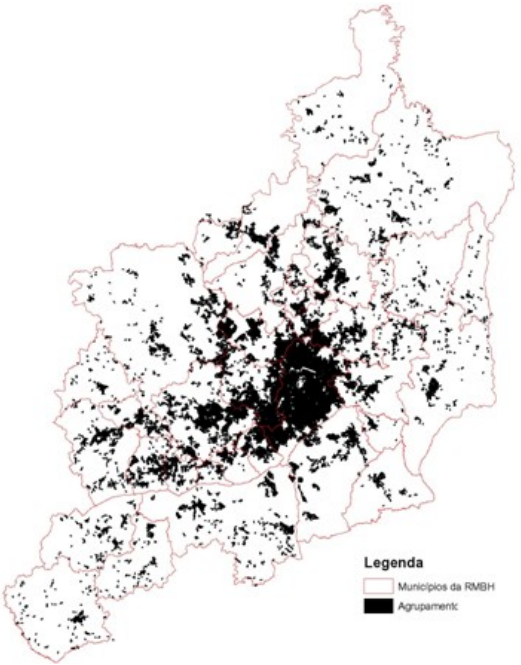


Figura 4-60. Manchas urbanas na área de estudo

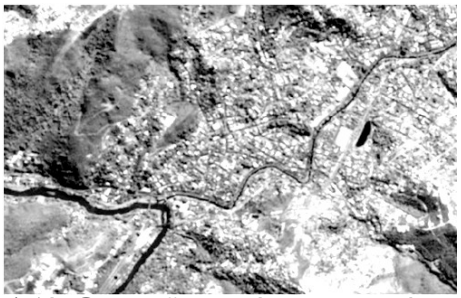


Figura 4-61. Ocupação antrópica – mancha urbana.
Imagem Rapid Eye composição 456-BGR

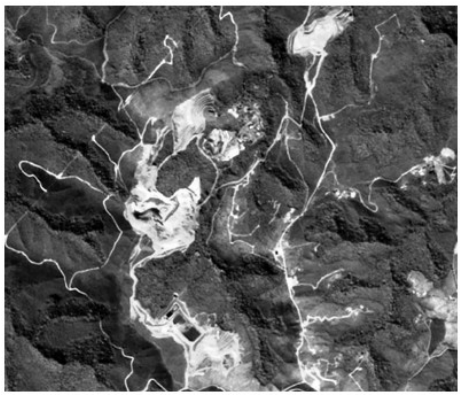


Figura 4-62. Ocupação antrópica – solo exposto
Imagem Rapid Eye composição 456-BGR

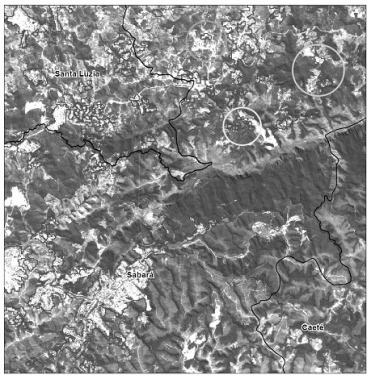


Figura 4-63. Imagem Rapid Eye e manchas de áreas antropizadas geradas pelo agrupamento de postes

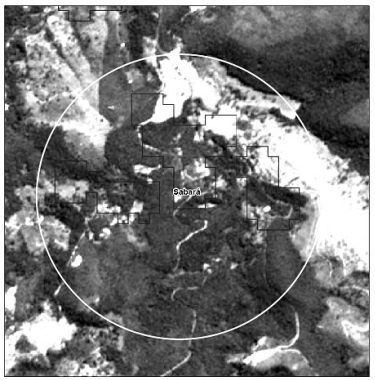


Figura 4-64. Zona rural de Sabará – MG na imagem Rapid Eye

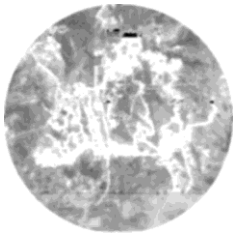


Figura 4-65. Solo exposto e área antropizada

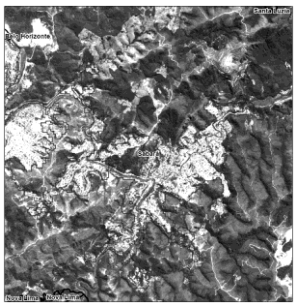


Figura 4-66. Limite de mancha urbana coincidente com as áreas antropizadas



Figura 4-67. Kernel por concentração de postes



Figura 4-68. Kernel ponderado por número de ligações no poste

5. Discussão e resultados da avaliação

Muitas abordagens nos estudos da Região Metropolitana de Belo Horizonte têm sido construídas a partir da coleção de dados dos postes, tanto através da avaliação das manchas de áreas antropizadas como do arranjo espacial da distribuição dos postes.

5.1. Mapas de áreas de influência – Polígonos de Voronoi e Atrito Territorial

Os mapas de área de influência das centralidades pelos Polígonos de Voronoi permitem avaliar até onde vai a mancha de atratividade de cada ponto da rede, de cada centralidade. Foram estudadas diferentes situações de combinação do atrito ambiental (que pode dificultar ou favorecer ligações entre os pontos da rede) com valores de massa (quantitativo indicativo do poder de força do ponto). Inicialmente considerou-se como massa a quantidade de estabelecimentos de comércio, serviços e indústria na área homogênea da centralidade. Depois foi considerado como massa o valor obtido no cálculo do Potencial de Interação entre as centralidades, usando como base de cálculo da interação a rede viária existente. Depois foi considerado como massa o valor obtido no cálculo do Potencial de Interação entre as centralidades, usando como base de cálculo da interação a rede viária existente somada à simulação das novas vias que estão sendo propostas pelo governo do estado. Finalmente, foi considerado como massa o valor obtido no cálculo do Potencial de Interação entre as centralidades, usando como base de cálculo da interação a rede viária existente somada à simulação das novas vias que estão sendo propostas pelo governo do estado e somada à simulação de novas vias propostas pela equipe do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Mapa de áreas de influência por concentração de atividades econômicas (Figura 4-69)

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: Quantidade de estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços por campos de áreas homogêneas.

Observação: A área de influência de Belo Horizonte aparece, em todos os mapas, na cor cinza, dando o aspecto de plano de fundo. Isto porque a influência da capital é incomparável às outras localidades do conjunto, mas é importante observar como isto pode ser equilibrado com as atuações na estruturação da rede, ajuste das massas e consideração dos atritos ou impedâncias.

Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes (Figura 4-70)

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: Valor do Potencial de Interação de cada ponto obtido no estudo do conjunto das vias existentes.

Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do governo do estado. (Figura 4-71)

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: Valor do Potencial de Interação de cada ponto obtido no estudo do conjunto das vias existentes mais o conjunto de vias propostas pelo governo do estado.

Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do governo do estado + propostas pela equipe do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (Figura 4-72)

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: Valor do Potencial de Interação de cada ponto obtido no estudo do conjunto das vias existentes mais o conjunto de vias propostas pelo governo do estado, mais as vias propostas pela equipe do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Pôde-se perceber, analisando os resultados, que a atual distribuição das atividades econômicas na RMBH, bem como a configuração do sistema viário existente, promove o aparecimento de áreas de influências muito desiguais. Observa-se que a grande maioria dos núcleos urbanos sofre forte influência de seus vizinhos mais fortes. Muitos deles, mesmo os distantes, sofrem forte interferência de Belo Horizonte, o que comprova que a configuração da malha rodoviária da RMBH, radial com eixos centrífugos que saem de Belo Horizonte, reforça a influência da capital sobre toda a região.

A sucessão dos mapas gerados nas análises espaciais comprova que seria possível ter uma distribuição mais igualitária das áreas de influência, caso fossem implantadas novas vias. Contudo, vale discutir se é esse o modelo de gestão que o governo pretende adotar para a RMBH. A análise gerada não permite inferir sobre as descontinuidades e barreiras espaciais que surgirão com a criação de novas rodovias. Tampouco podemos afirmar sobre a melhoria do tráfego na região a partir da criação dessas. O modelo responde, sim, sobre a ampliação do acesso aos territórios e sobre o provável impacto sobre as localidades.

É possível alimentar o modelo estruturado com novos dados e realizar novas simulações, tais como a ponderação dos valores de massa em função da importância do ponto, a simulação dos resultados da criação de novas vias, entre outros.

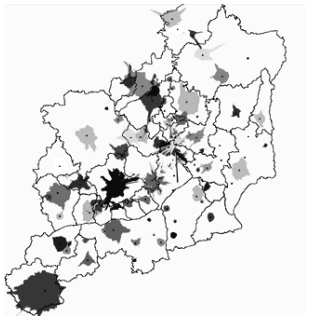


Figura 4-69. Àreas de influência por concentração de atividades econômicas

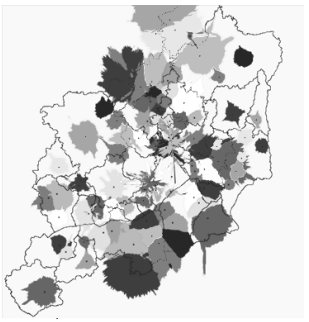


Figura 4-70. Áreas de influência por PI de vias existentes

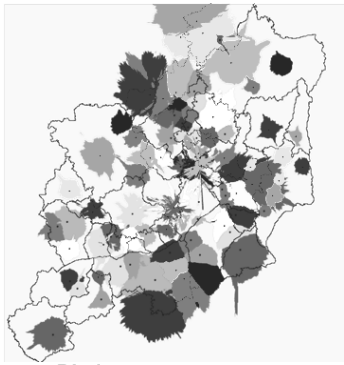


Figura 4-71. Áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do governo do estado



Figura 4-72. Áreas de influência do PI de vias existentes + propostas do estado + propostas do PDDI

6. Conclusões

O Laboratório de Geoprocesamento da Escola de Arquitetura da UFMG está se empenhando na exploração das fontes de dados aqui abordadas: a coleção de postes e as imagens *Rapid Eye*, para dar apoio às decisões do PDDI – Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com destaque para as informações relativas à formação de centralidades. O estudo das centralidades faz parte da abordagem sobre a acessibilidade e fluxos de deslocamento e interação entre as manchas de ocupação do território, cujas investigações poderão ser acompanhadas nas publicações do Laboratório: http://www.arq.ufmg.br/Laboratorio_Geo/

Destacam-se os estudos já iniciados e publicados sobre métricas das morfologias das manchas de ocupação antrópica, que visam avaliar os motivos da distribuição da ocupação na área (condicionantes), assim como realizar previsões sobre áreas mais dinâmicas, áreas mais estáticas, áreas com maior integração ao conjunto em função do grau de conectividade, áreas com potencial de expansão no território. O presente estudo visa demonstrar que, muitas vezes, a falta da coleção de dados estruturada como seria o ideal, pode se transformar em um desafio para o desenvolvimento de metodologias que resultem no aproveitamento de informações existentes. No início dos estudos foi-se à busca do mapeamento da ocupação do território com a expectativa de ter acesso a camadas de informações atualizadas sobre as vias urbanas, assim como o registro das unidades domiciliares, ou mesmo o acesso a imagens de alta resolução, o que não foi possível.

Diante da falta de informações, iniciou-se um processo de proposição de roteiro metodológico que resultou não só no mapeamento de caracterização das manchas de ocupação antrópica no território, como também permitiu a aplicação de modelos de análise espacial. Os modelos de análise espacial responderam pela indicação das centralidades no conjunto da região metropolitana, pelas condições de conexão e interação entre as centralidades, assim como simularam como favorecer um melhor equilíbrio entre as centralidades através da promoção de novas vias de ligação. É o emprego do geoprocessamento em estudos de simulação de transformações territoriais.

Agradecimentos

Agradecemos à valiosa colaboração da CEMIG, pela concessão de dados do projeto GEMINI para as investigações do PDDI – Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Referências bibliográficas

Al GORE. (1998): The Digital Earth: understanding our planet in the 21st Century. California Science Center, Los Angeles. [Consulta: 01-04-2000]. Disponível em http://www.digitalearth.gov/vision.html.

BONHAM-CARTER, Graeme F (1994): Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS. Ottawa: Pergamon.

CHRISTOFOLETTI, A (1979): Análise de sistemas em geografia: introdução. São Paulo: Hucitec.

CHRISTOFOLETTI, Antonio, MORETTI, Edmar, TEIXEIRA, Amandio L.A. (1992): Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica. Rio Claro.

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS da USP (2004): Projeto Brasil 3 Tempos, Dimensão Global. São Paulo, USP. (relatório técnico).

MONTEIRO, C. A. de F. (2000): Geossistemas - A História de uma Procura. São Paulo: Contexto.

MOURA, Ana Clara M. (2010): Estudo exploratório de aplicação de métricas de paisagem na caracterização da dinâmica de transformação regional – potenciais de transformação das manchas urbanas. Anais VIII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - ENABER, Juiz de Fora, Brasil, UFJF.

MOURA, Ana Clara M. (2005): Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 2a. ed. Belo Horizonte, Ed. da autora.

MOURA, Ana Clara M. (2009): Discussões metodológicas para aplicação do modelo de Polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência fenômenos em ocupações urbanas – estudo de caso em Ouro Preto – MG. Anais do VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos – ENABER. São Paulo, FEA/USP.

MOURA, Ana Clara M. (2007): Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE. pp. 2899-2906.

VICHAS. R. P. (1982): Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques. Englewood Cliffs, Pretice-Hall, apud INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS da USP. Projeto Brasil 3 Tempos, Dimensão Global. São Paulo, USP, 2004. 44 p. (relatório técnico).

XAVIER-DA-SILVA, J. (2009). O que é Geoprocessamento? Revista do CREA-RJ, 79, Rio de Janeiro, pp. 42 - 44, 30 out.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. (2001). Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro, D5 Produção Gráfica.

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE DAÑOS DIRECTOS POR INUNDACIÓN EN ZONAS HABITACIONALES CON EMPLEO DE CURVAS COSTO VERSUS ALTURA DE AGUA ALCANZADA: CASO DE ESTUDIO VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD, ESTADO DE MÉXICO

Carlos Diaz-Delgado[1], José Emilio Baro Suarez[2], Sayuri Bedolla Lara[2], Juan Carlos Diaz Espiritu[3]

RESUMEN

Las curvas de daños por inundación en función de la altura de agua alcanzada, facilitan la estimación de daños directos generados. Este tipo de curvas constituyen uno de los métodos de evaluación directa más utilizados. En el presente trabajo se propone una metodología automatizada y supervisada de validación de las curvas obtenidas en 2011 para la República Mexicana (Baró et al., 2011) con base en el análisis de la inundación acaecida en 2010 por ruptura del dique del río La Compañía, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México. Así, con en el desarrollo de una base de datos geoespacial y procedimientos implementados en el *software ArcView* 3.2, las zonas habitacionales se caracterizan en función del índice de marginación urbana y del Área Geo-estadística Básica, definiéndose 5 tipos de vivienda. Las curvas de costo mínimo, máximo y más probable encontradas han sido empleadas para estimar el costo de daños directos de la zona afectada. Con los resultados obtenidos se pretende contribuir en los procesos de evaluación de medidas pertinentes para prevenir o mitigar futuras afectaciones por inundación.

Palabras clave: inundación, zona urbana, daños-inundación, río La Compañía, Valle de Chalco Solidaridad, México.

[1] **Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec S/N, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, C.P.: 50130, México. cdiazd@uaemex.mx.** [2] **Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México Cerro de Coatepec S/N, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, C.P.: 50130, México,2 diaz.espirutu@hotmail.com; sayuri_bedolla@hotmail.com.** [3] **Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México. Mariano Matamoros S/N, Colonia Universidad, Toluca. C.P.: 50130, México[3] barosuarez@hotmail.com**

FLOOD COST ESTIMATION BY DIRECT DAMAGES IN RESIDENTIAL AREAS USING WATER HEIGHT REACHED VERSUS COST CURVES: THE CASE OF VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD, STATE OF MEXICO.

ABSTRACT

Stage-damages curves for flood estimation based on the water height reached allow the assessment of the generated damages. This method is the most widespread process used as a direct evaluation. In this work it is proposed an automatic and supervised validation methodology to the stages-damages curves presented in 2011 for the Mexican Republic (Baró et al., 2011) taken into account the flood event occurred in 2010 after the La Compañía river failed, located in Valle de Chalco Solidaridad, State of Mexico. Then, a set of processes has been implemented in the ArcView 3.2 software in order to classify the residential areas as a function of the Basic Geo-Statistical Area and the Urban Marginalization Index, obtaining five categories. Minimum, maximum and most probable stage-damages curves found were employed to estimate the direct damage of the total flooded area. These results could improve the evaluation procedures of measures to prevent or mitigate the future flood damages.

Key words: *flood, urban zone, flood-damages, La Compañía river, Valle de Chalco Solidaridad, Mexico.*

1. Introducción

Las inundaciones constituyen el fenómeno hidrológico de mayor impacto en la sociedad. Prueba de ello es que representan el 50% de los desastres naturales (no biológicos) que ocurren a nivel mundial (EM-DAT, 2009). Estas inundaciones frecuentemente se producen en zonas llanas, donde suelen existir importantes asentamientos humanos y una intensa actividad económica (industrial, agropecuaria o de servicios). Por tanto, al producirse un hecho de esta naturaleza, las pérdidas humanas, socioeconómicas e incluso ambientales suelen ser muy elevadas. Ejemplo de ello, es que para 2008 los fenómenos hidrológicos afectaron a nivel mundial a 44.9 millones de personas, con daños económicos valorados en 1 905 mil millones de US$ (Rodríguez et al., 2009).

En el caso de México destacan las inundaciones acaecidas en el Estado de Tabasco en los años 2007 y 2008. En el primero, el de mayor impacto, se sumergió el 70% del territorio estatal con tirantes de agua de hasta 4 metros (Aparicio et al., 2009). Esto afectó a más de 1.5 millones de habitantes, cuyas pérdidas económicas superaron los 32 mil millones de pesos (CENAPRED, 2009a y b).

Por lo anterior la estimación económica de estos daños, antes y después del evento, cobra gran relevancia, sobre todo si se utiliza para el análisis de beneficios. Estos últimos se pueden obtener al implementar medidas que mitiguen el efecto de las inundaciones en el futuro, ya que generalmente se requiere de inversiones económicas significativas (Dutta et al., 2003).

Con el objeto de contribuir al análisis de los métodos de evaluación directa con viabilidad para la República Mexicana, se presenta una metodología para la validación supervisada de las curvas propuestas que representan la integración de la función daño económico/profundidad de la inundación. Lo anterior centrándose en la valoración económica de daños tangibles directos en zonas habitacionales y utilizando, para ello, el desarrollo de procesos automatizados en el *software ArcView 3.2* (ESRI, 1996) y la estimación del costo de inundación más probable con ayuda de una función de distribución beta como modelo probabilístico con aplicación al caso de estudio de Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México (México).

2. Antecedentes

En el análisis de daños producidos por inundación, un primer paso es clasificar los tipos de perjuicios ocasionados. Para ello existen varias técnicas, pero una de las más usuales es la presentada por Nascimento y colaboradores (Nascimento et al., 2007) y Jonkman y colaboradores (Jonkman et al., 2008). En dichos trabajos, se definen dos tipos de daños: los tangibles y los intangibles. Los primeros son los que se miden con base en un valor monetario, mientras que los otros no pueden ser medidos en tales términos, al menos de manera sencilla. Los daños tangibles se dividen en dos subtipos: los directos, producidos por contacto con el agua, y los indirectos, que son causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas. Éstos incluyen costos por: el desalojo del agua; la interrupción del transporte carretero y de servicios públicos; pérdidas en salarios y en beneficios de los negocios, entre otros. Los daños intangibles también han sido divididos en directos, representados fundamentalmente por las pérdidas de vidas humanas, así como por las ambientales, históricas y culturales; y los indirectos, donde se incluyen las afectaciones a la población que se reflejan en estados de ansiedad, estrés psicológico y problemas de salud.

Los análisis de evaluación directa son los más desarrollados y utilizados a nivel mundial. Uno de los métodos de evaluación directa más común es el basado en la integración de una función daño económico / profundidad de la inundación. En este método se utiliza una base de datos espacial que incluye información sobre usos del suelo, características hidráulicas y actividades humanas de la zona de estudio. Esta base de datos geoespacial es el soporte para determinar los tipos, severidad y localización de los daños ocasionados por una inundación (Boyle et al., 1998; Dutta et al., 2003; Baró et al., 2007a).

Baró y colaboradores (Baró et al., 2011), han propuesto un conjunto de curvas que constituyen un método de evaluación directa de daños ocasionados por inundación diseñados para la República Mexicana. Este procedimiento involucra bases de datos geoespaciales disponibles para todo el país a través de los productos generados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y otras fuentes de información nacional. Las bases de datos sobre los bienes contenidos en las viviendas facilita la cuantificación, para las diferentes clases de vivienda, considerando el tipo de bienes, su número y valor. Esta información resulta indispensable para inferir el costo generado por una inundación. Por lo anterior, el presente trabajo propone una validación supervisada y automatizada en el *software ArcView 3.2*, para hacer de esta metodología un instrumento de aplicabilidad a cualquier región del país. Estos desarrollos permitirán la comparación de resultados y aportarán mejoras a las técnicas de valoración usadas hoy en día por las autoridades competentes. Particularmente, se estiman los daños económicos tangibles directos generados por inundación del evento de ruptura del dique de contención lateral del río La Compañía, ocurrido en el mes de febrero de 2010 en Valle de Chalco, Solidaridad, Estado de México.

3. Materiales, datos y métodos

3.1. Caso de estudio.

De acuerdo con Noyola Rocha (2003), mucho antes de la llegada de los españoles a México, los antiguos moradores de Chalco y Xochimilco aprovecharon la abundancia de agua en el verano, la reducida profundidad y buen drenaje de los lagos, para convertir estas lagunas receptoras de agua dulce en zonas chinamperas. El sistema de chinampas llegó a extenderse a prácticamente la totalidad de la superficie de los lagos de Chalco y Xochimilco. El lago de Chalco era alimentado por los ríos Tlamanalco y Tenango, corrientes que recogían los caudales de las aguas de deshielo de los glaciares de iztaccíhuatl, así como de las corrientes de los montes de Zoquiapan.

Durante el gobierno de Porfirio Díaz se favoreció la creación de grandes latifundios y la inversión de capital extranjero en el país. Se emprendieron dos magnas obras de drenaje, la construcción del Gran Canal de Desagüe y el Túnel de Tequixquiac, obras destinadas a expulsar las aguas de la cuenca de México hasta su destino final en el Golfo de México.

Iñigo Noriega, empresario asturiano que gozaba del favor del General Porfirio Díaz por ser su compadre y albacea testamentario, entendió rápidamente la lógica del gobierno de drenar las aguas fuera de la cuenca de México y emprendió la tarea de planear obras en la misma dirección. En Consecuencia solicitó al gobierno federal la concesión para abrir un canal destinado a verter las aguas del Lago de Chalco en el de Texcoco, es decir, demandó se le concediera la desecación del Lago de Chalco. Con estas obras los empresarios Noriega reclamaron la propiedad de las áreas desecadas, apropiándose de 9822 hectáreas, correspondientes al total de la extensión del Lago de Chalco. Posteriormente, las zonas desecadas han presentado un crecimiento urbano sin control y a fines del siglo pasado hasta financiado por instrucciones del ejecutivo federal como parte de una estrategia desafortunada de combate a la pobreza.

Hoy en día, el Municipio Valle de Chalco Solidaridad (Estado de México) cuenta con una superficie de 46.36 km^2, tiene una población superior a 332 279 habitantes y está ubicado en el valle del antiguo lecho del lago seco de Chalco. Esta zona se localiza en la cuenca oriente del Valle de México, a una altura de 1250 msnm. Limita al oriente con Chalco, Ixtapaluca, al norte con Los Reyes La Paz, y al occidente con Tláhuac (Figura 4-73). La zona urbanizada cubre aproximadamente una superficie de 2548 ha de uso habitacional con densidad media y comercio. La zona es prácticamente plana, pues se encuentra en la fosa tectónica del antiguo Lago de Chalco. Cabe señalar que dentro del territorio municipal sólo se destacan orográficamente los cerros de Xico y del Marqués, cuerpos volcánicos con pendientes entre 10 y 30 % y altura de más de 100 m sobre el nivel medio del valle ocupando una superficie de 250 ha (Atlas PCYHCB-Valle de Chalco solidaridad, 2010). El clima de la zona en estudio es subhúmedo; con precipitación media anual entre 600 y 700 mm, temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la evaporación supera los 730 mm por año y los vientos predominantes se dirigen de Sur a Norte con velocidades entre 2 y 12 m/s. En Valle de Chalco han desaparecido prácticamente por completo la mayoría de los afluentes del antiguo lago. Actualmente sólo hacen su presencia en épocas lluviosas cuando el río de la Compañía incrementa su caudal. Adicionalmente, el agua precipitada en las cuencas de los ríos La Compañía, el Arroyo San Francisco y el Tenango, que recargan el acuífero por filtración son extraídas por bombeo para dotar de agua potable a la población.

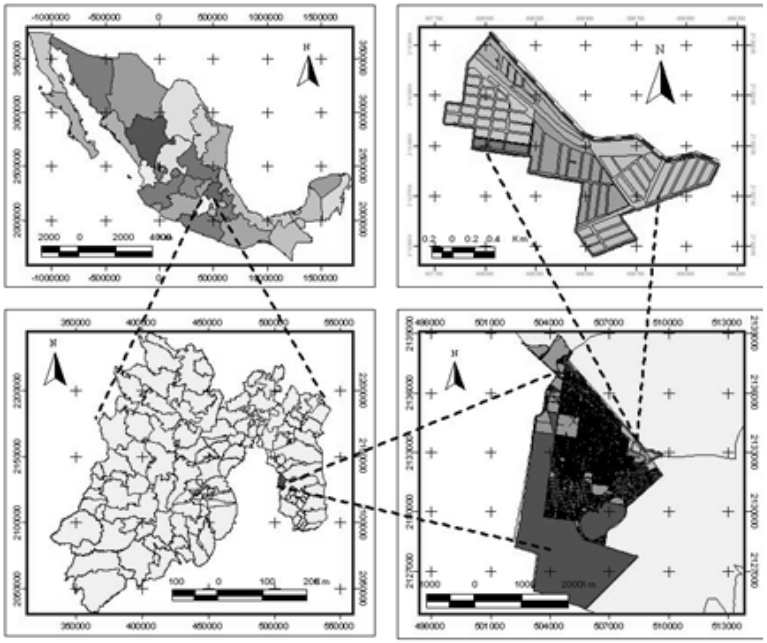


Figura 4-73. Ubicación del Municipio de Valle de Chalco Solidaridad y de la zona de estudio.

Las inundaciones en Valle de Chalco tienen su origen en la concurrencia de diversos factores de tipo histórico (toma de decisiones políticas inadecuadas), climático, geomorfológico, así como de tipo extra hidrológico (deslizamiento de laderas, barreras artificiales, etc.) e infraestructura (crecimiento urbano, cambio de uso de suelo, puentes, embalses, canales, alcantarillado, etc.). Cabe resaltar que esta situación se ha visto exacerbada en los últimos veinte años por el incremento del número de pozos de extracción de agua, sobreexplotando el acuífero y ser causa principal de subsidencias del Valle de Chalco.

Estos hundimientos, en el centro de la planicie alcanzan los 40 cm/año, donde el espesor de los sedimentos lacustres es de 300 m y se estima que la subsidencia acumulada para el 2015 será de un total de 15 m (Ortiz y Ortega, 2007). Este fenómeno de compactación y falla de las capas de suelo, ha venido favoreciendo los anegamientos y debilitando estructuralmente los diques laterales de contención del cauce del río La Compañía por reducción del empuje lateral del suelo sobre el dique. Igualmente es importante subrayar que la calidad del agua en el río La Compañía es precaria, y ello se debe a que las poblaciones de la cuenca tributaria le utilizan prácticamente como uno de los canales principales de evacuación de aguas negras.

Por lo anterior, se ha considerado que Valle de Chalco Solidaridad es una zona idónea para validar el método de evaluación directa de daños tangibles directos por inundación que ha sido propuesto por Baró y colaboradores (Baró et al., 2011). Particularmente, se propone una metodología para su empleo en la zona de inundación afectada por falla estructural del dique lateral derecho del río La Compañía en febrero del 2010.

Delimitación espacial

La delimitación espacial y aspectos urbanos de la zona en estudio que resultó afectada por la ruptura del dique del río La Compañía, se presentan en las figuras 4-74 y 4-75. Esta zona se encuentra al sur del Municipio de Valle de Chalco Solidaridad e inicia en el km 27.5 de la autopista México-Puebla. El fenómeno de inundación cubrió, principalmente, las colonias "El Triunfo", "Avándaro", "San Isidro" y "Unión de Guadalupe". El área afectada limita al norte con el propio trayecto del dique del río La Compañía y al sur por la Avenida Adolfo López Mateos. Con base en la información reportada en el Atlas de Inundaciones 2010 para el Estado de México, la superficie urbana anegada fue de 447 504 m², donde habita una población de 11 250 personas (CAEM-GEM, 2010).

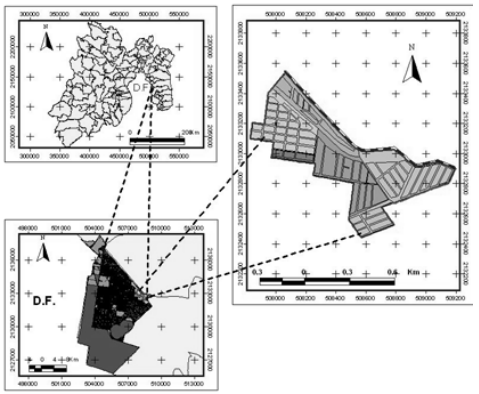


Figura 4-74. Zona anegada por falla del dique lateral derecho del río La Compañía en febrero del 2010.

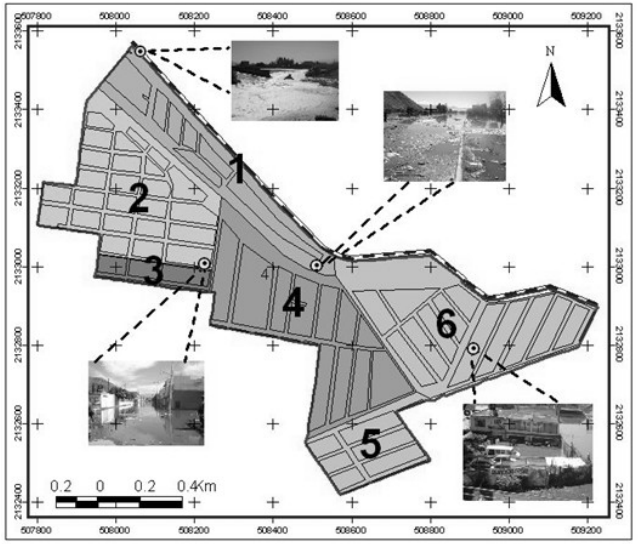


Figura 4-75. Aspectos urbanos de la inundación por falla del canal del río La Compañía en febrero del 2010

Delimitación temporal

El evento de análisis corresponde a la inundación ocurrida los días 3, 4 y 5 del mes de febrero de 2010. Es importante subrayar que de acuerdo con la información contenida en el Atlas de Inundaciones 2010 (CAEM-GEM, 2010), la zona en estudio ha presentado anegamientos recurrentes entre los años 2002 y 2010. Igualmente, se señala que por la magnitud y nivel de afectación urbana, las autoridades responsables ante este tipo de desastres ha intervenido en forma inmediata y mitigando con ello el impacto de la inundación. En consecuencia, el análisis que aquí se presenta corresponde a la estimación de daños contemplando los resultados reales de una gestión de inundación.

3.2. Información utilizada

Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, la información requerida para la realización del presente trabajo proviene de fuentes nacionales y estatales tales como: Comisión de Agua del Estado de México a través del Atlas de inundación número XVI (CAEM-GEM, 2010), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2002), Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2002), Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CNSM, 2009) y Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2009). Lo anterior, ha sido parte de la estrategia de diseño en la metodología, con objeto de hacer de ésta un conjunto de procesos robustos e implementables para cualquier zona del país. La calidad de la información de la base de datos geoespacial utilizada cuenta con los estrictos procesos de control exigidos por las Instituciones de Gobiernos Federal y Estatal.

3.3. Técnicas de análisis

En las Figuras 4-76 y 4-77 se presentan esquemáticamente las etapas para el desarrollo de la metodología de validación directa antes mencionada, las cuales a continuación se describen en forma sucinta.

Etapa 1. Construcción de la base de datos geoespacial: La construcción y desarrollo de una base de datos es necesaria para soportar el análisis de determinación de los tipos, severidad y localización de daños causados por una inundación. Esta base de datos incluye información sobre los siguientes aspectos: a) *Delimitación de zonas inundadas*: Las características hidráulicas de la inundación en una cuenca se pueden obtener con el empleo de algún modelo de simulación hidrológico-hidráulico. Estas características incluyen la magnitud de los caudales del río para diferentes períodos de retorno y las alturas de lámina de agua alcanzadas. Con base en el tirante de agua, de un modelo de elevación digital del terreno y del *software ArcView 3.2* es posible delimitar las zonas afectadas. En este caso de estudio, la información proviene de la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM) quien ha publicado el Atlas de Inundaciones 2010, donde se define el municipio, localidad, altura de lámina de agua y número de viviendas afectadas para un evento dado, particularmente se ha identificado la información del evento de febrero 2010 (CAEM-GEM, 2010). b) *Caracterización de zonas habitacionales inundadas*: Se definen las características socioeconómicas de la población. Dichas características se centran en los indicadores socioeconómicos y en el índice de marginación urbana (IM), cuyos valores han sido publicados por el Consejo Nacional de Población CONAPO (CONAPO, 2002) con base en el XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000 y en el II Conteo de Población y Vivienda del año 2005. Adicionalmente, en la caracterización de las zonas habitacionales, se tiene en cuenta el porcentaje de población que percibe hasta dos salarios mínimos, datos publicados por CONAPO. Para la zona de estudio, se ha considerado el valor medio a nivel nacional del salario mínimo diario, el cual fue de $53.19 (CNSM, 2009). Con base en el número de salarios mínimos que ingresan por familia y la información contenida en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2009), se extrae el rubro de gastos en bienes para especificar la inversión correspondiente y c) *Definición de la relación espacio-bienes:* Con información obtenida sobre los bienes existentes en las viviendas del Sistema para la Consulta de Información Censal SCINCE-2000 (INEGI, 2002), se relaciona con el espacio geográfico al que pertenecen y la ubicación más probable al interior del inmueble.

Etapa 2. Curvas daños / altura de lámina de agua: Para el cálculo de los daños tangibles directos (pérdidas producidas por el contacto con el agua) se utilizaron las curvas de daños potenciales máximos, mínimos y más probables (ver Baró et al., 2011), las cuales describen la relación de la profundidad de inundación con los daños económicos que puede provocar.

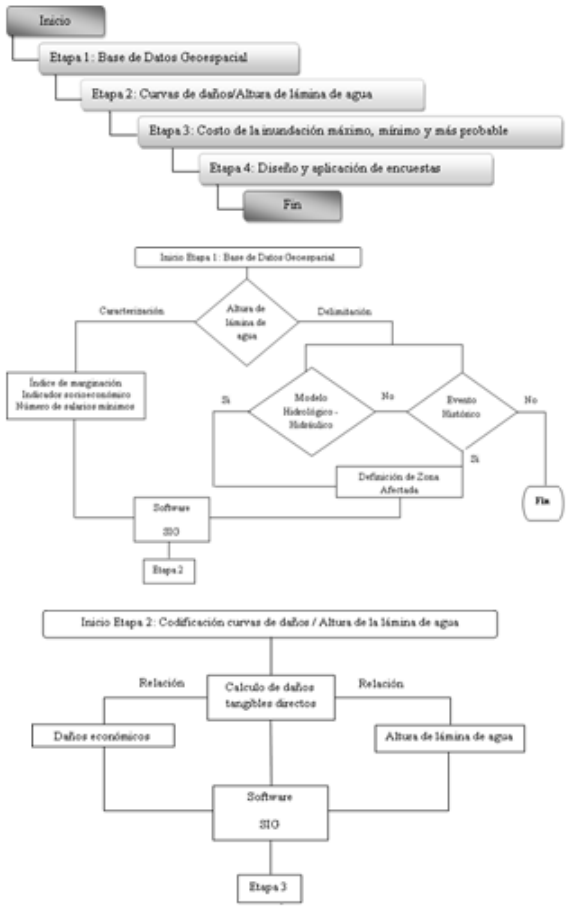


Figura 4-76 Diagrama de flujo de etapas 1 y 2 de la metodología propuesta para evaluación y validación de daños económicos directos por inundación generados el río La Compañía en febrero del 2010



Figura 4-77. Diagrama de flujo de etapas 3 y 4 de la metodología propuesta

Etapa 3. Costo de inundación máximo, mínimo y más probable: La metodología en evaluación estableció, para cada tipo de AGEB, una familia de curvas de daños por inundación, es decir, las curvas de costo máximo, mínimo y más probable. Las curvas y modelos matemáticos utilizados se presentan en la Tabla 4-16 y Figuras 4-78 y 4-79.

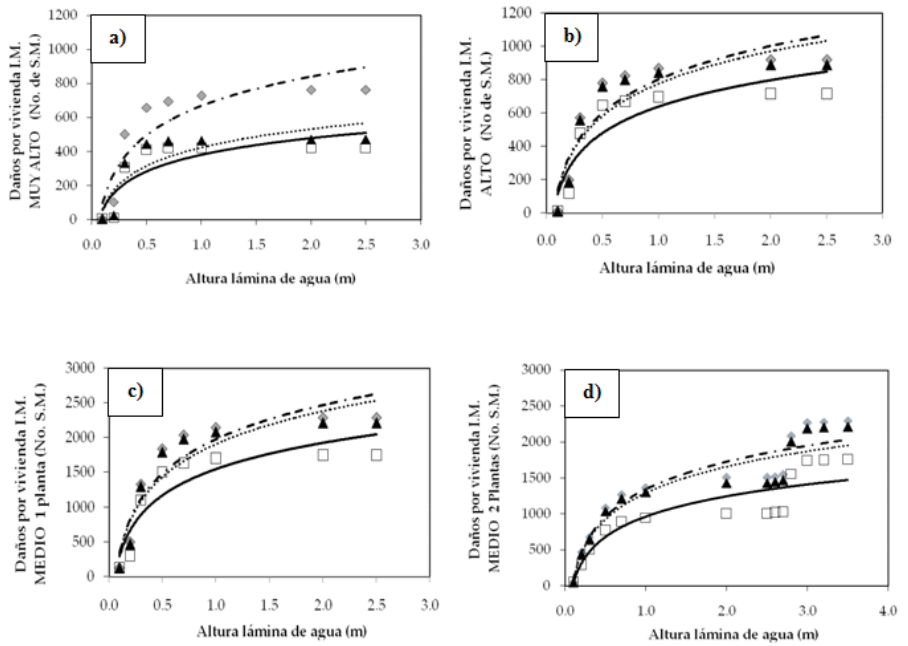


Figura 4-78. Curva de daños por inundación expresados en salarios mínimos de 2009.
Nota: Vivienda en un AGEB con un índice de marginación a) muy alto, b) alto c) medio para una vivienda de 1 planta y d) medio para una vivienda de 2 plantas (salarios mínimos, 2009)
Fuente: Baró et al., 2011

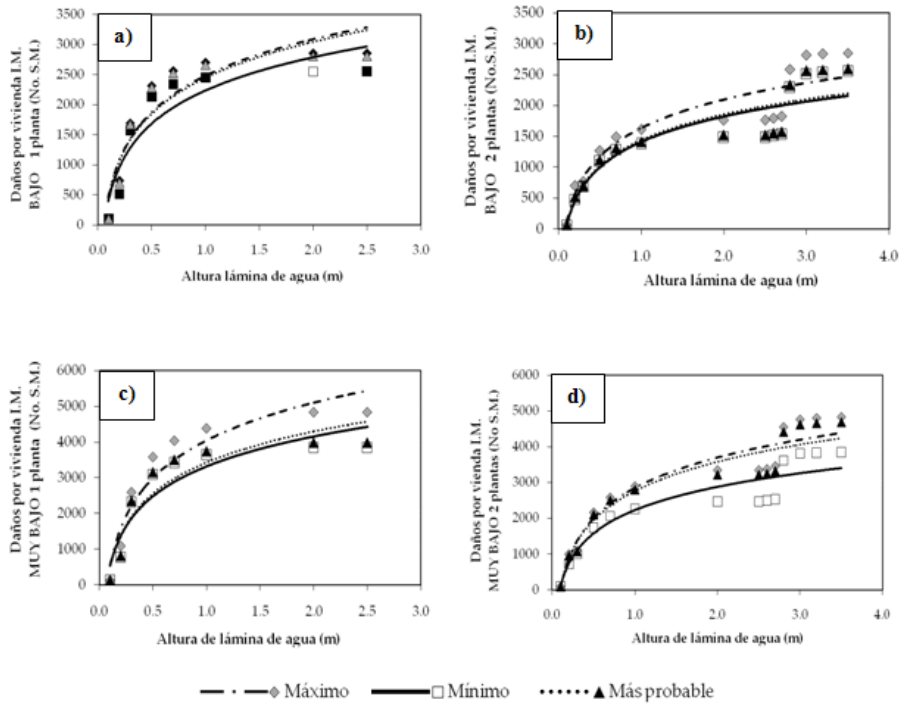


Figura 4-79. Curva de daños por inundación expresados en salarios mínimos de 2009.

Nota: Vivienda en un AGEB con un índice de marginación a) bajo para una vivienda de 1 planta, b) bajo para una vivienda de 2 plantas, c) muy bajo para una vivienda de 1 planta y d) muy bajo para una vivienda de 2 plantas (salarios mínimos, 2009)

Fuente: Baró et al., 2011

Etapa 4. Diseño y aplicación de encuestas: La validación de la metodología propuesta se verifica con base en el diseño y aplicación de encuestas en la zona de estudio. En la figura 4-80 se muestran aspectos del instrumento utilizado en esta etapa. Este último, ha sido diseñado para obtener información que permita validar los impactos reales ocasionados por el evento del mes de febrero en la zona de estudio. Para ello se determinó una estrategia de muestreo aleatorio simple cubriendo toda la zona afectada reportada por las autoridades correspondientes (CAEM-GEM, 2010).

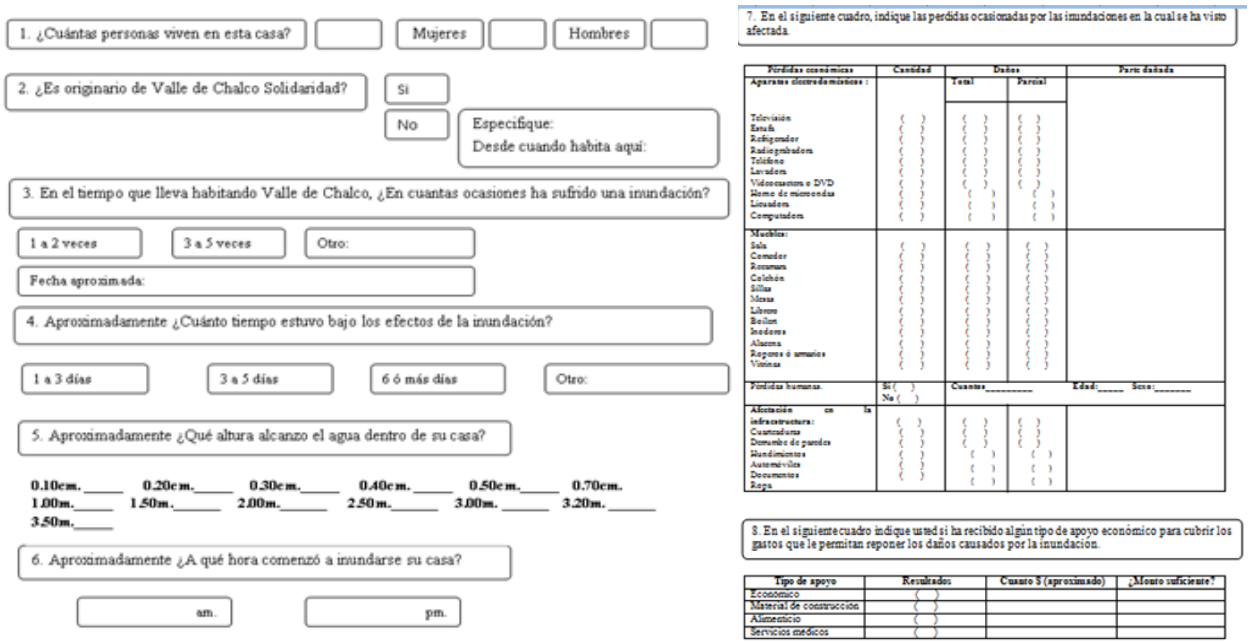


Figura 4-80. Aspectos del instrumento para realizar la validación de la metodología en la zona afectada

4. Descripción y análisis de resultados

En primer lugar se identificaron las AGEB ubicadas en zonas inundables dentro del área de estudio. En total se identificaron 6 Áreas Geo-estadísticas Básicas (AGEB) clasificadas con un Índice de Marginación (IM) muy alto. Con base en la información anterior, se elaboró una base de datos en función del IM, donde se incluyó el número de identificación del AGEB y el número de viviendas habitadas.

El monto de daños directos, máximos, mínimos y más probables para la altura máxima de lámina de agua alcanzada y para una vivienda ubicada en un AGEB con un IM dado, se estima con base en los modelos matemáticos propuestos (Tabla 4-16). Se consideraron dos escenarios de evaluación, ambos con base en la información proporcionada por la Comisión Estatal de Agua del Estado de México. El primer escenario toma en cuenta un nivel homogéneo de altura máxima de inundación al interior de los inmuebles de todos los AGEBs anegados correspondiente a una altura de h=1.50 m; el segundo escenario ha tenido en cuenta una modelación de la inundación con un tirante de afectación gradualmente variado desde su afectación máxima de una altura h=1.80 m a cielo abierto hasta su nivel cero en los diferentes límites de la poligonal de afectación. Esta modelación del nivel de inundación ha sido implementada en el *software ArcView 3*.2. Los resultados de ambos escenarios se presentan en la Tabla 4-17.

Tabla 4-16. Modelos matemáticos de las curvas de daños directos en zona habitacional ocasionados por inundación (modificado de Baró et al., 2011)

Índice de marginación	*Modelo matemático (Resultado en No. salarios mínimos)*	R^2
Muy alto	*DDHmax = 247.63 Ln(h) + 668.44*	*0.82*
	DDHmin = 141.36 Ln(h) + 382.45	0.72
	DDHmp = 156.92 Ln(h) + 424.33	0.74
Alto	*DDHmax = 289.63 Ln(h) + 801.56*	*0.85*
	DDHmin = 228.58 Ln(h) + 637.93	0.80
	DDHmp = 280.51 Ln(h) + 777.60	0.84
Medio (1 planta)	*DDHmax = 709.63 Ln(h) + 1976.04*	*0.88*
	DDHmin = 544.93 Ln(h) + 1546.60	0.83
	DDHmp = 685.51 Ln(h) + 1913.15	0.87
Medio (2 plantas)	*DDHmax = 549.55 Ln(h) + 1345.57*	*0.88*
	DDHmin = 405.03 Ln(h) + 965.27	0.80
	DDHmp = 528.39 Ln(h) + 1289.88	0.87
Bajo (1 planta)	*DDHmax = 877.28 Ln(h) + 2479.23*	*0.88*
	DDHmin = 797.24 Ln(h) + 2233.19	0.85
	DDHmp = 865.56 Ln(h) + 2443.20	0.87
Bajo (2 plantas)	*DDHmax = 666.15 Ln(h) + 1632.94*	*0.85*
	DDHmin = 595.33 Ln(h) + 1409.03	0.82
	DDHmp = 605.70 Ln(h) + 1441.82	0.82
Muy bajo (1 planta)	*DDHmax = 1521.80 Ln(h) + 4051.63*	*0.92*
	DDHmin = 1210.14 Ln(h) + 3321.20	0.87
	DDHmp = 1255.78 Ln(h) + 3428.17	0.88
Muy bajo (2 plantas)	*DDHmax = 1230.35 Ln(h) + 2850.34*	*0.92*
	DDHmin = 939.78 Ln(h) + 2221.33	0.87
	DDHmp = 1187.79 Ln(h) + 2758.22	0.91

Leyenda: R^2: Coeficiente de determinación; h: profundidad máxima alcanzada de inundación (m);, DDHmax: Daños directos en zona habitacional (Costo máximo); DDHmin: Daños directos en zona habitacional (Costo mínimo); DDHmp: Daños directos en zona habitacional (Costo más probable). Ln(h): Logaritmo natural de la altura máxima de agua alcanzada en la inundación.

Tabla 4-17. Estimación de daños tangibles directos en zona habitacional ocasionados por inundación durante febrero 2010 en Valle de Chalco Solidaridad.

AGEB	Pob. (hab)	Número de Viviendas	Densidad	Área total	Área afect.	Área afect.	Pob. afect.	Viv. Afect.	Costo escenario 1 (miles de salarios mínimos)			Costo escenario 2 (miles de salarios mínimos)		
	(hab)		(hab/viv)	(ha)	(ha)	(%)	(hab)		mín	max	mp	min	max	mp
1	2898	695	4.2	12.48	3.31	30	876	209	91.9	160.7	102.0	83.7	146.3	92.9
2	2889	666	4.3	13.86	7.50	50	1432	333	146.4	256.0	162.5	129.7	226.6	143.9
3	3497	805	4.3	10.28	1.02	10	346	81	35.6	62.3	39.5	32.5	56.8	36.7
4	3818	909	4.2	19.17	8.15	42	1604	382	168.0	293.7	186.4	150.4	262.8	166.8
5	2018	489	4.1	12.89	2.42	19	381	93	40.9	71.5	45.4	36.1	63.0	40.0
6	1620	390	4.1	7.52	6.91	42	1491	355	156.1	272.9	173.2	142.3	248.8	157.9
Global	16740	3954	4.2	76.20	29.31	38.5	6130	1453	638.9	1117.1	709.0	574.7	1004.3	638.2

AGEB: Área GeoEstadística Básica

Claves AGEBs: 1) 151220001064A, 2)1512200010334, 3)1512200010758, 4)1512200011084, 5)151220001071A, 6)151220010781

Índice de marginación	Modelo utilizado	Costo en salarios mínimos por vivienda
Muy alto	DDHmax = 247.63 Ln(h) + 668.44	768.79
	DDHmin = 141.36 Ln(h) + 382.45	439.69
	DDHmp = 156.92 Ln(h) + 424.33	487.91

DDHmax: Daños directos en zona habitacional (Costo máximo); DDHmin: Daños directos en zona habitacional (Costo mínimo); DDHmp: Daños directos en zona habitacional (Costo más probable); *Ln* (h): Logaritmo natural de la altura máxima de agua alcanzada en la inundación.

Escenario 1: h_1=1.50 m (altura homogénea de inundación al interior de los inmuebles en todas las AGEBs anegadas)

Escenario 2: h_2=variable para cada AGEB (altura gradualmente variada de inundación en función de la ubicación en las AGEBs anegadas)

($AGEB_1$: h_1= 1.34 m; $AGEB_2$: h_2=1.12 m; $AGEB_3$: h_3=1.36 m; $AGEB_4$: h_4=1.20 m; $AGEB_5$: h_5=1.09 m; $AGEB_6$: h_6=1.35 m)

Salario mínimo considerado: 53.19 $/día

Evaluación de costos bajo el escenario 1 (millones de pesos):

Mínimo: 33.98 Máximo: 59.42 Más probable: 37.72

Evaluación del costo más probable bajo el escenario 2 (millones de pesos):

Mínimo: 30.57 Máximo: 53.41 Más probable: 33.95

5. Discusión y valoración de hallazgos

Las áreas inundables son definidas por los hidrólogos como aquellas planicies adyacentes a un curso de agua, las cuales son cubiertas por el flujo durante una crecida. Las crecidas forman parte del régimen normal de un río y son la respuesta hídrica de un sistema, denominado cuenca, al exceso de intensas o prolongadas precipitaciones. Así, una inundación ocurre cuando una crecida rebasa la capacidad normal de carga de un río, la absorción del suelo y afecta la regulación del sistema de defensa que establece la sociedad produciendo impactos en ella.

En el caso de estudio se analizó la respuesta ante una inundación que fue mitigada y finalmente controlada por las autoridades responsables. Cabe señalar que la intervención del Plan de Emergencia DNIII fue crucial para limitar los impactos negativos del evento extraordinario y falla del dique acaecidos en el mes de febrero del 2010 en Valle de Chalco solidaridad.

Los resultados obtenidos de los dos escenarios evaluados y las cifras proporcionadas por la CAEM, indican que el monto estimado más probable bajo el escenario de tirante homogéneo (37.72 millones de pesos) en la zona afectada fue 10% superior al del tirante gradualmente variado (33.95 millones de pesos) y que no existe una estimación oficial del monto de afectaciones. Con respecto a la estimación de la población directamente afectada, la metodología aquí propuesta indica una sobreestimación de las cifras oficiales en una proporción de 1.84. Desafortunadamente, hasta el momento no se conoce la metodología empleada en las estimaciones oficiales y ello será objeto de investigaciones futuras. Igualmente se subraya que la cuarta etapa, destinada a la aplicación de encuestas, se encuentra en proceso de ejecución y sus resultados validarán la estimación más adecuada entre las analizadas.

6. Conclusiones

La producción de espacio especializado en las sociedades se caracteriza por su desarrollo desigual. Esto origina que la población tenga acceso a diferentes recursos generados por la misma sociedad; y esas determinaciones son las que gestan la vulnerabilidad de los miembros del socio-ecosistema. Sin duda alguna, la urbanización de áreas inundables ofrece una dinámica singular en los procesos de producción de riesgos de desastre en los ámbitos urbanos.

A lo largo de la historia se ha puesto en evidencia que obras hidráulicas tales como diques, canalizaciones, entubamientos, por citar algunos ejemplos, han favorecido la asignación de usos productivos o residenciales a distintas zonas inundables incorporadas a los procesos de urbanización. Con base en la implementación de este tipo de infraestructura, las áreas inundables terminan siendo falsamente valorizadas y con ocupación permanente. El desarrollo de este tipo de infraestructura hidráulica construye, en la percepción de la sociedad, que quedan circunscritas en las áreas rellenadas o defendidas, un falso sentido de seguridad. La naturaleza, y en ocasiones un aceleramiento por intervención antrópica involuntaria, se ha encargado de ironizar esa seguridad a través de desastres, recordando que las tierras que forman parte de una planicie inundable continúan perteneciendo al dominio hídrico. Urbanizar tierras inundables requiere de la elaboración de un conjunto de estrategias técnicas muy costosas y que generalmente resultan inconclusas o disminuidas por los altos costos requeridos y políticas públicas desafortunadas.

El presente trabajo ha permitido la validación del procedimiento propuesto por Baró y colaboradores (Baró et al., 2011) sobre la evaluación de los daños tangibles directos ocasionados por una inundación mediante el uso de curvas, altura de inundación-daños, en la zona afectada el pasado mes de febrero 2010 en Valle de Chalco Solidaridad (México). Esta evaluación del impacto económico tangible directo causado por la inundación pretende constituirse en una herramienta práctica y orientadora para las instituciones públicas y privadas que intervienen en la gestión de eventos hidrometereológicos extremos, particularmente en la toma de decisiones para las diferentes etapas de prevención, emergencia, rehabilitación y reconstrucción de Valle de Chalco Solidaridad. Así mismo, es posible inferir que la falta de mantenimiento estructural, sumado al creciente nivel de azolvamiento en el lecho del río seguirá provocando inundaciones.

Se destaca el empleo de software de manejo de bases de datos geoespaciales que enriquecen y favorecen la aplicabilidad de la metodología propuesta para estimación de daños directos tangibles por inundación. Finalmente, los resultados obtenidos resaltan diferencias importantes en las estimaciones de población total afectada con respecto a la información oficial (11250 hab.) y que el costo más probable de la inundación fue de 33.95 millones de pesos. Sin embargo, se subraya que no se cuenta con la información del coste total del Plan DNIII empleado como mitigación y gestión de la inundación del evento analizado.

Agradecimientos

Al apoyo brindado por SEMARNAT-CONACYT para la realización de esta investigación (Proyecto: La valoración económica de la vulnerabilidad socioeconómica y demográfica ante inundaciones en la República Mexicana, claves: CONACyT 23478; UAEMex 2753/2009C

Referencias bibliográficas

Aparicio, J., Martínez-Austría, P.F., Gûitron, A. y Ramírez A.I. (2009): "Floods in Tabasco, Mexico: a diagnosis and proposal for courses of action". Journal of Flood Risk Management. Vol. 2, pp. 132-138.

ArcView 3.2, ESRI

Baró, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V. y Calderon, G. (2007a): "Curvas de daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte I. Propuesta metodológica", Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXII, núm. 1, pp. 91-103.

Baró, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Calderon, G. y Cadena Vargas, E. (2011): "Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México". Revsita Tecnología y Ceincias del Agua antes Ingeniería Hidráulica en México. Vol. II, núm. 3, (en prensa).

Boyle, S.J., Tsanis, I.K. y Kanaroglou, P.S. (1998): "Developing Geographic Information Systems for land use impact assessment in flooding conditions". Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 124, pp. 89-98.

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2009a): "Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2007". Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED, México, D.F., Editorial SEGOB-CENAPRED.

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2009b):"Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2008", Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED, México, D.F., Editorial SEGOB-CENAPRED.

CNSM Comisión Nacional de Salarios Mínimos, (2009): "Salarios mínimos y zonas geográficas. [en línea]", Comisión Nacional de Salarios Mínimos. México. [Citado el 12 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: http://www.csnm.org.mx

Dutta, D., Herath, S. y Musiake, K. (2003): "A mathematical model for flood loss estimation". Journal of Hydrology Vol. 277, pp. 24-49.

EM-DAT Emergency Events Database. (2009): "The international disaster database. [En linea]" Université Catholique de Louvain, Brussels. Centre for research on the epidemiology of disaster (CRED) [citado el 18 de marzo de 2009]. Disponible para World Wide Web: www.emdat.be

ENIGH, (2009): "Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares. [En línea]", INEGI. Gobierno de México [citado el 14 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: www.inegi.gob.mx.

Environmental Systems Research Institute Inc. (1996), "Software Arcview GIS 3.2, The Geographic Information System for everyone", USA, 340 p.

CAEM-GEM, Gobierno del Estado de México, (2010): " Atlas de Inundaciones XVI. Edición 2010". Toluca, México. Gobierno del Estado de México – Secretaria del Agua y Obra Pública – Comisión del Agua del Estado de México, Naucalpan, Estado de México. En C.D.

CONAPO, Consejo Nacional de Población. (2002): "Índice de marginación urbana 2000", Consejo Nacional de Población, México.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2002): "SCINCE Sistema para la consulta de Información Censal 2000", En CD. INEGI. México.

Jonkman, S.N., Bockarjova, M., Kok, M. y Bernardini, P. (2008), "Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in The Netherlands". Ecological Economics Vol. 66, pp. 77-90.

Nascimento, N., Machado, M.L., Baptista, M. y De Paula e Silva, A. (2007): "The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context". Urban Water Journal, Vol. 483, pp. 195-210.

Noyola Rocha, J. (2003), "Historias para ser contadas a los recien llegados", Municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, Priemra Edición, pp. 45-49.

Ortiz Zamora, D.C., Ortega Guerrero, M.A. (2007): "Origen y evolución de un nuevo lago en la planicie de Chalco: implicaciones de peligro por subsidencia e inundación de áreas urbanas en Valle de Chalco (Estado de México) y Tláhuac (Distrito Federal)", Investigaciones Geográficas, núm. 064, 26-42 pp. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Rodriguez, J., Vos, F., Bellow, R. y Guha-Sapir, D. (2009): "Annual Disaster Statistical Review 2008", The numbers and trends. Melin. Belgium. CRED (Centre for Research of the Epidemiology of Disasters). Université Catholique de Lovaine. Lovaine, Belgium. 33 pp.).

IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GEODÉSICA GPS EN TEGUCIGALPA, HONDURAS.

Wenseslao Plata Rocha[1], Maria Luisa Soriano Sanz[2], Francisco Maza Vázquez[3], Maria Guadalupe Rodriguez Díaz[4]

RESUMEN

La implementación de redes geodésicas es de vital importancia para establecer un sistema de referencia geodésico que sirva de apoyo a diferentes tipos de trabajos topográficos, cartográficos, fotogramétricos, etc. En este sentido, cabe mencionar que en el caso de Honduras y, particularmente, su capital, Tegucigalpa, presenta deficiencias en cuanto a su materialización oficial. Por ello, la implementación de una Red Geodésica mediante Tecnologías GPS para Tegucigalpa, aportará a esta ciudad un sistema único de referencia geodésico actualizado. Fundamentalmente, dicha red será un marco de referencia apropiado para la elaboración y/o actualización de la cartografía catastral, como base para la ordenación del territorio, para la elaboración de modelos digitales, para el estudio de zonas de riesgo, etc., así como para que el usuario de diferentes organismos, puedan incorporar cualquier trabajo de levantamiento topográfico o cartográfico a dicha red. En este sentido, se ha desarrollado una red geodésica con 22 vértices y bajo la cual se han obtenido resultados robustos en el ajuste.

Palabras clave: GPS, Geodesia, Tegucigalpa.

IMPLEMENTATION OF A GPS GEODESIC NETWORK IN TEGUCIGALPA HONDURAS.

ABSTRACT

The implementation of geodetic networks is vital to establish a geodetic reference system to serve as a support for different types of survey, mapping, photogrammetric, etc. It is worth mentioning that for Honduras and in particular, its capital, Tegucigalpa, a formal realization presents weaknesses. Therefore the implementation of a geodetic network using GPS technology to Tegucigalpa, will bring to this city a single geodetic reference system updated. Fundamentally, this network will be a frame of reference for developing and/or updating of the cadastral, mapping as a basis for the planning, for the development of digital models for the study of areas of risk, etc. so as to add that in different agencies, users can fit any work of topographical or cartographic lifting to the network. In this sense, it was aimed to develop a geodetic network with 22 vertices and under, which has achieved robust results in adjustment.

Key words: *GPS, Geodetic, Tegucigalpa.*

1Universidad de Sinaloa (México). wenses_plata@hotmail.com,2Entidad Pública Empresarial del Suelo. Ministerio de Fomento (España) maria.soriano@sepes.es, 3Universidad de Alcalá. (España).francisco.maza@uah.es, 4Universidad de Alcalá. España guadalupe.rodriguez@uah.es.

*1. I*ntroducción

El presente capítulo muestra los resultados alcanzados del Proyecto "Establecimiento de una Red Geodésica en Tegucigalpa (Honduras), mediante tecnologías GPS y enlace con las redes de referencia oficial de Centroamérica", que se ha llevado a cabo, en el transcurso del año 2010, dentro del Programa de Actividades que realiza la Universidad de Alcalá (España) con Centroamérica. Concretamente, el Proyecto se enmarca en el ámbito de la Maestría de Ordenación y Gestión del Territorio (MOGT) que imparte la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá de Henares (UAH) de España, a través del Departamento de Geografía.

En él han participado, además de profesores de las Universidades citadas, otros Organismos, como el Instituto de la Propiedad de Honduras a través de la Dirección General de Catastro y Geografía, personal de la Entidad Pública Empresarial del Suelo del Ministerio de Fomento de España, profesores de la Universidad de Sinaloa, México, y empresas de carácter privado cuya actividad profesional se integra en el campo de la Topografía, Cartografía y Catastro, como "TOPOGRÁFICA DE HONDURAS" y "BERITEC", Empresa de Cartografía y Topografía de España.

2. Consideraciones previas y aplicación metodológica

Una Red Geodésica constituye uno de los cimientos más importantes sobre los que se apoya toda una serie de disciplinas tanto científicas como técnicas, y queda constituida por un conjunto de puntos perfectamente localizados en el terreno, materializados a base de señales adecuadas o monumentos, entre los que se han efectuado observaciones geodésicas con la finalidad de obtener sus coordenadas, su precisión y confiabilidad en términos relativos y absolutos respecto de un sistema de referencia establecido, sirviendo al mismo tiempo como base de los proyectos de desarrollo de un país.

Mediante técnicas de medición y post procesamiento adecuadas, se puede lograr un posicionamiento de precisión milimétrica. Esta capacidad del GPS es aprovechada para incorporar cuantas mediciones se procesen, en el marco de referencia International Terrestrial Reference Frame (ITRF), una de cuyas aplicaciones es unificar las referencias geométricas de los países a escala global con una exactitud centimétrica. Incluso con una metodología apropiada para el análisis de los residuos de ajuste de las observaciones GPS se puede aumentar la exactitud de los resultados.

La Red implantada pretende ser el inicio de un objetivo mucho más amplio, como es el dotar al país de una infraestructura geodésica moderna GNSS. Está compuesta por 22 Estaciones, seis de la cuales pertenecen a la Red GPS, del año 2001. Éstas son: Tegus Base / Observatorio / Ign / Aeropuerto / Sauce y una de Observacion Continua (Figura 4-81).

Se trata de una red observada con receptores GPS circunscrita a la capital de Honduras, Tegucigalpa, en la que destaca un punto situado aproximadamente en el centro de la misma y denominado TEG1. Este vértice está ubicado en la parte superior del edificio del Instituto de la Propiedad de Honduras y coincide con el que formaba parte de la red CORS en América Central, aunque en el momento presente no está operativo como estación de registro continuo.

Una de las metas para este Proyecto fue poner las bases para ensayar un método de transformación de las coordenadas del soporte geodésico antiguo al nuevo que se adopte en futuro próximo, y verificar el comportamiento del modelo de Geoide, EGM2008, recientemente publicado en puntos observados con GPS, que hayan sido nivelados, para estimar en su caso un offset.

El Proyecto se ha apoyado en el sistema de referencia SIRGAS2000, que es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Su definición corresponde con el Sistema Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRS: International Terrestrial Reference System) y su realización es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRF: International Terrestrial Reference Frame). Además del sistema de referencia geométrico, SIRGAS se ocupa de la definición y realización de un sistema vertical de referencia basado en alturas elipsoidales como componente geométrica y en números geopotenciales (referidos a un valor W0 global convencional) como componente física (Figura 4-81).

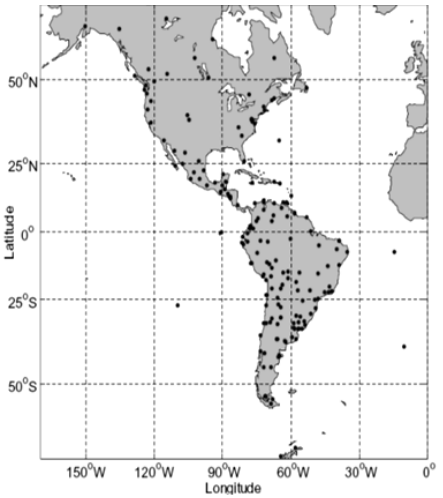


Figura 4-81. Estaciones ocupadas durante la campaña SIRGAS 2000 GPS (184 en total).

Para la construcción de la red geodésica ha sido necesario llevar una secuencia operativa que garantice que el trabajo de campo y el procesamiento de las mediciones realizadas cumplan con los requerimientos de precisión exigidos, para lo cual se realizó el siguiente proceso metodológico: anteproyecto, diseño y criterios de selección de vértices, reconocimiento del terreno, clasificación y monumentación, observaciones de campo, procesamiento de las mediciones, cálculo y ajuste y resultados.

3. Criterios de selección de vértices propuestos

La etapa de diseño consistió en el establecimiento de las condiciones geométricas, técnicas y de fiabilidad que permitieron la elaboración de un anteproyecto base para realizar un levantamiento dado, teniendo en cuenta como factor determinante la orografía complicada de la ciudad, destinado a satisfacer una determinada necesidad, tratando de que sus vértices cumplan con los siguientes requisitos (Figura 4-82 y 4-83):

- que gocen de una configuración geométrica adecuada,
- que la distancia entre los mismos sea homogénea,
- que estén ubicados en zonas de fácil acceso,
- que se sitúen en zonas geológicamente estables,
- que tengan un horizonte que se encuentre lo mínimo posible obstruido,
- que su situación tenga la menor interferencia posible de líneas de alta tensión, de edificios, de muros, etc.

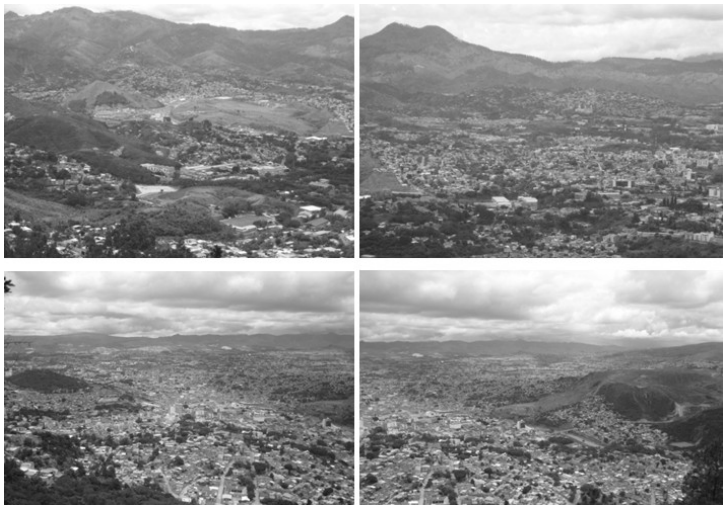


Figura 4-82. Vista general de la ciudad de Tegucigalpa imágenes tomadas desde el Cerro Picacho, ubicado al norte de la ciudad, donde se encuentra uno de los vértices de la red (junio 2010)

Una vez diseñada la red GPS se llevó a cabo un reconocimiento de campo con finalidad de verificar los vértices colocados sobre la cartografía.

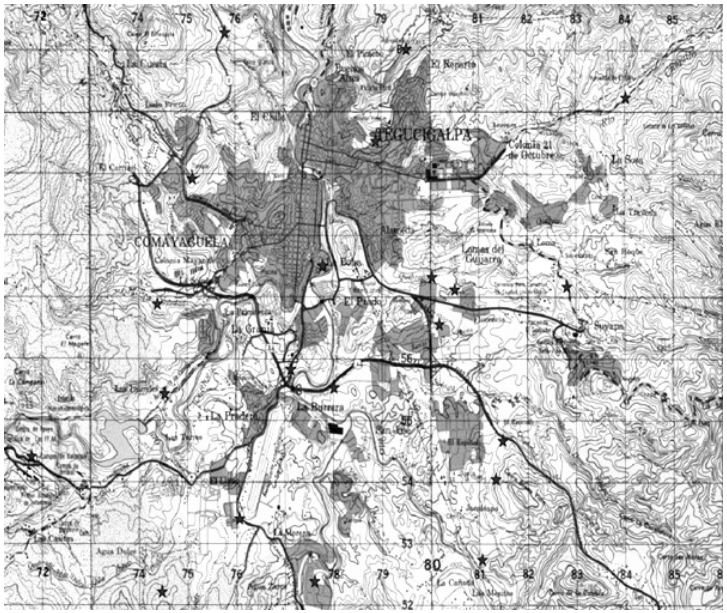


Figura 4-83. Primera Red Geodésica proyectada, donde se pueden observar la ubicación de los vértices a priori

En esta etapa se verifica la idoneidad del enclave de los vértices y de no resultar el mejor sitio para su construcción se buscaron sobre el terreno otras alternativas para un mejor emplazamiento. Llevado a cabo el reconocimiento de campo y verificada la ubicación y reubicación de los vértices se tuvo formado el proyecto definitivo de la red GPS.

Para realizar el reconocimiento se contó con una brigada formada por personal del Instituto de la Propiedad de Honduras y por alumnos de la segunda promoción de la Maestría y Gestión del Territorio que se imparte desde la facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Autónoma de Honduras. Sus responsabilidades fueron:

a) Comprobación sobre el terreno de los sitios adecuados para el establecimiento de las marcas permanentes o hitos.
b) Comprobación de las condiciones de observación en cada sitio y especificación, en su caso, de las plataformas elevadas de observación.
c) Elaboración de los croquis y reseñas, descripción e itinerarios preliminares de los puntos.
d) Descripción preliminar con designación del punto o vértice.
e) Información de las características geográficas locales del sitio y del paisaje circundante, con énfasis sobre los aspectos de ubicación regional y direcciones para llegar al sitio.
f) Fotografías de cada uno de los vértices.
g) Otro tipo de información que pudiera afectar el desarrollo de los trabajos de observación.

El criterio seguido para el establecimiento de los vértices GPS está basado en una distribución geométrica apropiada para asegurar el recubrimiento local, de forma tal que cualquier punto ubicado dentro del casco urbano de Tegucigalpa cuente con la información de al menos 2 estaciones de la Red. Para tales efectos se determinó un radio de cubrimiento de 3 kilómetros por estación, completando un total de 22 vértices. Con estas premisas se obtuvo el diseño definitivo de la Red, cuyo mapa se expone a continuación (figura 4-84) y muestra la ubicación final de los vértices y la programación de los días de observación de cada uno de ellos.

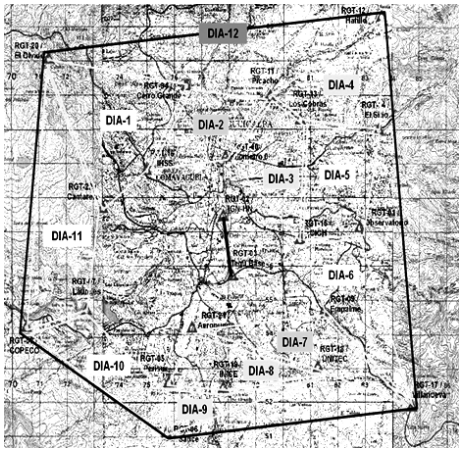


Figura 4-84. Diseño definitivo de la Red Geodésica GPS de Tegucigalpa

4. Señalización y Monumentación

4.1. Señalización

Se utilizaron tres tipos de señalización: Señales existentes de redes anteriores bien señalizadas, que se han incluido en la red (Figura 4-85), clavos que el Instituto de la Propiedad dispone y habitualmente utiliza, son clavos de aluminio de unos 9 cm de tamaño de cabeza sobre la que encuentra grabado una marca central de puntería, el nombre del vértice, el año de observación, Instituto Geográfico Nacional, Honduras C.A., y la prohibición de destruir la señal. A este tipo de señal, se le ha colocado una placa anexa de aluminio, donde se han grabado las entidades colaboradoras, además del número identificativo del vértice en la red (Figura 4-86). También se usaron clavos de aluminio con un nuevo diseño, similares a los del IP, de tamaño de cabeza de aproximadamente 9 cm, sobre la que se grabó todos los datos anteriormente indicados, sin necesidad de colocar la placa.



Figura 4-85. Señal perteneciente al vértice del Observatorio construida en la campaña Geodésica de EEUU del año 1994 (junio 2010)

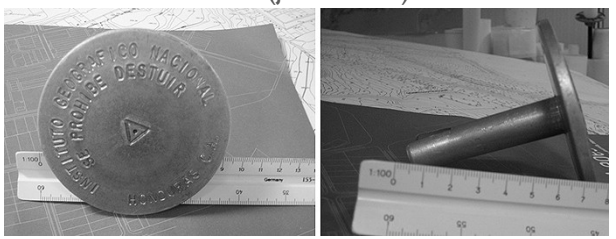


Figura 4-86. Clavo de aluminio grabado, prototipo de señal utilizado por el IP.



Figura 4-87. Vértice COPECO, con la señalización de clavo del IP y placa identificativa, croquis del grabado de la misma



Figura 4-8. Vértice Observatorio, con señalización con clavo de nuevo diseño. Croquis del grabado sobre el mismo

4.2. Monumentación

Una vez que se decidió la ubicación de cada uno de los Vértices Geodésicos de la Red, teniendo en cuenta los factores técnicos siguientes:

1. Terreno Accesible para aplicar Nivelación Geométrica.
2. Que no existan señales de Interferencia.
3. Que no hayan obstrucciones más altas de 10 grados con el horizonte.
4. No estar cerca de Construcciones con superficies reflectivas (Metal o Agua).
5. Área segura y preferiblemente en terreno plano.

Además de los condicionantes técnico, se tuvo en cuenta que para conseguir la perdurabilidad de las señales en el terreno y evitar posibles actos vandálicos, una buena medida era la colocación de las mismas en recintos o parcelas pertenecientes a instituciones gubernamentales o municipales, a las que se les solicitó el oportuno permiso y consentimiento, como es el caso de los vértices (COPECO (Comité Permanente de Contingencia), IHSS (Instituto Hondureño de la Seguridad social), UNITEC (Universidad Tecnológica), etc. (Figura 4-89).



Figura 4-89. Vértice IHSS, en la azotea del edificio, acceso con escalera (junio 2010)

La monumentación se realizó para que fuera permanente en el tiempo, perdurable y estable, para ello se han utilizado dos métodos:
Los clavos que aprovechando rocas naturales, o localizaciones estables de hormigón, se perforaron, para posteriormente situar el clavo, recibiéndolo con cemento. Los que fueron monumentados con un encofrado y el material utilizado para ello concreto hidráulico en una proporción adecuada. Se hicieron con materiales pétreos libres de suciedades y de material arcilloso. En la parte superior se colocó un disco metálico y una placa conmemorativa al proyecto (figura 4-90 y 4-91).



Fgiura 4-90. Trabajos de monumentación, perforación manual (junio 2010)



Figura 4-91. Trabajos de monumentación, detalle del molde de encofrado (mayo 2010)

5. Mediciones

Las primeras observaciones fueron hechas los días 13, 14, 23 y 26 de julio de 2010 en TEG1 (como punto fundamental), las sesiones fueron de 24 horas. Los restantes puntos de la red fueron ocupados en sesiones más cortas según el proyecto de observación. Honduras no ha tomado aún una decisión sobre qué marco de referencia SIRGAS es oportuno adoptar. En consecuencia parece interesante obtener, en primer lugar, unas coordenadas para TEG1 que sean conformes con ese sistema en la época de la observación. Se siguió en la programación proyectada ajustando las sesiones de observación tras resolver determinadas incidencias, razón por la cual hay dos grupos de de días de observación. El primero se corresponde con los días 194 (13-07-2010), 195, 204 y 207 (26-07-2010) y son los días que han servido para determinar las coordenadas del punto fundamental de la red TEG1. El segundo ciclo de observaciones es el que cubre la mayor parte de la red. La duración de cada sesión es de cinco horas, aunque los registros en TEG1 son de veinticuatro horas. La tabla 4-18 muestra el resumen de observaciones y en ella se aprecian la ocupación repetida de los diversos vértices, las líneas base medidas reiteradamente y aquellos vértices que se han repetido para enlazar unas sesiones con otras.

Tabla 4-18. Resumen de observaciones

Point Name \ OBS	d194	d195	d204	d207	d236	d237	d238	d239	d242	d243	d244	d245	d264	d265	d266	d270	Sesiones
BASE_GPS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
CANTARERO	X				X										X		3
CERROGRANDE	X	X			X	X											4
CICH			X				X		X	X							4
COBRAS			X	X			X	X	X								5
COPECO														X	X	X	3
EMPALME										X	X						2
HATILLO				X				X								X	3
IHSS	X	X			X	X											4
INICE												X	X				2
KM0		X	X			X	X										4
LAURELES														X	X		2
OBSERVATORIO									X	X							2
OLVIDO	X				X										X	X	4
PAC											X	X					2
PERISUR												X	X	X			3
PICACHO		X	X	X		X	X	X									6
SAUCE													X	X		X	3
SITIO				X				X	X								3
Teg1 (ARP)	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X			11
UNITEC											X	X	X				3
VILLANUEVA										X	X						2

5.1. Procesamiento de las mediciones

Se procesaron las sesiones aisladamente, al igual que se hizo para determinar las coordenadas de punto fundamental TEG1 con el fin de proceder posteriormente al ajuste de la red. El programa empleado ha sido TTC (*Trimble Total Control*). Se ha fijado para el cálculo una máscara de elevación de 10º e intervalo de épocas libre para adaptarse al del registro original de los datos. A modo de verificación se procesaron las cuatro primeras sesiones en base a las efemérides transmitidas y, también, con efemérides precisas, resultando innecesaria esta segunda precaución dado que la longitud de las líneas-base es pequeña, entre cinco y diez kilómetros de promedio.
Las líneas o vectores de cada subred o sesión (un día) se han compensado aisladamente y, a continuación se han extraído vector y matriz varianza-covarianza como un observable espacial 3D para el posterior ajuste conjunto de la red. Un vector de la sesión (Tabla 4-19).

Tabla 4-19. Vector y matriz varianza covarianza para un observable espacial 3D

GRP		Solution 001	day 194 A	type 06
DXYZ BASE_GPS	CANTARERO	-4750.9222	74.7088	1950.9496
		COV	CT	UPPR
	ELEM	4.740836350000E-007	-1.686125300000E-008	4.139629000000E-009
	ELEM	1.221517897000E-006	-1.383442110000E-007	
	ELEM	3.673096750000E-007		

La matriz covarianza, por ser simétrica, se representa sólo por los elementos de la triangular superior (UPPR), que servirá para ponderar o asignar pesos en el proceso posterior de ajuste general. Se aprecian valores de varianza optimistas pero bastará con adoptar un factor común a todas las líneas para escalar la incertidumbre de la red a la hora del ajuste.

6.- Análisis previo al cálculo

Se buscaron las coordenadas de TEG 1 a efectos de verificación y la copia de su ficha del NGS de US, aunque pareció mas apropiado seguir las recomendaciones de SIRGAS para estaciones "nuevas" y apoyarse en las soluciones de esta organización y de IGS. Por ello, en un primer paso se han tomado datos de las estaciones más cercanas a TEG1 que pertenecen a la red SIRGAS-CON, que son: SSIA, MANA y GUAT. Como los cuatro días de observación, por término medio, se corresponden con la semana 1593 se ha calculado TEG1 en base a las coordenadas de la solución SIRGAS para dichos puntos y semana (fichero sir10P1593.crd). Es decir que el resultado se corresponderá con el LOCAL GEODETIC DATUM: IGS05 EPOCH: 2010-07-21 12:00:00". Además, también vía Internet -desde servidores de datos internacionales-, se han traído las observaciones de las tres estaciones mencionadas de El Salvador, Nicaragua y Guatemala, las efemérides precisas (IGS) y modelo ionosféricas para los cuatro días de la observación de TEG1.

Las distancias a los tres puntos se encuentran entre 211 y 362 km por lo que se han procesado las líneas para los cuatro días con el programa TTC, y todas ellas se han ajustado con el programa GEOLAB, incorporando los vectores y sus matrices varianza- covarianza halladas. Las coordenadas obtenidas de este ajuste se muestran en la tabla 4-20.

Tabla 4-20. Ejemplo de coordenadas ajustadas con el software GeoLab

CODE	FFF	STATION				X-COORD. SD	X-COORD. SD	X-COORD SD
XYZ	111	GUAT	-56063.5539	-6174978.67	1596665.28	0	0	0
XYZ	111	MANA	407981.873	-6222925.69	1333529	0	0	0
XYZ	111	SSIA	95567.034	-6197785.58	1500590.58	0	0	0
XYZ	0	Tegl	301692.115	-6181024.56	1542877.92	0.0017	0.0034	0.0012
PLO	0	Tegl	N 14 05 24.264404	W 87 12 20.321584	937.8383	0.0009 m	0.0017 m	0.0035 m

Estas coordenadas se corresponden con la altura de antena indicada en los datos de observación enviados desde Tegucigalpa. Sin embargo, en la suposición de que TEG1 se corresponde con la antigua estación CORS, si se suben al ARP los 13.484 m se tiene (tabla 4-21):

Tabla 4-21. Ajuste de coordenadas por altura de la antena

XYZ	Tegl	301692.753	-6181037.619	15428881.202
PLO	Tegl	N 14 05 24.26441	W 87 12 20.32158	951.322

Comparados estos valores con las coordenadas de TEG1 antiguas (estación CORS) aplicándoles sus velocidades para llevarlas a la época 2010.55, se aprecia una aparente coincidencia, dada la pequeña diferencia (Tabla 4-5).

Tabla 4-22. Coordenadas ajustadas considerando velocidades

XYZ	Tegl	301692.697	-6181037.657	15428881.155
PLO	Tegl	N 14 05 24.26266	W 87 12 20.32348	951.344

La comparación es suficiente, mas aun si se tiene en cuenta que ambos resultados no están en el mismo sistema, aconseja proceder al cálculo del punto fundamental TEG1 por un método más riguroso, por ejemplo con *software BERNESE*.

7.- Cálculo del punto fundamental TEG1

Se ha realizado un procesamiento con BERNESE de una red algo más amplia incluyendo tres estaciones más CRO1 (US), SCUB (Cuba) y GLPS (Galápagos, Ecuador). Sus observaciones han sido obtenidas vía Internet, igual que los anteriores, pero no ha podido ser considerada la estación BOGT (Bogotá, Colombia), proyectada en principio, al no encontrar datos de dicha estación.

Por Internet han sido obtenidos los datos de observación, las coordenadas de partida del último fichero de la red IGS, las efemérides precisas, los datos ionosféricos y solicitado los datos de marea y carga oceánica. Con todos ellos se han procesado con el paquete BERNESE las cuatro sesiones y, finalmente, una solución combinada (LOCAL GEODETIC DATUM: IGS05, EPOCH: 2010-07-20 0:00:00). El procedimiento seguido ha sido el habitual, para una solución semilibre en que el datum está basado en los puntos externos (CRO1, GLPS y SCUB), habiendo desestimado MANA –después de un primer intento- al darse para éste unos residuos un poco más altos en la solución combinada. Las coordenadas obtenidas para TEG1 son:

abla 4-22. Coordenadas obtenidas

XYZ	Teg1	301692.757	-6181037.616	15428881.202

Las cuales se aproximan a las obtenidas en el procesamiento previo con TTC. Si bien este primer cálculo era algo menos riguroso, se explica el buen resultado porque se partió de coordenadas fijas de SIRGAS-CON (época 2010.55) para SSIA, MANA y GUAT, obtenidas con todo rigor y con datos de una semana. Más importante es analizar el resultado de esta subred para hallar TEG1 con sus puntos comunes a la totalidad de la red SIRGAS-CON, que se puede ver en las tablas siguientes (coordenadas IGS05, época 1010.55):

Tabla 4-23. Solución SIRGAS-CON (toda la red)

		X	Y	Z	FLAG
129	CRO1	2607771.258	-5488076.644	1932767.855	W
178	GLPS	-33801.3753	-6377516.528	-82154.3373	W
193	GUAT	-56063.5539	-6174978.668	1596665.282	A
290	MANA	407981.8734	-6222925.689	1333529.002	W
474	SCUB	1474538.059	-5811243.271	2168958.846	W
502	SSIA	95567.034	-6197785.584	1500590.58	A

Tabla 4-24. Solución bernese ign (solo 6 puntos)

		X	Y	Z	FLAG	dX	dY	dZ
129	CRO1	2607771.261	-5488076.642	1932767.852	W	-0.0024	-0.0019	0.0033
178	GLPS	-33801.3765	-6377516.522	-82154.3421	W	0.0012	-0.0052	0.0048
193	GUAT	-56063.5553	-6174978.664	1596665.277	A	0.0014	-0.0039	0.0056
290	MANA	407981.8732	-6222925.684	1333528.993	A	0.0002	-0.0055	0.0086
474	SCUB	1474538.062	-5811243.271	2168958.842	W	-0.0030	0.0001	0.0034
502	SSIA	95567.0336	-6197785.574	1500590.573	A	0.0004	-0.0101	0.0071
					suma	-0.0022	-0.0265	0.0328
					media	-0.0004	-0.0044	0.0055
					desvest	0.0018	0.0089	0.0105

Por otro lado interesa ver el comportamiento del cálculo de las cuatro sesiones (repetibilidad) respecto a la solución combinada (Tabla 4-25).

Tabla 4-25. Repetibilidad

COM LAC Final week coordinate/snx results for gps week 1594 30-SEP-10 13:53

		Weekday		Repeatability (mm)		
Station		#Days	0123456	N	E	U
CRO1	43201M001	4	XXXX	1.21	3.25	7.91
GLPS	42005M002	4	XXXX	1.03	1.55	4.5
GUAT	40901S001	4	XXXX	2.3	1.16	5.22
MANA	41201S001	4	XXXX	0.88	1.46	6.65
SCUB	40701M001	4	XXXX	1.31	1.14	5.89
SSIA	41401S001	3	XXX	0.62	1.23	8.64
TEG1	BASE	4	XXXX	1.17	2.76	7.36
Total		27		1.34	1.99	6.63

Finalmente se realiza una transformación Helmert (3 parámetros, traslación) entre las coordenadas iniciales (IGS llevadas a la época media) y las resultantes del proceso combinado (tabla 4-26).

Tabla 4-26. Parámetros de la Transformación Helmert

Program	: HELMR1	Bernese GPS Software Version 5.0		
Purpose	: Helmert Transformation	Campaign: ${P}/TEGU	Default session:	2070 year 2010
Date	: 30-Sep-2010 13:59	User name :	mvaldes	

Tabla 4-27. Resultados de la transformación Helmert

FILE 2: COM LAC Final week coordinate/snx results for gps week 1594
LOCAL GEODETIC DATUM: IGS05 RESIDUALS IN LOCAL SYSTEM (NORTH, EAST, UP)

NUM	NAME	FLG		RESIDUALS IN MILLIMETERS			
84	CRO1 43201M001	I	W	-1.2	-3.1	1.1	
125	GLPS 42005M002	I	W	7.6	6.8	-2	
149	GUAT 40901S001	I	A	8.3	6.5	20.5	M
243	MANA41201S001	I	A	16.2	-11	33.8	M
383	SCUB 40701M001	I	W	-6.3	-3.7	0.9	
396	SSIA41401S001	I	A	12.2	-8.1	20.9	M
400	TEG1BASE	R	A	0.1	-5	1.6	M
	RMS component			7	5.9	1.7	
	Number of parameters	3	Number of coordinates:	9	RMS of transformation:	5.4 mm	
	Barycenter coordinates	Latitude:	12 34 54.27	Longitude	- 77 6 0.31	Height	-185.578 Km
	Parameters	Translation in N	0.1+- 3.1 mm	Translation in E	0.2 +- 3.1 mm	Translation in U	0.0 +- 3.1 mm

De lo dicho anteriormente se desprende que las soluciones son adecuadas y el resultado obtenido para TEG1 puede utilizarse para fijar la red de Tegucigalpa en el Datum IGS05 época 2010.55. Cualquier acuerdo adoptado con posterioridad sobre el sistema de coordenadas para Honduras supondrá una simple translación de coordenadas, muy pequeña, que sería aplicable a todos los puntos de la red por igual.

8. Cálculo y ajuste

El cálculo de TEG1, como se ha mencionado, se ha basado en los 11 vectores obtenidos en las cuatro primeras sesiones respecto a los vértices SIRGAS: GUAT (en Guatemala), SSIA (en El Salvador) y MANA (en Nicaragua), siendo las coordenadas de esos tres las correspondientes a la solución SIRGAS para la semana 1593. A continuación se realizó el ajuste de la red de Tegucigalpa constituida por 22 estaciones, una de ellas (TEG) fija, 362 vectores calculados y, por tanto, 63 parámetros o coordenadas a ajustar 1 1023 como grado de libertad. En la figura 4- se representa la curva de frecuencia de los residuos que responde a una distribución normal como era de esperar, por lo que pasa el test Chi-cuadrado sobre el factor de varianza. Se hace notar que la altitud del vértice TEG1 está referida sobre el suelo, a nivel de calle, 13.484 m por debajo de la cabeza del pilar del vértice (ARP) ubicado en la cubierta del edificio del IGN. Su interés es debido a que hasta el punto inferior se ha llevado nivelación geométrica de precisión, por lo que se distinguen ambos puntos, superior e inferior. Para obtener también altitudes ortométricas de los vértices se ha utilizado el modelo de geoide EGM2008 de reciente publicación. A tal efecto se ha extraído una subrejilla entre los 7° y 18° de latitud N y los 267.5° y 285° de longitud E, con paso de 1 minuto en ambas direcciones.

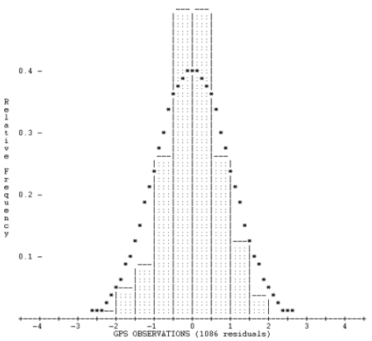


Figura 4-92. Curva de frecuencia de residuos

Las coordenadas resultantes corresponden al marco de referencia SIRGAS, datum IGS05 en la época 2010.55, y se presentan en cuatro formatos XYZ (cartesianas 3D), PLO (latitud, longitud y altitud ortométrica), PLH (latitud, longitud y altitud elipsoidal) y también NEO (norte, este y altitud ortométrica) para lo que se ha asociado la proyección UTM. Además, nueve de los veintidós vértices han sido nivelados lo que permite analizar el comportamiento del modelo EGM2008 en esta pequeña región.

La discrepancia media es de -0.115 m ±0.07 pero los residuos apuntan la posibilidad de corregir el modelo con un plano ligeramente inclinado en las direcciones norte-sur y este-oeste. Hallados los tres parámetros mediante un ajuste por mmcc el sigma de la unidad de peso resultante es ±0.039. En consecuencia la corrección de altitudes es:

$ONDU_{modificada}=ONDU_{EGM2008}$ - 0.146 -1.3619E-05(Norte - 1557067.04) -1.0918E-05(Este - 478068.69)

Las tablas siguientes presentan los resultados de las operaciones realizadas para el ajuste de la red GEodèsica.

Tabla 4-28. Ajuste de altitudes ortométricas obtenidas de las elipsoidales menos EGM2008:

Point Name	Northing	Easting	Height	Elevation	EGM2008	Nivelación	Corr calculada	Elevation adjusted	Error
BASE_GPS	1555953.196	478141.16	971.229	965.8502	5.3788	965.7538	-0.132	965.718	0.0357
CANTARERO	1557923.069	473403.9603	1150.4271	1145.08	5.3471		-0.107	1144.973	
CERROGRANDE	1561519.682	476455.9476	1196.4742	1191.1664	5.3078		-0.19	1190.977	
CICH	1557038.198	480620.4563	1020.2029	1014.8	5.4029	1014.6017	-0.174	1014.626	-0.0243
COBRAS	1560507.319	480625.1116	1043.2856	1037.909	5.3766		-0.221	1037.688	
COPECO	1554451.491	470603.843	1107.7569	1102.3713	5.3856	1102.3623	-0.029	1102.342	0.0204
EMPALME	1554904.95	481490.5554	1053.9996	1048.566	5.4336		-0.154	1048.412	
HATILLO	1563590.076	483605.0945	1434.2511	1428.8535	5.3976		-0.296	1428.558	
IHSS	1559048.43	474993.6657	1077.4626	1072.1287	5.3339		-0.14	1071.989	
INICE	1552682.527	477805.344	1010.5694	1005.172	5.3974		-0.084	1005.088	
KM0	1559467.406	477904.1746	941.839	936.4913	5.3477		-0.177	936.314	
LAURELES	1554957.378	472800.2272	1047.2292	1041.8619	5.3673	1041.8345	-0.06	1041.802	0.0329
OBSERVATORIO	1557360.216	482812.0559	1078.081	1072.645	5.436	1072.4457	-0.202	1072.443	0.003
OLVIDO	1562386.788	471412.2561	1374.2875	1369.0187	5.2688	1368.8363	-0.146	1368.872	-0.0361
PAC	1554423.979	476678.3116	1003.3636	997.988	5.3756	997.9019	-0.095	997.893	0.0092
PERISUR	1552730.53	475930.4905	1055.2047	1049.824	5.3807		-0.064	1049.76	
PICACHO	1561182.282	479490.0596	1308.3221	1302.9741	5.348		-0.218	1302.756	
SAUCE	1551356.394	475722.7433	1187.1863	1181.7996	5.3867	1181.6929	-0.043	1181.756	-0.0636
SITIO	1560228.273	483503.7657	1043.8937	1038.4636	5.4301		-0.249	1038.215	
Tegi	1557697.718	477800.8837	937.8383	932.4764	5.3619		-0.152	932.324	
Tegi (ARP)	1557697.718	477800.8837	951.3223	945.9604	5.3641	945.831	-0.152	945.808	0.0228
UNITEC	1553270.173	481271.2158	1053.5212	1048.0742	5.447		-0.13	1047.944	
VILLANUEVA	1552164.234	484707.768	1290.0693	1284.5473	5.522		-0.152	1284.395	

Tabla 4-29. Coordenadas ajustadas NEO

NORTHING	EASTING	O-HEIGHT	STD	DEV	STD	DEV	STD	DEV	MAPPROJ
CODE	FFF	STATION							
NEO	0	BASE_GPS	1555953.2	478141.16	965.8502	UTM	0.0009	0.001	0.0028
SFMC	BASE_GPS	0.9996059	0	-2	57.260362	UTM			
NEO	0	CANTARERO	1557923.1	473403.96	1145.08	UTM	0.0021	0.0024	0.0054
SFMC	CANTARERO	0.9996088	0	-3	35.959565	UTM			
NEO	0	CERROGRANDE	1561519.7	476455.95	1191.1664	UTM	0.0016	0.0019	0.005
SFMC	CERROGRANDE	0.9996069	0	-3	11.637091	UTM			
NEO	0	CICH	1557038.2	480620.46	1014.8	UTM	0.0015	0.0017	0.0043
SFMC	CICH	0.9996047	0	-2	37.269132	UTM			
NEO	0	COBRAS	1560507.3	480625.11	1037.909	UTM	0.0013	0.0015	0.0037
SFMC	COBRAS	0.9996046	0	-2	37.595958	UTM			
NEO	0	COPECO	1554451.5	470603.84	1102.3713	UTM	0.0025	0.0029	0.0078
SFMC	COPECO	0.9996107	0	-3	58.142696	UTM			
NEO	0	EMPALME	1554904.9	481490.56	1048.566	UTM	0.0027	0.0029	0.0064
SFMC	EMPALME	0.9996042	0	-2	29.993991	UTM			
NEO	0	HATILLO	1563590.1	483605.09	1428.8535	UTM	0.0022	0.0025	0.0065
SFMC	HATILLO	0.9996033	0	-2	13.631041	UTM			
NEO	0	IHSS	1559048.4	474993.67	1072.1287	UTM	0.0016	0.0018	0.0049
SFMC	IHSS	0.9996077	0	-3	23.203967	UTM			
NEO	0	INICE	1552682.5	477805.34	1005.172	UTM	0.0022	0.0026	0.0061
SFMC	INICE	0.9996061	0	-2	59.589941	UTM			
NEO	0	KM0	1559467.4	477904.17	936.4913	UTM	0.0015	0.0017	0.005
SFMC	KM0	0.999606	0	-2	59.603315	UTM			
NEO	0	LAURELES	1554957.4	472800.23	1041.8619	UTM	0.0027	0.0032	0.0076
SFMC	LAURELES	0.9996092	0	-3	40.424313	UTM			
NEO	0	OBSERVATORIO	1557360.2	482812.06	1072.645	UTM	0.0023	0.0026	0.006
SFMC	OBSERVATORIO	0.9996037	0	-2	19.513951	UTM			
NEO	0	OLVIDO	1562386.8	471412.26	1369.0187	UTM	0.0022	0.0025	0.0074
SFMC	OLVIDO	0.9996101	0	-3	52.824247	UTM			
NEO	0	PAC	1554424	476678.31	997.988	UTM	0.002	0.0022	0.0048
SFMC	PAC	0.9996067	0	-3	8.929556	UTM			
NEO	0	PERISUR	1552730.5	475930.49	1049.824	UTM	0.002	0.0023	0.0057
SFMC	PERISUR	0.9996072	0	-3	14.766595	UTM			
NEO	0	PICACHO	1561182.3	479490.06	1302.9741	UTM	0.0013	0.0014	0.0039
SFMC	PICACHO	0.9996052	0	-2	46.903548	UTM			
NEO	0	SAUCE	1551356.4	475722.74	1181.7996	UTM	0.0025	0.0029	0.0074
SFMC	SAUCE	0.9996073	0	-3	16.266765	UTM			
NEO	0	SITIO	1560228.3	483503.77	1038.4636	UTM	0.0018	0.002	0.0053
SFMC	SITIO	0.9996034	0	-2	14.156041	UTM			
NEO	111	Tegi	1557697.7	477800.88	932.4764	UTM	0	0	0
SFMC	Tegi	0.9996061	0	-3	0.229792	UTM			
NEO	0	UNITEC	1553270.2	481271.22	1048.0742	UTM	0.0021	0.0023	0.0056
SFMC	UNITEC	0.9996043	0	-2	31.605406	UTM			
NEO	0	VILLANUEVA	1552164.2	484707.77	1284.5473	UTM	0.0031	0.0035	0.0093
SFMC	VILLANUEVA	0.9996029	0	-2	3.695696	UTM			

4-30. Coordenadas ajustadas PLH

CODE	FFF	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	O-HEIGHT	SD	SD	SD
PLO	0	BASE_GPS	N 14 04 27.488485	W 87 12 8.923683	965.8502	0.0009	0.001	0.0028
PLO	0	CANTARERO	N 14 05 31.462261	W 87 14 46.962210	1145.08	0.0021	0.0024	0.0054
PLO	0	CERROGRANDE	N 14 07 28.632445	W 87 13 5.292106	1191.1664	0.0016	0.0019	0.005
PLO	0	CICH	N 14 05 2.871602	W 87 10 46.274820	1014.8	0.0015	0.0017	0.0043
PLO	0	COBRAS	N 14 06 55.794254	W 87 10 46.207868	1037.909	0.0013	0.0015	0.0037
PLO	0	COPECO	N 14 03 38.359806	W 87 16 20.209938	1102.3713	0.0025	0.0029	0.0078
PLO	0	EMPALME	N 14 03 53.453675	W 87 10 17.206821	1048.566	0.0027	0.0029	0.0064
PLO	0	HATILLO	N 14 08 36.208648	W 87 09 6.883746	1428.8535	0.0022	0.0025	0.0065
PLO	0	IHSS	N 14 06 8.146090	W 87 13 53.983749	1072.1287	0.0016	0.0018	0.0049
PLO	0	INICE	N 14 02 41.016061	W 87 12 20.026982	1005.172	0.0022	0.0026	0.0061
PLO	0	KM0	N 14 06 21.871940	W 87 12 16.928293	936.4913	0.0015	0.0017	0.005
PLO	0	LAURELES	N 14 03 54.906245	W 87 15 6.990423	1041.86	190.0027	0.0032	0.0076
PLO	0	OBSERVATORIO	N 14 05 13.404861	W 87 09 33.196178	1072.645	0.0023	0.0026	0.006
PLO	0	OLVIDO	N 14 07 56.688304	W 87 15 53.551675	1369.0187	0.0022	0.0025	0.0074
PLO	0	PAC	N 14 03 37.668984	W 87 12 57.658114	997.988	0.002	0.0022	0.0048
PLO	0	PERISUR	N 14 02 42.523221	W 87 13 22.540612	1049.824	0.002	0.0023	0.0057
PLO	0	PICACHO	N 14 07 17.735696	W 87 11 24.083164	1302.9741	0.0013	0.0014	0.0039
PLO	0	SAUCE	N 14 01 57.787521	W 87 13 29.423797	1181.7996	0.0025	0.0029	0.0074
PLO	0	SITIO	N 14 06 46.777338	W 87 09 10.190744	1038.4636	0.0018	0.002	0.0053
PLO	111	Tegl	N 14 05 24.264400	W 87 12 20.321580	932.4764	0	0	0
PLO	111	Tegl cabeza de pilar	N 14 05 24.264400	W 87 12 20.321580	945.9604	0	0	0
PLO	0	UNITEC	N 14 03 0.235022	W 87 10 24.480700	1048.0742	0.0021	0.0023	0.0056
PLO	0	VILLANUEVA	N 14 02 24.310329	W 87 08 29.872638	1284.5473	0.0031	0.0035	0.0093

Tabla 4-31. Coordenadas ajustadas PLO

FFF	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	O-HEIGHT	STD DEV	STD DEV	STD DEV
0	BASE_GPS	N 14 04 27.488485	W 87 12 8.923683	965.8502	0.0009	0.001	0.0028
0	CANTARERO	N 14 05 31.462261	W 87 14 46.962210	1145.08	0.0021	0.0024	0.0054
0	CERROGRANDE	N 14 07 28.632445	W 87 13 5.292106	1191.1664	0.0016	0.0019	0.005
0	CICH	N 14 05 2.871602	W 87 10 46.274820	1014.8	0.0015	0.0017	0.0043
0	COBRAS	N 14 06 55.794254	W 87 10 46.207868	1037.909	0.0013	0.0015	0.0037
0	COPECO	N 14 03 38.359806	W 87 16 20.209938	1102.3713	0.0025	0.0029	0.0078
0	EMPALME	N 14 03 53.453675	W 87 10 17.206821	1048.566	0.0027	0.0029	0.0064
0	HATILLO	N 14 08 36.208648	W 87 09 6.883746	1428.8535	0.0022	0.0025	0.0065
0	IHSS	N 14 06 8.146090	W 87 13 53.983749	1072.1287	0.0016	0.0018	0.0049
0	INICE	N 14 02 41.016061	W 87 12 20.026982	1005.172	0.0022	0.0026	0.0061
0	KM0	N 14 06 21.871940	W 87 12 16.928293	936.4913	0.0015	0.0017	0.005
0	LAURELES	N 14 03 54.906245	W 87 15 6.990423	1041.86	190.0027	0.0032	0.0076
0	OBSERVATORIO	N 14 05 13.404861	W 87 09 33.196178	1072.645	0.0023	0.0026	0.006
0	OLVIDO	N 14 07 56.688304	W 87 15 53.551675	1369.0187	0.0022	0.0025	0.0074
0	PAC	N 14 03 37.668984	W 87 12 57.658114	997.988	0.002	0.0022	0.0048
0	PERISUR	N 14 02 42.523221	W 87 13 22.540612	1049.824	0.002	0.0023	0.0057
0	PICACHO	N 14 07 17.735696	W 87 11 24.083164	1302.9741	0.0013	0.0014	0.0039
0	SAUCE	N 14 01 57.787521	W 87 13 29.423797	1181.7996	0.0025	0.0029	0.0074
0	SITIO	N 14 06 46.777338	W 87 09 10.190744	1038.4636	0.0018	0.002	0.0053
111	Tegl	N 14 05 24.264400	W 87 12 20.321580	932.4764	0	0	0
111	Tegl cabeza de pilar	N 14 05 24.264400	W 87 12 20.321580	945.9604	0	0	0
0	UNITEC	N 14 03 0.235022	W 87 10 24.480700	1048.0742	0.0021	0.0023	0.0056
0	VILLANUEVA	N 14 02 24.310329	W 87 08 29.872638	1284.5473	0.0031	0.0035	0.0093

Tabla 4-32. Coordenadas ajustadas X, Y, Z

CODE	FFF	STATION	X	Y	Z	DS	DS	DS
XYZ	0	BASE_GPS	302055.974	-6181464.34	1541193.31	0.001	0.0027	0.0011
XYZ	0	CANTARERO	297305.058	-6181389.63	1543144.27	0.0024	0.0052	0.0024
XYZ	0	CERROGDE	300311.452	-6180410.03	1546648.56	10.0018	0.0048	0.0021
XYZ	0	CICH	304522.138	-6181126.01	1542260.17	0.0017	0.0042	0.0019
XYZ	0	COBRAS	304483.637	-6180303.7	1545632.28	0.0015	0.0036	0.0016
XYZ	0	COPECO	294548.829	-6182326.67	1539761.65	0.0029	0.0075	0.0032
XYZ	0	EMPALME	305420.438	-6181634.04	1540198.65	0.0028	0.0062	0.0031
XYZ	0	HATILLO	307441.045	-6179782.46	1548721.02	150.0025	0.0063	0.0027
XYZ	0	IHSS	298876.035	-6180968.05	1544220.16	0.0018	0.0047	0.002
XYZ	0	INICE	301763.845	-6182312.82	1538028.15	0.0026	0.0059	0.0028
XYZ	0	KM0	301772.955	-6180592.66	1544596.3	0.0017	0.0048	0.002
XYZ	0	LAURELES	296734.662	-6182039.63	1540240.32	0.0032	0.0073	0.0033
XYZ	0	OBSERV	306710.939	-6180995.1	1542588.3	0.0026	0.0058	0.0028
XYZ	0	OLVIDO	295267.894	-6180614.92	1547528.31	0.0025	0.0071	0.0029
XYZ	0	PAC	300615.057	-6181938.45	1539715.69	0.0022	0.0047	0.0023
XYZ	0	PERISUR	299891.682	-6182436.01	1538083.93	0.0023	0.0055	0.0025
XYZ	0	PICACHO	303353.311	-6180451.91	1546351.02	0.0014	0.0038	0.0016
XYZ	0	SAUCE	299707.72	-6182907.09	1536781.9	0.0029	0.0071	0.0031
XYZ	0	SITIO	307363.947	-6180229.39	1545363.63	0.002	0.0051	0.0022
XYZ	111	Tegl	301692.115	-6181024.56	1542877.92	0	0	0
XYZ	111	Tegl	301692.753	-6181037.62	1542881.2	0	0	0
XYZ	0	UNITEC	305222.015	-6182041.2	1538611.67	0.0023	0.0054	0.0025
XYZ	0	VILLANUEVA	308681.737	-6182367.51	1537597.8	0.0034	0.009	0.0039

Por último se relacionan las elipses de error e indeterminación en altura al 95% y el gráfico final de la red (Tabla 4-33).

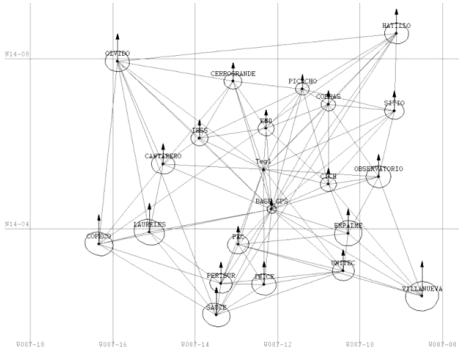


Figura 4-93. Elipses de error

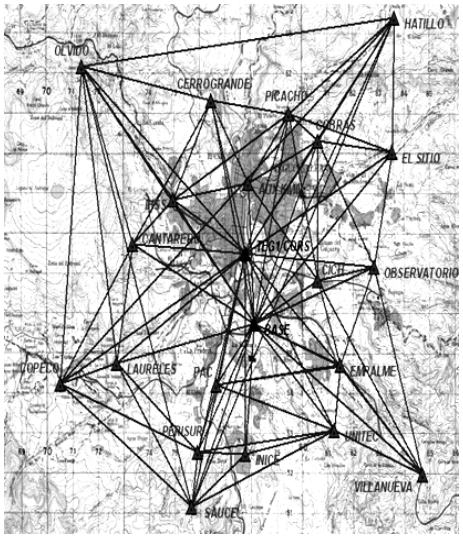


Figura 4-17. Croquis y estructura de la Red observada

Tabla 4-33. Elipses de error e indeterminación y gráfico final de la red

STATION	MAJOR SEMI-AXIS	AZ	MINOR SEMI-AXIS	VERTICAL
BASE_GPS	0.0024	96	0.0021	0.0054
CANTARERO	0.006	96	0.0051	0.0105
CERROGRANDE	0.0045	93	0.004	0.0098
CICH	0.0041	94	0.0037	0.0085
COBRAS	0.0037	95	0.0033	0.0072
COPECO	0.0073	107	0.0059	0.0152
EMPALME	0.0071	77	0.0065	0.0125
HATILLO	0.0062	94	0.0053	0.0128
IHSS	0.0044	91	0.0039	0.0096
INICE	0.0063	100	0.0055	0.012
KM0	0.0041	96	0.0038	0.0098
LAURELES	0.0079	109	0.0065	0.0149
OBSERVATORIO	0.0063	89	0.0057	0.0117
OLVIDO	0.0062	99	0.0053	0.0144
PAC	0.0054	80	0.0049	0.0095
PERISUR	0.0058	102	0.0049	0.0113
PICACHO	0.0035	94	0.0031	0.0076
SAUCE	0.0072	108	0.0059	0.0145
SITIO	0.005	95	0.0043	0.0104
UNITEC	0.0056	88	0.005	0.0109
VILLANUEVA	0.0085	85	0.0075	0.0182

En la tabla 4-34 se ha realizado la transformación de las coordenadas en ITRF2005 época 2005.55 a SIRGAS2000 realizando los pasos que se describen a continuación. En primer lugar se desplazan las coordenadas de la época 2005.55 a la época de referencia de SIRGAS2000, 2000.4; este paso se realiza mediante las velocidades de la estación, al no disponerse de este dato y estar las coordenadas de las estaciones más cercanas a unos 200km de distancia, se ha empleado el modelo VEMOS2009 (Drewes y Heidbach (2009) obteniendo para la estación Tegu I

los valores de {VX,VY,VZ}={ 0.0094,0.0018,0.0054} m/año, los valores obtenidos se muestran en la tabla 4- bajo las columnas "ITRF2005 época 2000.4".

Por último, se transforma a ITRF2000 época 2000.4, coincidente con la definición de SIRGAS2000; para ello se emplean los parámetros de transformación entre ITRF2005 y ITRF2000 disponibles en http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php, dichos parámetros están referidos a la época 2000.0 y son transformados a la época de referencia (2000.4) quedando:

Tabla 4-34. Transformación de las coordenadas en ITRF2005 época 2005.55 a SIRGAS2000

Nombre	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
BASE_GPS	302055.974	-6181464.34	1541193.31	302055.879	-6181464.362	1541193.259	302055.879	-6181464.366	1541193.253
CANTARERO	297305.058	-6181389.63	1543144.27	297304.962	-6181389.646	1543144.216	297304.962	-6181389.649	1543144.210
CERROGRANDE	300311.452	-6180410.03	1546648.56	300311.356	-6180410.052	1546648.506	300311.356	-6180410.055	1546648.500
CICH	304522.138	-6181126.01	1542260.17	304522.043	-6181126.024	1542260.113	304522.043	-6181126.028	1542260.107
COBRAS	304483.637	-6180303.7	1545632.28	304483.541	-6180303.718	1545632.224	304483.542	-6180303.722	1545632.218
COPECO	294548.829	-6182326.67	1539761.65	294548.734	-6182326.688	1539761.599	294548.734	-6182326.692	1539761.593
EMPALME	305420.438	-6181634.04	1540198.65	305420.343	-6181634.060	1540198.595	305420.343	-6181634.064	1540198.589
HATILLO	307441.045	-6179782.46	1548721.02	307440.949	-6179782.480	1548720.967	307440.949	-6179782.484	1548720.961
IHSS	298876.035	-6180968.05	1544220.16	298875.940	-6180968.066	1544220.101	298875.940	-6180968.069	1544220.095
INICE	301763.845	-6182312.82	1538028.15	301763.750	-6182312.834	1538028.096	301763.750	-6182312.838	1538028.090
KM0	301772.955	-6180592.66	1544596.3	301772.859	-6180592.680	1544596.242	301772.859	-6180592.683	1544596.236
LAURELES	296734.662	-6182039.63	1540240.32	296734.566	-6182039.650	1540240.261	296734.567	-6182039.653	1540240.255
OBSERVATORIO	306710.939	-6180995.1	1542588.3	306710.844	-6180995.113	1542588.240	306710.844	-6180995.117	1542588.234
OLVIDO	295267.894	-6180614.92	1547528.31	295267.798	-6180614.934	1547528.251	295267.799	-6180614.938	1547528.245
PAC	300615.057	-6181938.45	1539715.69	300614.961	-6181938.468	1539715.638	300614.961	-6181938.471	1539715.632
PERISUR	299891.682	-6182436.01	1538083.93	299891.587	-6182436.028	1538083.871	299891.587	-6182436.031	1538083.865
PICACHO	303353.311	-6180451.91	1546351.02	303353.216	-6180451.924	1546350.962	303353.216	-6180451.927	1546350.956
SAUCE	299707.72	-6182907.09	1536781.9	299707.625	-6182907.107	1536781.844	299707.625	-6182907.111	1536781.839
SITIO	307363.947	-6180229.39	1545363.63	307363.852	-6180229.404	1545363.573	307363.852	-6180229.408	1545363.567
UNITEC	305222.015	-6182041.2	1538611.67	305221.920	-6182041.221	1538611.613	305221.920	-6182041.224	1538611.607
VILLANUEVA	308681.737	-6182367.51	1537597.8	308681.642	-6182367.526	1537597.745	308681.642	-6182367.530	1537597.739
Tegl Suelo	301692.115	-6181024.56	1542877.92	301692.020	-6181024.575	1542877.865	301692.020	-6181024.579	1542877.859
Tegl Cabeza de pilar	301692.753	-6181037.62	1542881.2	301692.658	-6181037.638	1542881.147	301692.658	-6181037.642	1542881.141
	ITRF2005 época 2010.55			ITRF2005 época 2000.4			ITRF2000 época 2000.4 == SIRGAS2000		

9. Aplicaciones y conclusiones

La implantación de la Red Geodésica de Tegucigalpa, será de vital importancia en la gestión y ordenación del territorio, así como en aplicaciones como la geodinámica, las comunicaciones, astronomía, topografía, fotogrametría, teledetección y SIG, con aplicación directa en los programas, entre otros, de desarrollo que a continuación se enumeran:

- Actualización de la cartografía local y nacional: Permitirá lograr una cartografía local y nacional de alto valor y precisión y servirá de apoyo en proyectos de levantamientos fotogramétricos y geo-referenciación de imágenes de satélite.
- Catastro urbano y rural: La ubicación geoespacial de los predios rústicos y urbanos permitirá la depuración de los registros catastrales y la integración de una cartografía confiable, así mismo también permitirá la incorporación constante de las áreas de crecimiento urbano en la ciudad de Tegucigalpa, utilizando los levantamientos topográficos y geodésicos para estos fines.
- Tenencia de la tierra: El posicionamiento geográfico dará seguridad jurídica a la propiedad, que fomentará la inversión local y extranjera en el municipio del Distrito Central.
- Ordenamiento territorial: Esta Red Geodésica permitirá definir los límites territoriales para determinar la dotación de servicios básicos y pago de impuestos, fomentando las interrelaciones entre caseríos y comunidades, resolviendo los derechos constitucionales o de propiedad a los habitantes en las áreas de frontera de las aldeas, ayudando a precisar las estadísticas regionales y permitirá el ahorro de recursos, la integración y delimitación de Áreas Protegidas, frenará el crecimiento desordenado de la Ciudad e impulsará las áreas de crecimiento urbano como unidades habitacionales y fraccionamientos en una cartografía de alto valor para la adecuación y generación de planes de desarrollo urbano y rural, dentro del municipio y a posteriori, a nivel nacional, etc.
- Seguridad Pública: Permitirá la utilización de cartografía confiable para el mapeo de zonas delictivas con el establecimiento de módulos estratégicos y patrullajes dirigidos para prevención y control de eventualidades.
- Gestión de riesgos: Ubicación exacta de las zonas de alto riesgo y seguimiento de fenómenos naturales para medidas de prevención y respuesta o evacuación del factor humano.
- Apoyo a la red vial municipal: La conformación de mapas de carreteras con la ubicación exacta permitirá la ampliación de la red vial municipal geo-referenciada, además del control de desplazamiento de vehículos de carga y pasaje con el apoyo de receptores GPS.
- Saneamiento básico e infraestructura: Permitirá la geo-referenciación de hospitales, centros de salud, escuelas, sistemas de agua potable,
- electricidad, etc., para la dotación de servicios y recursos de forma planificada dentro del municipio.

La precisión milimétrica de los resultados obtenidos en el establecimiento de esta Red Geodésica GPS en Tegucigalpa y su enlace con las redes oficiales de Centroamérica, servirán para el desarrollo de proyectos comprometidos con la generación y utilización de información geo-referenciada en la región, tanto a nivel nacional como internacional. La Red GPS proporcionará el control básico esencial para el desarrollo de proyectos de Ingeniería, Catastro, Cartografía, proyectos Forestales, Agrícolas, Mineros, Educativos, Demarcación de Fronteras Nacionales, Estatales e Internacionales, Control de Aeropuertos, Represas Hidroeléctricos, Levantamientos Batimétricos, Proyectos Científicos, etc.… Así mismo, la red implantada da respuesta al Programa de Reconstrucción en América Central originado por el Huracán Mitch. En este sentido el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos de América (NGS. Año 1999) encargó el desarrollo *de un marco geodésico para la navegación terrestre, marítima y aérea, trabajos de topografía, cartografía, catálogo o inventario de recursos naturales, levantamientos de ingeniería, catastro y aplicaciones de los SIG*. (http://www.ngs.noaa.gov/PROJECTS/Mitch/plan112399.htm).

Referencias Bibliográficas

DREWES, H. and O. Heidbach (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia)

BASELGA MORENO S. Cálculo, compensación e interpretación de resultados en redes locales de alta precisión observadas por GPS y topografía clásica con aplicación de análisis estadístico multivariantes y técnicas de estimación robusta. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones, 2004

BERROCOSO DOMINGUEZ, M. El Sistema de Posicionamiento Global Universidad de Cádiz. Servicio de Publicaciones, 2004

CASANOVA, M. Sistemas de Posicionamiento Global. Documento electrónico. (En línea). Disponible en www.mogt.org/aulavirtual/geodesiacartografia.

FRANCO REY, J. Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía, Franco Rey, Jorge, Universidad De Extremadura Servicio, 1ª edición, 1999

GONZÁLEZ-MATESANZ, F.J, QUIRÓS, R., CANO M., DALDA, A. (2004) Posicionamiento GPS en tiempo real a través de internet. EUREF-IP. Congreso nacional de Topografía y Cartografía Topcart 2004. Ilmo. Colegio oficial de ITT, Madrid. Program and abstracts. Noviembre 2004.

GONZÁLEZ-MATESANZ, F. J., WEBER, G., CELADA, J., DALDA, A., QUIRÓS, R.: (3-7 febrero 2004). "El proyecto EUREF-IP. Resultados con GPRS". 4ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Figueira da Foz (Portugal).

McCARTHY DENNIS D., PETIT G. (Eds.). IERS Conventions (2003). IERS Conventions Centre. 2003. (En línea) Disponible en www.iers.org/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn32.html.

MAZA VAZQUEZ. F. (2009). Nuevas técnicas aplicadas a la cartografía municipal, S.I.G. y sectorización urbanística el Plan 2000: Guadalajara. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. España. pag. 148.

MENA, JUAN B. (2008). Geodesia Superior. Geodesia Clásica. Volumen I. Ministerio de Fomento. Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid. España. Enero 720 págs.

MUGNIER, J. CLIFFORD (1999). The Republic of Honduras. Grids&Datums. Photogrametric Engineering&Remote Sensing. SIRGAS, págs. 754-755.

PLATA ROCHA, W. (2008).Curso de GPS. UNAH-UAH. Documento Electrónico (En línea). Disponible en www.mogt.org/aulavirtual/geodesiacartografia.

SEVILLA, M.J, ROMERO, P. (1990). Análisis estadístico de observaciones geodésicas antes de la compensación. Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid Citación : Física de la Tierra, núm. 2. 87-110

UNAVCO. Munumentation of permanente GPS stations. Documento Electrónico (En línea). Disponible en http://www.facility.unavco.org/project_support/permanent/monumentation/monument_table.html.

W.L, COMBRINCK and M. SCHMIDT. Physical Site Specifications:Geodetic Site Monumentation. Documento Electrónico (En línea). Disponible en : http://www.hartrao.ac.za/geodesy/SITE_MON.HTM.

Enlaces de interés:
Indicaciones, guías y recomendaciones para las estaciones SIRGAS-CONSIRGAS: http://www.sirgas.org/
Monumentación de estaciones geodésicas:
IGS Geodetic Site Monumentation, pp. 91-107 http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/resource/pubs/ntwk98/section3.pdf
IGS monumentation design and implementation recommendations igscb.jpl.nasa.gov/network/monumentation.html
Monumentation of permanent GPS stations – UNAVCO
facility.unavco.org/project_support/permanent/monumentation/monument_table.html
Sobre las características de estaciones GNSS de operación contínua:
IGS Site Guidelines: http://igscb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html
NOAA/NGS Guidelines for establishing and operating CORS: http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf
Guidelines for EPN stations and operational centres: www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf

SECCION V.

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

DESARROLLO DE UN MÓDULO HIDRO-GEOMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE DAÑOS POR INUNDACIÓN: APLICACIÓN EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA (MÉXICO)

Miguel A. Gómez-Albores1, Díaz-Delgado Carlos1, Baró-Suárez José2, Esteller-Alberich María1, Sánchez-Flores Oscar3, Fabela-Estrada Adrián4.

RESUMEN

Las inundaciones son uno de los desastres naturales que más afectan a las poblaciones humanas, provocando severos impactos en la salud y daños socioeconómicos elevados. El presente proyecto se enmarca dentro de una metodología desarrollada recientemente por investigadores de la UAEMéx y la UNAM, para la estimación de daños tangibles directos construidos a partir de modelos matemáticos probabilístico y de tipo regresivo para México (Baró *et al.*, 2011). Por otro lado, los Sistemas de Información Geográfica, permiten desarrollar herramientas que facilitan la implementación del método y el análisis de resultados de manera automatizada. Siguiendo una metodología geomática, en donde se eligió a Idrisi como plataforma SIG y a Delphi como software de programación, se obtuvo como resultado un módulo que permite de manera espacial y automatizada, estimar los daños tangibles por inundación a partir de información socioeconómica disponible a nivel nacional, con aplicación a la cuenca Lerma-Chapala.

Palabras clave: Inundación, función de distribución beta, daños-inundación, SIG, Cuenca Lerma-Chapala.

DEVELOPMENT OF AN HYDRO-GEOMATIC MODULE FOR COST ESTIMATION OF FLOOD DAMAGES: IMPLEMENTATION IN THE LERMA-CHAPALA (MEXICO)

ABSTRACT

Floods are one of the natural disasters that affect human populations, causing severe health impacts and high socio-economic damage. This project is part of a methodology developed recently by researchers from UAEMEX and UNAM to the direct tangible damages estimates in Mexico, constructed from a probabilistic mathematical model and the regressive type (Baró et al., 2011). On the other hand, Geographic Information Systems allow us the development of tools that facilitate automated analysis. Following a geomatic methodology, where Idrisi was selected as the GIS platform, and Delphi as programming software, it was obtained a module that facilitate spatial and automated procedure to estimate the damage from tangible socio-economic database available nationally, with application to the flood Lerma-Chapala watershed.

Keywords: *Flood, Beta distribution function, Flood-damages, GIS, Lerma-Chapala Watershed.*

1Centro Interamericano de Recursos del Agua-FI-UAEMéx, 2Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEMéx, 3Facultad de Ingeniería, UAEMéx, 4Facultad de Geografía, UAEMéx. Correspondencia: Facultad de Ingeniería, Cerro de Coatepec, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, C.P.50110.
1qfbmiguel@yahoo.com.mx, 1cdiazd@uaemex.mx, 1mvestellera@uaemex.mx, 2jebaros@yahoo.com.mx, 3osanchez@uaemex.mx, 4 adrian_afe@hotmail.com,

1. Introducción

El tercer reporte de evaluación sobre cambio climático (IPCC, 2001) establece: "es muy probable (con un intervalo de confianza de 90-99%) que las precipitaciones se hayan incrementado en un 0.5-1.0% por década en el siglo XX. Sobre todo en las latitudes altas y medias del hemisferio norte" y que en esta misma región "en la última mitad del siglo XX es muy probable (con un 60-90% de confiabilidad) que la frecuencia de aparición de precipitaciones fuertes se haya incrementado en 2-4%", por lo que se concluye que "la magnitud de las inundaciones y su frecuencia se han incrementado en muchas regiones". Con base en los análisis efectuados por los miembros del IPCC, es posible inferir que los efectos de las lluvias intensas tengan como consecuencia crecidas en cursos de agua que rebasen los umbrales normales del cauce y generen inundaciones con recurrencia. Así, las planicies inundables se verán afectadas con mayor frecuencia y con impactos socio-económicos más devastadores.

Las inundaciones constituyen el fenómeno hidrometeorológico que mayores impactos causan a un socio-ecosistema, por sus características en cuanto a la dimensión espacial y temporal del fenómeno (Lopardo y Seoane, 2000). Los desastres debidos a inundaciones suponen, aproximadamente, un tercio de todas las catástrofes naturales que se producen alrededor del mundo, al menos en cuanto a pérdidas económicas. Además, son la causa de más del cincuenta por ciento de las víctimas fatales. Según el Centro de Investigaciones sobre Epidemiología de Catástrofes (CRED) las inundaciones y los deslizamientos representan el 61% de todos los desastres naturales ocurridos entre 1980 y 2001 (EM-DAT, 2009).

En México, los daños por inundación suelen ser muy cuantiosos. En efecto, tan sólo en 2008 se destacan las inundaciones de Tabasco y Chihuahua, donde para Tabasco, los daños económicos se valoraron en 4.6 mil millones de pesos, con 41 800 habitantes afectados y se presentó un deceso; en Chihuahua los daños ascendieron a 380 millones de pesos, se afectaron 23 387 habitantes y ocurrieron 8 decesos (CENAPRED, 2009).

Afortunadamente en el país la mitigación de impactos por desastres naturales, en particular del fenómeno hidrológico de inundación, se encuentra como uno de los principales objetivos de las autoridades competentes. En consecuencia, agencias gubernamentales como protección civil, bomberos, entre otras, cuentan hoy en día con planes de emergencia para mitigación de impactos por inundación. Sin embargo, es de resaltar que el mayor sistema de respuesta existente en México corresponde al Plan DN-III del ejército mexicano (SEDENA, 2010).

Por otro lado, posterior a un evento de inundación, suele ocurrir que las medidas que se toman en cuenta al presentarse este tipo de eventos en zonas habitacionales, son de tipo estructural. Esto implica importantes inversiones que rara vez se juzgan en el marco de un análisis costo-beneficio realista. Por ello, recientemente Baro *et al* (2011) proponen una metodología que permite la estimación de daños económicos tangibles directos provocados por inundación. Esta propuesta metodológica pretende ser una herramienta con aplicabilidad para México que facilite la toma de decisiones bajo un análisis costo/beneficio sobre acciones concretas para mitigar y en su caso controlar los impactos nocivos de una inundación.

Este trabajo, tiene como fundamento la metodología antes mencionada y como objetivo la generación de un módulo de análisis desarrollado en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica. Así, el principal propósito de la investigación corresponde a la codificación de un módulo geomático que permita la evaluación de los costos por daños tangibles directos ocasionados por la presencia de una inundación. Adicionalmente, la validación del funcionamiento adecuado del módulo generado se realizó con base en los resultados reportados para la Cuenca Alta del Río Lerma, México (Baró *et al.*, 2007; Baró *et al.*, 2011).

La implementación del módulo geomático permitirá contar con una evaluación de los costos debidos a una inundación, pero sobre todo permitirá la construcción de escenarios (simulaciones) que ayuden a las autoridades y/o tomadores de decisiones, en la definición de inversiones para la prevención ante estos eventos hidrológicos extremos.

2. Antecedentes

Hoy en día, los desastres naturales tienen más cobertura mediática. Sin embargo, estos eventos no son nada nuevo. En efecto, los desastres naturales han influido en el curso de la historia a través del tiempo, generando hambre, pérdida de vidas y, en casos extremos, la destrucción de civilizaciones enteras. Bajo la definición de desastre como "un evento concentrado en tiempo y espacio, en el cual la población, o parte de ella, sufre un daño severo e incurre en pérdidas para sus miembros, de manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad afectando, el funcionamiento vital de la misma" (CENAPRED, 2009), estos eventos pueden clasificarse por su tipo y magnitud en desastre: 1) por actividad volcánica, 2) por actividad de un ciclón, 3) por sismo, 4) por incendio, 5) por helada, 6) por tsunami, 7) por lluvias e inundaciones, entre otros. Sin embargo, es de resaltar que el presente trabajo se concentra en el marco del análisis económico del tipo de desastre generado por una inundación.

Las inundaciones frecuentemente se producen en zonas llanas, donde suelen existir importantes asentamientos humanos en los cuales existe toda una actividad económica, ya sea de tipo industrial, agropecuaria o de servicios y, por lo tanto, cuando se produce un evento de esta naturaleza, las pérdidas humanas, socioeconómicas e incluso ambientales suelen ser muy elevadas.

En el análisis de daños producidos por inundación, un primer paso es clasificar los tipos de perjuicios ocasionados. Para ello existen varias clasificaciones, pero una de las más usuales es la presentada por Nascimento *et al* (2007) y Jonkman *et al* (2008). En dichos trabajos, se definen dos tipos de daños: los tangibles y los intangibles. Los primeros son los que se miden con base en un valor monetario, mientras que los segundos no pueden ser medidos en tales términos, al menos de manera sencilla.

Los daños tangibles se dividen en dos subtipos: los directos, producidos por contacto con el agua o por sumersión, y los indirectos, que son causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas. Éstos incluyen, por ejemplo, costos por el desalojo del agua, la interrupción del transporte carretero y de servicios públicos, pérdidas en salarios y en beneficios de los negocios, entre otros.

Los daños intangibles también han sido divididos en directos, representados fundamentalmente por las pérdidas de vidas humanas, así como por las ambientales, históricas y culturales; y los indirectos, donde se incluyen las afectaciones a la población que se reflejan en estados de ansiedad, estrés psicológico y problemas de salud.

Los análisis de evaluación directa son los más desarrollados y utilizados a nivel mundial. Uno de los métodos de evaluación directa más común es el basado en la integración de una función daño económico / profundidad de la inundación. En este método se utiliza una base de datos espacial que incluye información sobre usos del suelo, características hidráulicas y actividades humanas de la zona de estudio. Esta base de datos geoespacial es el soporte para determinar los tipos, severidad y localización de los daños ocasionados por una inundación (Boyle *et al.*, 1998; Dutta *et al.*, 2003, Baro *et al.*, 2007).

Baro *et al* (2011) han propuesto un conjunto de curvas que constituye un método de evaluación directa de daños ocasionados por inundación diseñados para la República Mexicana. Este procedimiento involucra bases de datos geoespaciales disponibles para todo el país a través de los productos generados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y otras fuentes de información nacional. Las bases de datos sobre los bienes contenidos en las viviendas facilita la cuantificación, para las diferentes clases de vivienda, considerando el tipo de bienes, su número y valor. Esta información resulta indispensable para posteriormente inferir el costo generado por una inundación.

Finalmente, evaluar los costos por inundación resulta una tarea importante, debido a que permite implementar una rápida y realista estimación de pérdidas económicas antes, durante y después de la inundación. En consecuencia, la implementación de un módulo geomático para evaluar el costo por inundación resultará ser una herramienta muy útil para la asignación de recursos orientados a la prevención, mitigación, recuperación y reconstrucción de las áreas afectadas.

3. Materiales, datos y métodos

La metodología para llevar a cabo el desarrollo del módulo geomático de costos por daños por inundaciones se basa en 4 pasos (Figura 5-1). El primer paso corresponde a la modelación conceptual, la cual consiste en plantear la problemática dando vital importancia a lo que se quiere resolver, e identificar el método para realizar la estimación de costos y la estructura fuente de los requerimientos (bases de datos geoespaciales de variables socioeconómicas, altura y duración de la inundación). El segundo paso corresponde a la modelación geomática en donde se define, a partir del modelo conceptual, cada uno de los procesos por efectuar a través de la formulación de algoritmos para implementarse en la plataforma más adecuada. El tercer paso corresponde a la implementación, donde se selecciona una plataforma SIG para codificar cada uno de los modelos geomáticos requeridos. Como cuarto, y último paso, el módulo construido se valida con base en la aplicación a uno o varios casos de estudio para diferentes zonas y niveles de información con la finalidad de evaluar el rendimiento y robustez espacial y temporal de la herramienta generada (Quentin, 2007).



Figura 5-1. Esquema de la metodología de desarrollo de un módulo geomático (Quentin, 2007)

3.1. El caso de estudio

Delimitación espacial

La aplicación de los procesos desarrollados en este trabajo se explicará a través de un estudio de caso, es decir, para las inundaciones en la Cuenca Lerma-Chapala (México). Esta cuenca (Figura 5-2) se localiza en la parte central de México (19°03´ a 21°34´ N y 99°16´ a 103°31´ W), donde se extiende desde su nacimiento del río Lerma hasta su desembocadura en el lago de Chapala, ocupando una superficie de 53 591.3 km2 (Cotler *et al.*, 2006).

Las mayores inundaciones que ha sufrido esta cuenca están ligadas a la llegada de huracanes originados tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico. Algunas de las más importantes inundaciones ocurrieron entre 1926 y 1958, pero éstas han seguido ocurriendo (Aparicio, 2001). Así, por ejemplo, en septiembre de 2003 se produjeron inundaciones en los estados de Guanajuato y Michoacán. En el estado de Guanajuato, se generaron inundaciones severas en 17 municipios y ocurrieron 9 decesos, siendo las pérdidas económicas cuantificadas en 996 millones de pesos (Matías-Ramírez *et al.*, 2007). En el Estado de Michoacán, sufrieron inundaciones 20 municipios, estimándose los daños económicos en 227 millones de pesos y las personas afectadas en cien mil (García *et al.*, 2004, CENAPRED, 2004). Se destaca que en las estimaciones históricas de daños no se describen las metodologías correspondientes.

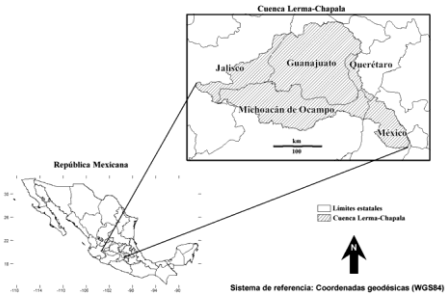


Figura 5-2. Zona de estudio, cuenca Lerma-Chapala

Delimitación temporal

La información presentada cartográficamente en la Figura 5-3, muestra espacialmente las zonas de afectación por eventos de inundación para diferentes años, todos ellos acaecidos previos al año 2009. Dichos eventos históricos corresponden a fechas no identificadas en las fuentes consultadas, sin embargo, si corresponden a los eventos más significativos ocurridos en la zona de la Cuenca Lerma-Chapala.

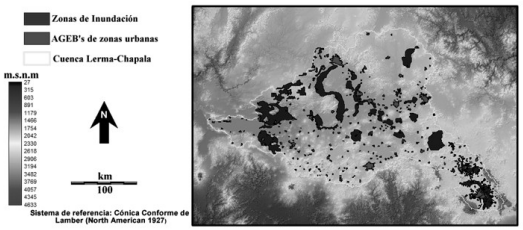


Figura 5-3. Zonas de inundación y urbanas

Fuente: Atlas del Agua del Estado de Guanajuato (GEG, 2009); Atlas de Inundaciones del Estado de México (GEM, 2009); Atlas Estatal de Riesgo del Estado de Michoacán (GE Michoacán, 2008) y Sistema de Información Territorial Estatal de Jalisco (GEJ, 2008).

Información utilizada

La información requerida para la realización del presente trabajo proviene de fuentes nacionales y estatales tales como: Atlas del Agua del Estado de Guanajuato (GEG, 2009), Atlas de Inundaciones del Estado de México (GEM, 2009), Atlas Estatal de Riesgo del Estado de Michoacán (GE Michoacán, 2008), Sistema de Información Territorial Estatal de Jalisco (GEJ, 2008), Instituto Nacional de Estadística Geografía

e Informática (INEGI, 2002), Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2002), Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CNSM, 2009), IRIS-SCINCE II, el cual está generado a partir del Marco Geoestadístico Nacional 2005 y los resultados del II Conteo de Población y Vivienda 2005 (INEGI, 2007) y Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2009). Lo anterior, ha sido parte de la estrategia de diseño en la metodología, con objeto de hacer de ésta un conjunto de procesos robustos e factibles de implementar para cualquier zona del país. La calidad de la información de la base de datos geoespacial utilizada cuenta con los estrictos procesos de control exigidos por las Instituciones de Gobiernos Federal y Estatal.

3.3. Técnicas de análisis

De acuerdo con el desarrollo de la metodología, el primer paso corresponde al desarrollo del modelo conceptual (Figura 5-4), en el que se definen los conceptos, métodos y procesos generales del sistema, así como el formato de entrado más adecuado para llevar a cabo el análisis.

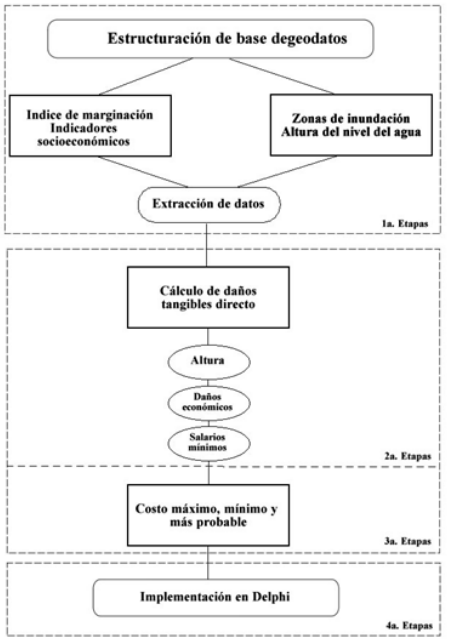


Figura 5-4. Modelo conceptual. Elaboración propia.

El modelo conceptual para la determinación de costos de daños por inundación, define primeramente las variables de entrada como son, la altura de la inundación y los bienes materiales que se encuentran en cada una de las unidades espaciales de análisis para posteriormente, obtener los costos de los daños tangibles considerando como base el salario mínimo al momento de la inundación de acuerdo con la siguientes etapas:

Etapa 1. Construcción de la base de datos geoespacial: La construcción y desarrollo de una base de datos es necesaria para soportar el análisis de determinación de los tipos, severidad y localización de daños causados por una inundación. Esta base de datos incluye información sobre los siguientes aspectos: a) *Delimitación de zonas inundadas*: Las características hidráulicas de la inundación en una cuenca se pueden obtener con el empleo de algún modelo de simulación hidrológico-hidráulico. Estas características incluyen la magnitud de los caudales del río para diferentes períodos de retorno y las alturas de lámina de agua alcanzadas. Con base en el tirante de agua, de un modelo de elevación digital del terreno y del software Idrisi es posible delimitar las zonas afectadas. b) *Caracterización de zonas habitacionales inundadas*: Se definen las características socioeconómicas de la población. Dichas características se centran en los indicadores socioeconómicos y en el índice de marginación urbana (IM), cuyos valores han sido publicados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2002) con base en el XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000 y en el II Conteo de Población y Vivienda del año 2005. Adicionalmente, en la caracterización de las zonas habitacionales, se considera el porcentaje de población que percibe hasta dos salarios mínimos, datos publicados por CONAPO. Para la zona de estudio, se ha considerado el valor medio a nivel nacional del salario mínimo diario, el cual fue de $53.19 (CNSM, 2009). Con base en el número de salarios mínimos que ingresan por familia y la información contenida en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2009), se extrae el rubro de gastos en bienes para especificar la inversión correspondiente y c) *Definición de la relación espacio-bienes:* Con información sobre los bienes existentes en las viviendas obtenida del Sistema para la Consulta de Información Censal SCINCE 2000 (INEGI, 2002), se relaciona con el espacio geográfico al que pertenecen y la ubicación más probable al interior del inmueble.

Etapa 2. Altura de lámina de agua: Para el cálculo de los daños tangibles directos (pérdidas producidas por el contacto físico con el agua) se utilizaron las curvas de daños potenciales máximos, mínimos y más probables (ver Baró *et al.*, 2011), las cuales describen la relación de la altura de lámina de agua (o profundidad de la inundación) con los daños económicos que puede provocar una inundación.

Etapa 3. Costo de inundación máximo, mínimo y más probable: La metodología en evaluación estableció, para cada tipo de Área Geoestadística Básica (AGEB) urbana, una familia de curvas de daños por inundación, es decir, las curvas de costo máximo, mínimo y más probable. El AGEB constituye la unidad básica del marco geoestadístico empleado por el INEGI, cuyo perímetro está representado generalmente por calles, avenidas, y, en ocasiones, por rasgos físicos naturales y/o culturales, normalmente reconocibles en el terreno.

Etapa 4. Estructuración de la base de geodatos e implementación: La estructura más apropiada (Figura 5-5) es considerar una base de datos con los campos siendo los bienes materiales (j=1, j=2,……J), y los renglones (i=1, i=2,……I) vinculados a las unidades geográficas estudiadas (AGEB, localidades, municipios, etc.), y tablas (z=1, i=2,……Z) siendo las variables socio-económicas. Para este proceso de estructuración de bases de datos se han automatizado los procedimientos requeridos.

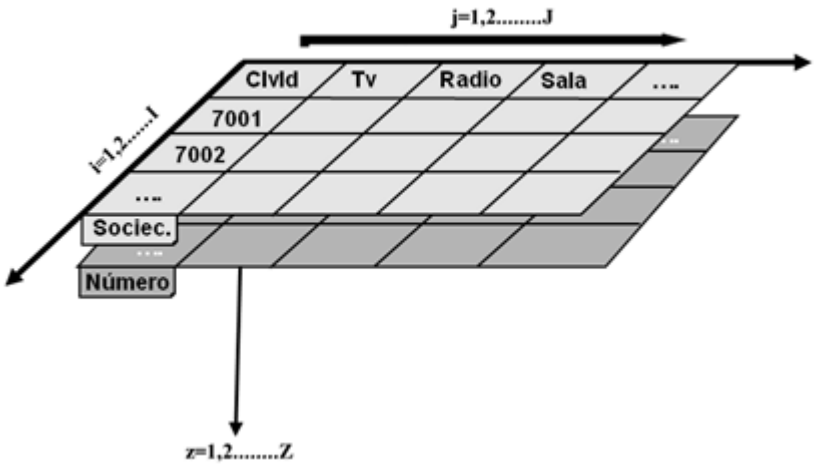


Figura 5-5. Dimensiones permisibles en bases de datos.

Posteriormente se definen los métodos que llevarán a la estimación de los costos máximos, mínimos y más probables. Primeramente se realiza la obtención del costo de los bienes por cada unidad espacial, aplicando la siguiente ecuación.

$$C_i = \sum_{i=1}^{I} (\mathrm{b}_i * n_i)$$

Siendo C= el costo total de cada bien material, b_i= el costo unitario de cada bien material, n_i= el número de unidades por cada entidad espacial, e i=el bien material, ej. La televisión, radio, etc.

Se determina, de acuerdo con la altura alcanzada en la inundación, el porcentaje del costo perdido para cada bien material y unidad espacial.

$$P_{ij} = C_i * h_i$$

Siendo P= El costo de acuerdo con el porcentaje de pérdida de cada bien en relación con la altura, C= costo total, h= la altura de la lámina de agua alcanza en la inundación, i= la entidad espacial, j= el porcentaje de pérdida de acuerdo con la altitud.

El siguiente paso es obtener los valores, máximo, mínimo y probable, para cada nivel de agua alcanzado. Los valores obtenidos se dividen por el salario mínimo para obtener el costo máximo y mínimo.

$$C_{max} = MaxP_{ij}/SM$$

$$C_{min} = MinP_{ij}/SM$$

Para el caso del costo más probable se calcula el coeficiente de asimetría de la información de daños en la AGEB bajo tres casos: 1) caso donde el Cs<0; 2) caso donde Cs=0 e 3) caso donde Cs>0. El modelo propuesto sólo será válido para cuando Cs≠0.

$$Cs < 0 = \frac{\left(2 * \left(CmaxP_{ij} + CminP_{ij}\right) + \left(2^{1/2} * \left(CmaxP_{ij} + CminP_{ij}\right)\right)\right)}{4}$$

$$Cs > 0 = \frac{\left(2 * \left(CmaxP_{ij} + CminP_{ij}\right) - \left(2^{1/2} * \left(CmaxP_{ij} + CminP_{ij}\right)\right)\right)}{4}$$

$$(Cs = 0) = \frac{\left(CmaxP_{ij} + CminP_{ij}\right)}{2}$$

Posteriormente se define el modelo geomático, el cual tiene como objetivo traducir los modelos conceptuales en modelos geomáticos que considerando las estructuras y tipos de operaciones disponibles en cualquier SIG. Esta fase requiere un esfuerzo científico igual que el paso de la realidad al modelo conceptual, y se asemeja a lo que en informática se conoce como algorítmica o ciencias de los algoritmos. Para la representación de los modelos geomáticos, se desarrolló una simbología específica (Tabla 5-1) basándose en el lenguaje UML (*Unified Modeling Language*) que sirve para bases de datos no espaciales, e inspirada por los macro-modelos de Idrisi (Eastman, 2009) en la inclusión de procesos.

Entidades espaciales, tabulares y elementos	Idrisi
Vectorial * / Vectorial puntual / Vectorial lineal / Vectorial poligonal *Entidad vectorial no especificada	*.vct /.vdc
Tabla (1) / Base de Datos (2)	(1) Tabla de *.mdb / *.adc (2) *.mdb
Grupo vector-atributos / Grupo vector-atributos / Grupo vector-atributos / Grupo vector-atributos	*.vlx

Tabla 5-1. Simbología para esquemas geomáticos (Franco-Plata, 2008)

El modelo geomático para la estimación de costos de daños por inundación se presenta en la Figura 5-6, mostrándose los procesos definidos anteriormente en lo conceptual y llevados a la parte del análisis espacial dentro de un SIG, partiendo de proceso tabulares y haciendo la liga con la imagen de zonas y altura de las inundaciones para finalmente obtener el resultado tanto en formato de colección vectorial (base de datos + entidad vectorial), como en imagen ráster.

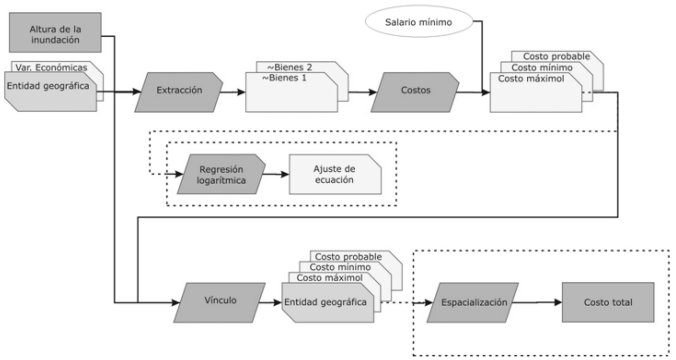


Figura 5-6. Modelo geomático para la estimación de costos de daños por inundación.

Implementar modelos geomáticos como módulos geomáticos en un SIG específico es equivalente a la traducción de un algoritmo en un lenguaje de programación en particular en donde el resultado de la implementación es dinámico. En general, entre más se conoce un SIG, más se pueden identificar formas eficientes de utilizar los formatos y operaciones disponibles (Quentin *et al.*, 2007).

Por ser un ambiente enfocado a docencia e investigación, se utiliza el paquete de análisis espacial y tratamiento de imágenes Idrisi, edición Taiga (Eastman, 2009).

El resultado de la implementación se presenta en la Figura 5-7, en la que muestran las variables de entrada, 1) archivo de liga vectorial con la base de datos socioeconómicos, 2) la imagen de zonas de inundación, y 3) el salario mínimo (variable de acuerdo a la zona y al momento de realizar el proceso.

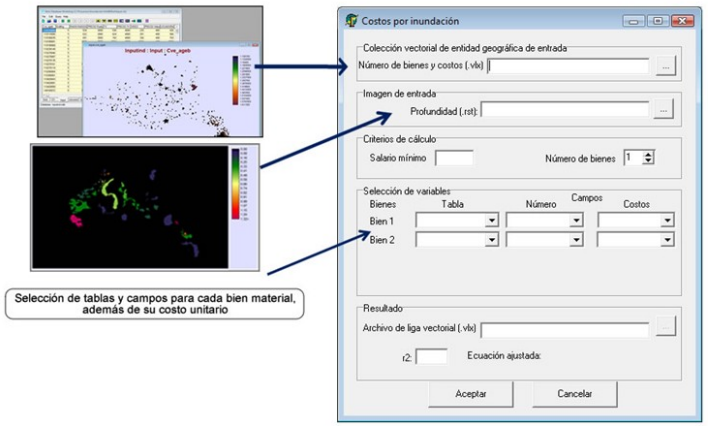


Figura 5-7. Módulo para la estimación de costos de daños por inundación.

Para efectos de aplicación y validación del módulo implementado, se utilizaron 183 unidades espaciales AGEB distribuidas en toda la cuenca Lerma-Chapala. Se seleccionaron 4 bienes materiales, televisión, radio, video y sala. Y con simulación de alturas de lámina alcanzada de 0.1, 0.2, 0.3, y 0.4 m, calculándose el valor del daño correspondiente con base en el costo de cada bien, de modo que se obtuvo el valor en pesos de los daños económicos para cada altura (Tabla 5-2).

Tabla 5-2. Costos a diferentes alturas de lámina de agua

Costos	0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.4 m
Costos máximos	$1 229630	$787 569	$4 477 329	$13 610 330
Costos promedios	$31 741	$25 784	$144 171	$433 647
Costos mínimos	$1 805	$1 557	$5 460	$10 599
Costo más probable C>0	$181 615	$116 665	$660 349	$2 002 233

Salario mínimo considerado: $53.19

Es así que, para una lámina de 40 cm, el valor de los daños considerando el costo máximo estaría estimado en $13 610 330; si se considera el costo mínimo, los daños se estimarían en $ 10 598 y si se estima el costo más probable, éste sería de $2 002 233. Como resultado el módulo genera un archivo de liga vectorial (Figura 8) con una base de datos con los costos máximos, mínimos y probables, por cada altura estimada para la zona de inundación.

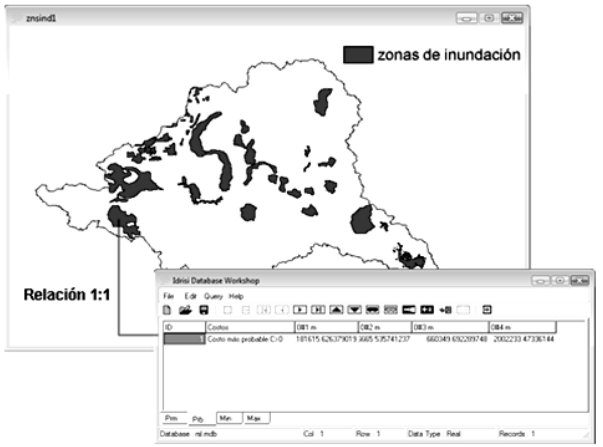


Figura 5-8. Resultado, archivo de liga vectorial con los costos de daños para la zona de inundación.

5. Discusión y valoración de hallazgos

La información de salida del módulo geomático desarrollado corresponde con los resultados obtenidos del proyecto "costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México" (Baro *et al.*, 2011), la cual sirvió como ejemplo de validación del módulo implementado. Una de las ventajas del módulo hidrogeomático, es la explotación de un SIG para la definición de zonas en riesgo de inundación utilizando modelos de terreno y modelación de caudales, o precisar las zonas inundadas a través de imágenes satelitales para dar una respuesta inmediata a la emergencia. Cabe mencionar que la aplicación de la metodología propuesta se ha centrado en la cuenca Lerma-Chapala. Este proceso se efectuó para fines de validación con resultados previamente obtenidos, en estudios específicos.

6. Conclusiones

El presente trabajo construye un puente entre una metodología probada para la estimación de costos por inundación en la República Mexicana, y su automatización dentro de un Sistema de Información Geográfica. Lo anterior se realiza a partir de datos disponibles a nivel nacional, a través de modelos matemáticos de tipo probabilístico y regresivo, los cuales pueden ser utilizados para efectos de análisis de prevención, mitigación o reconstrucción de daños ocasionados por inundación.

Cabe señalar que la estimación de los costos de daños son construidos en función del número de salarios mínimos con el objetivo de que pueda ser utilizado tanto para análisis futuros como pasados. Es recomendable aplicar la herramienta a otras zonas de estudio con datos de costos invertidos más precisos y recientes para mostrar su potencialidad. Finalmente se recomienda el empleo de modelos de elevación de terreno con mayor resolución de pixel con el objeto de llevar a cabo la sustracción matricial del nivel de agua máximo alcanzado y la del terreno para incrementar la precisión de las estimaciones.

Agradecimientos

Al apoyo brindado por SEMARNAT-CONACYT para la realización de esta investigación (Proyecto: La valoración económica de la vulnerabilidad socioeconómica y demográfica ante inundaciones en la República Mexicana, claves: CONACyT 23478; UAEMex 2753/2009C).

Referencias bibliográficas

Aparicio, J., (2001): "Hydrology of the Lerma Chapala watershed". En Hansen, A.M., Van Afferden, M. (editors) The Lerma Chapala watershed: Evaluation and management. New York: Kluwer Academic, pp. 3-30.

Baró, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V. y Calderon, G. (2007a): "Curvas de daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México, Parte I. Propuesta metodológica", Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXII, núm. 1, pp. 91-103.

Baró, J.E., Diaz-Delgado, C., Esteller, M.V., Calderon, G. y Cadena Vargas, E. (2011): "Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México". Revsita Tecnología y Ceincias del Agua antes Ingeniería Hidráulica en México. Vol. II, núm. 3, (en prensa).

Boyle, S.J., Tsanis, I.K. y Kanaroglou, P.S. (1998): "Developing Geographic Information Systems for land use impact assessment in flooding conditions". Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 124, pp. 89-98.

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2004): "Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2003". Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED, México, D.F., Editorial SEGOB-CENAPRED.

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2009a): "Características e impactos socioeconómicos de los principales desastres en la República Mexicana en el año 2007". Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México SEGOB-CENAPRED, México, D.F., Editorial SEGOB-CENAPRED.

CNSM Comisión Nacional de Salarios Mínimos, (2009): "Salarios mínimos y zonas geográficas. [en línea]", Comisión Nacional de Salarios Mínimos. México. [Citado el 12 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: http://www.csnm.org.mx

CONAPO, Consejo Nacional de Población. (2002): "Índice de marginación urbana 2000", Consejo Nacional de Población, México.

Cotler, H., Mazari, M. y De Anda, J. (2006): "Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta". México, SEMARNAT, INE, UNAM e Instituto de Ecología, 195 p.

Dutta, D., Herath, S. y Musiake, K. (2003): "A mathematical model for flood loss estimation". Journal of Hydrology Vol. 277, pp. 24-49.

EM-DAT Emergency Events Database. (2009): "The international disaster database. [En linea]" Université Catholique de Louvain, Brussels. Centre for research on the epidemiology of disaster (CRED) [citado el 18 de marzo de 2009]. Disponible para World Wide Web: www.emdat.be

ENIGH, (2009): "Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares. [En línea]", INEGI. Gobierno de México [citado el 14 de febrero de 2009]. Disponible para World Wide Web: www.inegi.gob.mx.

Franco-Plata, R. (2008) Concepción de un módulo hidrogeomático e implementación para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos Tesis de Doctorado en Ingeniería con énfasis en Ciencias del Agua (documento de avances), Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Dirección de tesis : Quentin, E. y Díaz-Delgado, C.

García, F., García, N. y Cambranis, R.M. (2004): "Análisis de las inundaciones en México: caso particular, la inundación del 2003 en el río Lerma en el Estado de Michoacán". Tlaloc-AMH, Vol. 30, 10-24 pp.

GE Michoacán, Gobierno del Estado de Michoacán. (2008): "Atlas Estatal de Riesgo del Estado de Michoacán, 2008". [en línea] Morelia, Michoacán, México [citado el 20 de diciembre de 2008]. Disponible para World Wide Web: http://pcivil.michoacan.gob.mx/index.php?menu=InfInst&opc=AtlasRiesgos.

GEG, Gobierno del Estado de Guanajuato. (2001): "Atlas del Agua del Estado de Guanajuato, Edición 2001". [en línea] Guanajuato, México [citado el 20 de mayo de 2009]. Disponible para World Wide Web: http://seia.guanajuato.gob.mx/atlas/index.htm.

GEJ, Gobierno del Estado de Jalisco. (2008): "Sistema de Información Territorial Estatal de Jalisco". [en línea] Zapopan, Jalisco, México [citado el 20 de diciembre de 2008]. Disponible para World Wide Web: http://iit.jalisco.gob.mx/.

GEM, Comision del Agua del Estado de México, Gobierno del Estado de México, (2009): " Atlas de Inundaciones XIV. Edición 2009". Toluca, México. Gobierno del Estado de México – Secretaria del Agua y Obra Pública – Comisión del Agua del Estado de México, Naucalpan, Estado de México. En C.D.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2002): "SCINCE Sistema para la consulta de Información Censal 2000", En CD. INEGI. México.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2007): "IRIS-SCINCE II Sistema para la consulta de Información Censal 2005", En CD. INEGI. México.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): "Climate change 2001: The scientific basis", Cambridge University Press, Ingeniería del Agua,7, pp.11-21.

Jonkman, S.N., Bockarjova, M., Kok, M. y Bernardini, P. (2008), "Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in The Netherlands". Ecological Economics Vol. 66, pp. 77-90.

Lopardo, R. y Seoane, R. (2000), "Algunas reflexiones sobre crecidas en inundaciones", Ingenieria del Agua, 7 (1), pp. 11-22.

Matías-Ramírez, L.G., Oropez-Orozco, O., Lugo, J. y Jáuregui, E. (2007): "Análisis de las precipitaciones causa de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México". Investigaciones Geográficas, núm. 64, 7-25 pp. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Nascimento, N., Machado, M.L., Baptista, M. y De Paula e Silva, A. (2007): "The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context". Urban Water Journal, Vol. 483, pp. 195-210.

Quentin, E., C. Díaz-Delgado, M.A. Gómez-Albores, L.R. Manzano-Solís, R. Franco-Plata (2007). Desarrollo Geomático para la Gestión Integrada del Agua. XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG), Universidad Nacional de Luján (UNLu) - Argentina, Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG). 29 al 31 de mayo de 2007, Buenos Aires, Argentina. 21p.

Rodriguez, J., Vos, F., Bellow, R. y Guha-Sapir, D. (2009): "Annual Disaster Statistical Review 2008", The numbers and trends. Melin. Belgium. CRED (Centre for Research of the Epidemiology of Disasters). Université Catholique de Lovaine. Lovaine, Belgium. 33 pp.

SEDENA, Secretaría de la Defensa Nacional (2010): Plan DN-III-E, http://www.sedena.gob.mx/index.php/actividades/plan-dn-iii-e, (29 de noviembre de 2010).

A UTILIZAÇÃO DO SIG NA CARACTERIZAÇÃO FÍSIOGRÁFICA DE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE FLORESTA URBANA, CAMPINAS-SP/BRASIL

Ângela Cruz Guirao[1] José Teixeira Filho[2]

RESUMO

O objetivo deste estudo é mostrar como ferramentas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem auxiliar na caracterização física de bacias hidrográficas, por meio do estudo de caso de duas bacias de floresta urbana em Campinas (SP- Brasil). O estudo baseou-se em três etapas principais: (1) Levantamento e organização dos dados em fluxograma; (2) Elaboração dos Planos de Informação (PI), utilizando de SIG para o georrefereciamento dos mapas pedológico, geológico e topográfico de Campinas, e operações de álgebra de modelagem cartográfica e produção dos PIs do limite topográfico, classes de solo, relevo, geomorfologia, uso e ocupação das terras; (3) Cruzamento dos PIs obtidos, produzindo uma carta com as áreas de maior fragilidade para manutenção da qualidade de água nas bacias. Os resultados indicaram a necessidade de monitoramento dos usos e ocupação nas bacias.

Palavras chave: qualidade de água, análise integrada, gestão de recursos hídricos

THE USE OF GIS IN THE PHYSIOGRAPHICAL CHARACTERIZATIONOF TWO WATERSHEDS AT URBAN FOREST, CAMPINAS-SP/BRAZIL

ABSTRACT

The present work aims to relate how GIS tools, in an environment of Geographic Information System (GIS), can assist the physical characterization in watershed. The diagnosis is based on a case study research carried out in two watersheds of urban forest, located in Campinas (SP-Brazil). The methodology consisted in three main steps: (1) Data Collection and respective organization diagram; (2) Plans for Information (PI), using GIS to result in pedagogical, geological and topographical maps and applying algebra operations, besides cartographic modelling, in order to obtain the production of PIs limit in terms of topography, soil, geomorphology, land use and occupation; (3) PIs obtained to generate a sheet mentioning the areas of greatest weakness, to insure better quality maintenance for critical watersheds. The results provide an urgent necessity for monitoring the use and occupancy in the related watersheds.

Keywords: *water quality, analysis integrated, water resources management.*

Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. R. João Pandiá Calógeras, 51 – Cx Postal 6152 – CEP 13083-970 – Campinas – São Paulo – Brasil. [1]angela.guirao@ige.unicamp.br; [2] jose@agr.unicamp.br

1. Introdução

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre e pode ser entendida como uma área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no ambiente (Tucci, 2001). O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo de cobertura vegetal existente (Lima, 1976). Estas características influenciam nos processos hidrológicos, como por exemplo, na infiltração, quantidade de água de deflúvio, evapotranspiração e nos escoamentos superficial e subsuperficial (Tonello, 2005). As características morfométricas de uma bacia hidrográfica, segundo Tonello (2005), podem ser divididas em: características geométricas (área total, perímetro total, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, padrão de drenagem), características do relevo (orientação, declividade e altitude mínima, média e máxima e declividade média do curso d'água principal) e características da rede de drenagem (comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos d'água, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água).

Muitas dessas informações, que podem ser extraídas de mapas, imagens de satélites e fotografias aéreas, consideradas como dados fisiográficos, são primordiais para estudos em análises hidrológicas e ambientais, pois ilustram o entendimento da dinâmica ambiental local, permitindo, por exemplo, a identificação das fragilidades em relação à qualidade da água (Tucci, 2001).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm se mostrado eficientes no armazenamento e manipulação dos dados sobre o meio físico de uma bacia hidrográfica, pois permite a integração de informações de dados cartográficos cadastrais e variáveis ambientais (geologia, geomorfologia, pedologia, demografia, movimentos sociais, urbanismo, saneamento, ecologia) em um único banco de dados (Pinheiro, *et al.*, 2009).

Dessa forma, os SIGs oferecem um conjunto de potencialidades no que se refere à cartografia ambiental, possibilitando a associação de cartas temáticas do meio físico com os elementos socio-econômicos da bacia, fornecendo subsídios para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas (Faria e Pedrosa, 2005).

O SIG aliado a análise multicritério soluciona problemas influenciados por diversos fatores, permitindo balancear os valores de cada critério da análise espacial, permitindo a geração de modelos capazes de demonstrar as áreas com diferentes graus de fragilidade ambiental (Portes, 2009).

Segundo Almeida e Costa (2003), a análise multicritério é definida por como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar a tomada de decisões, diante de uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas.

Portanto, este estudo tem como objetivo mostrar como ferramentas de geoprocessamento em ambiente de SIG podem auxiliar na caracterização física de bacias hidrográficas e na identificação das áreas de maior fragilidade para manutenção da qualidade de água, por meio do estudo de caso de duas bacias de floresta urbana, na Área de Relevante Interesse Ecológico Mata de Santa Genebra, Campinas (SP- Brasil).

Este estudo está estruturado de maneira a abordar a revisão da literatura pertinente ao tema e explorar as potencialidades da ferramenta SIG em sua aplicação na área de recursos hídricos.

2. Revisão bibliográfica

As características físicas de uma bacia hidrográfica possuem estreita relação com o regime hidrológico e a qualidade da água nas bacias. A área da bacia é fundamental na definição da potencialidade hídrica, e na quantidade de água produzida como deflúvio (Tucci, 2001).

O relevo atua sobre o regime da produção de água, sobre a infiltração, sobre os processos erosivos, os picos e magnitudes das cheias (Feltran Filho e Lima, 2007; Galvíncio e Sousa, 2004). O relevo também tem influência sobre os fatores meteorológicos, como a temperatura, precipitação, evaporação, entre outros, que variam em função da altitude da bacia (Vilela e Mattos, 1975).

Estes dados fisiográficos são fundamentais para estudos em análises hidrológicas e ambientais, pois elucidam o entendimento da dinâmica ambiental local e regional, permitindo a identificação das potencialidades e fragilidades no meio físico, como em relação à fragilidade para manutenção da qualidade de água nas bacias (Alberti, 2008; Teodoro, *et al.*, 2007; Tucci, 2001).

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica pode ser influenciada por diversos atores, dentre eles, estão o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo, uso e o manejo da terra na bacia (Pereira, 1997). Qualquer alteração de ordem física, química ou climática na bacia hidrográfica, pode modificar a sua qualidade (Arcova, *et al.*, 1998).

O uso intensivo da terra, o manejo inadequado e a crescente necessidade de aquisição e ocupação de novas áreas, associado ao consumo de água em quantidades cada vez maiores são os principais fatores de depreciação da qualidade dos recursos hídricos (Castro e Mendonça, 2002).

A origem das substâncias que ameaçam a qualidade da água pode ser classificada como cargas difusas ou pontuais. As cargas difusas de nutrientes podem ter natureza urbana, rural ou atmosférica. Em áreas urbanas, a poluição difusa tem composição complexa, constituindo-se numa fonte de poluição diretamente ligada aos sistemas de coleta de esgoto e de limpeza pública. Na área rural é devida, em grande parte, à drenagem pluviométrica de solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, associado aos sedimentos (carreados quando há erosão do solo), aos nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos defensivos agrícolas (Mansor, 2000).

Os processos de erosão causados pela água do escoamento superficial iniciam-se com a saturação dos solos, que associados às características das encostas, do regime de chuvas, do uso da terra e práticas de manejo, podem evoluir para erosão em lençol, ravinas e voçorocas, causando diversos impactos ambientais (Guerra e Botelho, 1996).

No entanto, a aceleração dos processos erosivos geralmente é causada pela intervenção antrópica. Em áreas rurais, o desmatamento para o uso agrícola da terra e monoculturas comerciais dificulta a infiltração das águas e proporcionam o aumento nas taxas de escoamento superficial, que são, em grande parte, responsáveis pela perda do solo na área (Marçal, 2000; Guerra e Botelho, 1996).

Já a presença da vegetação de grande e médio porte torna-se relevante na minimização e combate aos processos erosivos, uma vez que a floresta proporciona a estabilidade dos agregados, protegendo o solo da ação do escoamento superficial, e aumentando as condições de infiltração (Marçal, 2000).

A declividade, responsável pela velocidade do escoamento superficial, também é um fator importante que pode acelerar ou retardar os processos erosivos (Guerra e Botelho, 1996).

As propriedades químicas e físicas do solo também possuem um papel importante para compreender a maior ou menor erodibilidade dos solos. Dentre as propriedades químicas que mais afetam a erodibilidade dos solos, destaca-se o teor de carbono orgânico. Entre as propriedades físicas, destacam-se: teor de areia, silte e argila, densidade real e aparente, porosidade, teor e estabilidade dos agregados (Guerra e Botelho, 1996).

Os teores de areia, silte e argila, atuam sobre a erosão, à medida que podem oferecer maior ou menor resistência ao destacamento e ao próprio transporte pela água resultante do escoamento superficial, difuso ou concentrado. A areia fina e o silte são as frações que mais apresentam facilidade de serem erodidas e a areia grossas e a argila são as frações granulométricas que oferecem maior resistência à erosão (Guerra e Botelho, 1996).

A densidade real oferece maior resistência aos agentes erosivos, pois apresentam maior peso, dificultando a ação da água e do vento. A densidade aparente, por estar relacionada à maior ou menor compactação dos solos, possibilita o aumento do escoamento superficial (Guerra e Botelho, 1996). À medida que aumenta a densidade aparente, diminui a porosidade, dificultando a infiltração das águas nos solos e aumentando o escoamento superficial.

O teor dos agregados refere-se à quantidade de agregados em relação aos outros constituintes dos solos e a estabilidade é influenciada pelas argilas e pelo teor de matéria orgânica dos solos, que age diretamente sobre a erodibilidade dos solos, ou seja, quanto maior a estabilidade à ação da água, menor as taxas de erodibilidade (Guerra e Botelho, 1996).

Dessa forma, os Latossolos apresentam boa tolerância à perda por erosão, principalmente quando de textura argilosa. Os Latossolos de textura franco-arenosa, devido às baixas coesão e adesão são mais suscetíveis à erosão, fato amenizado pelo relevo plano ou suave ondulado (Oliveira e Berg, 1985).

Já os Argissolos Vermelho-Amarelos, por apresentarem maior relação entre os horizonte A ou E e o horizonte B textural do que os Argissolos Vermelhos, em igualdade de condições de relevo, de cobertura vegetal e de manejo, são mais suscetíveis à erosão do que estes (Torezan, 2005).

Pode-se considerar, então, que os Latossolos, possuem baixa erodibilidade e os Argissolos são bastante suscetíveis à erosão, já que apresentam horizonte diagnóstico B textural (Bt) (Palmieri e Larach, 2003).

Por meio de ferramentas em SIG, é possível estimar o potencial de erosão em bacias hidrográficas, auxiliando na identificação de áreas com maior fragilidade à qualidade de água e na determinação de práticas adequadas de manejo do uso do solo.

Grilo e Enami (2008) desenvolveram uma pesquisa sobre as perdas de solo pela erosão, na microbacia hidrográfica do Rio da Cachoeira (SP-Brasil), com a utilização de um modelo preditivo de perdas de solo, a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), associado ao uso de um SIG. A EUPS, que traduz a ação conjunta de fatores naturais (erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, topografia, fatores antrópicos - manejo, uso e práticas conservacionistas) foi aplicada e criou-se, no software Spring 4.2, um banco de dados geográfico, que corresponde fisicamente a um diretório. Tal banco de dados permitiu a elaboração de mapas do Potencial Natural de Erosão do Solo e a Predisposição aos Riscos de Erosão do Solo (Grilo e Enami, 2008).

Amorim e Silva (2009) também aplicaram a equação do Potencial Natural de Erosão do Solo na microbacia do Riacho Passagem (RN-Brasil), utilizando-se de modelagem ambiental em geoprocessamento. A primeira etapa do estudo compreendeu levantamento bibliográfico sobre a área, em seguida trabalhos de campo, e modelagem dos dados em ambiente SIG. Esta modelagem partiu de um banco de dados com informações sobre solo, geomorfologia, geologia, topografia e hidrografia da microbacia, permitindo a análise da vulnerabilidade de erosão na área.

Foram elaboradas cartas clinográficas com intervalos de classes de declives, carta de comprimento de rampa, carta de fator topográfico, de solos, de erosividade e erodibilidade e então foi possível elaborar o mapa de Potencial Natural à Erosão, que mostrou uma alta suscetibilidade à perda de solo na bacia (Amorim e Silva, 2009).

Portanto, pretende-se com este estudo mostrar que ferramentas em ambiente SIG, são eficientes na elaboração de cartas temáticas sobre as características físicas de bacias hidrográficas, e que também possibilitam a manipulação e o cruzamento dessa cartografia, de modo a criar uma carta síntese com as áreas de maior fragilidade em relação à manutenção da qualidade da água, uma vez que a erosão do solo resulta no carreamento de carga difusa para os corpos d´água, alterando a sua qualidade.

3. Materiais e métodos

3.1. Área de estudo

Delimitação espacial

A Mata de Santa Genebra (MSG) está localizada no Distrito de Barão Geraldo, ao norte do município de Campinas-SP (Brasil), entre as coordenadas geográficas 22°44'45"S e 47°06'33"W (Figura 5-9). Está protegida pelo Sistema Nacional Brasileiro de Unidades de Conservação, na categoria Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), além de ser um bem tombado pela municipalidade e pelo Estado.

A MSG é considerada uma Floresta Estacional Semidecidual (cerca de 85% de sua área), com alguns trechos ocupados por Floresta Higrófila (aproximadamente 10ha), que ocorre nas áreas mais baixas e de solo permanentemente encharcado em função do nível freático, com vegetação predominantemente arbórea (Leitão-Filho e Morellato, 1995; FJPO, 2010).

As formas predominantes do relevo da MSG são convexas, porém muito suavizadas e com rampas extensas, com três regiões mais baixas e mais úmidas (decorrentes da incisão da rede de drenagem) e duas discretas elevações, apresentando altitudes entre 580 e 630m (Leitão-Filho e Morellato, 1995; FJPO, 2010).

O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo CWA, mesotérmico de inverno seco, com uma estação quente e chuvosa (entre os meses de outubro e março, cuja temperatura média varia entre 22 e 24°C) e inverno seco (entre os meses de abril e setembro, cuja temperatura média varia entre 18 e 22°C). A temperatura média anual é de 21,6°C e a precipitação média anual é de 1381,2mm (FJPO, 2010).

Foram identificados cinco tipos de solos na floresta: (1) Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa; (2) Latossolo Vermelho distroférrico típico, A moderado e proeminente, textura argilosa e muito argilosa; (3) Latossolo Vermelho, eutroférrico e distroférrico típico, A moderado, textura muito argilosa e argilosa; (4) Latossolo Vermelho distroférrico e distrófico típico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa; (5) Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, A moderado, textura argilosa (Coelho, *et al.*, 2008).

A geologia está representada através da presença de rochas do Pré-Cambriano (embasamento cristalino), do Carbonífero-Permiano (Grupo Tubarão), do Permiano (Formação Irati), das intrusões diabásicas do Mesozóico e ainda de materiais do Cenozóico. O nível altimétrico de 600 - 620m assinala o limite entre os sedimentos da Formação Itararé, situados abaixo (sedimentos clásticos grosseiros, arenitos, aglomerados e siltitos) e os depósitos argilosos "modernos", situados acima, que são os referidos materiais do Cenozóico (FJPO, 2010).

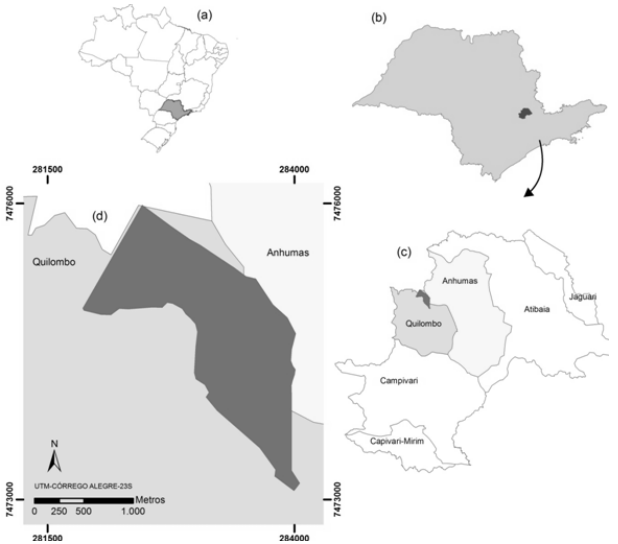


Figura 5-9. Localização da área de estudo: (a) Brasil; (b) Estado de São Paulo; (c) Campinas e divisão por bacias e (d) Área de relevante interesse ecológico Mata de Santa Genebra

Dentro da MSG são conhecidas três nascentes. Uma delas deságua no Rio das Pedras, que contribui para o Ribeirão Anhumas, afluente do Rio Atibaia. Segundo Pires Neto (1995), a bacia do Ribeirão das Pedras encontra-se sobre terrenos Colinosos Suavemente Ondulados e Planícies Fluviais amplas e contínuas. As condições das águas e das planícies fluviais apresentam pouca interferência em algumas cabeceiras, predominando canais comprometidos pela urbanização.

A água das outras nascentes da MSG dirige-se para um único curso d'água que deságua no Ribeirão Quilombo. Segundo Pires Neto (1995), a bacia do Ribeirão Quilombo, encontra-se sobre terrenos Colinosos Suavemente Ondulados e Planície Fluvial larga e contínua. As condições das águas e da planície fluvial estão comprometidas com a presença de favelas no baixo curso e por urbanização em pequena área da cabeceira.

As bacias hidrográficas, cujas nascentes destes cursos d'água localizam-se no interior da MSG, serão objeto deste estudo, denominadas de B1 e B2, conforme Figura 5-10.

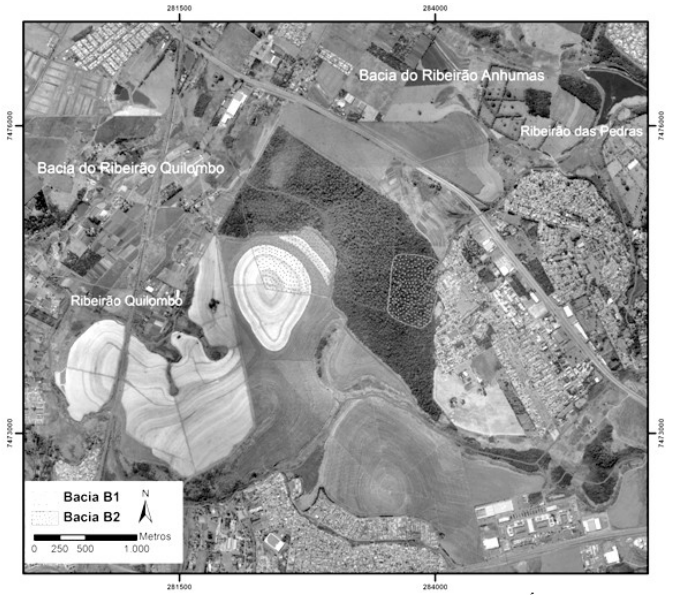


Figura 5-10. Bacias hidrográficas B1 e B2, no área de relevante interesse ecológico Mata de Santa Genebra, Campinas

Delimitação temporal

A escala temporal deste trabalho compreende um período de 29 anos, pois foram utilizados dados de diferentes datas (Tabela 5-3). Por apresentarem maior instabilidade e possibilidade de mudanças referentes ao uso do solo, adotou-se o ano dos dados iconográficos como o deste estudo.

Tabela 5-3. Escala temporal dos dados utilizados para elaboração da cartografia temática

Dado	Data
Cartas topográficas do Levantamento Aerofotogramétrico da Terrafoto	1979
Mapa pedológico Semidetalhado do Município de Campinas, SP	2008
Iconografia atual	2008

3.2. Dados

Na Tabela 5-4 são apresentadas a estrutura de dados e a associação entre os elementos caracterizados e as classes de representação espacial dos materiais utilizados para elaboração da cartografia temática das bacias hidrográficas B1 e B2 na ARIE MSG.

Tabela 5-4. Metadados do material utilizado para elaboração da cartografia temática das bacias hidrográficas B1 e B2

Dado	Fonte	Formato	Escala	Extensão
Carta topográficas do Levantamento Aerofotogramétrico da Terra Foto Folhas de Campinas I (SF-23-Y-A-V-4-NE-E), Barão Geraldo (SF-23-Y-A-V-4-NE-C) e Jardim Maracanã (SF-23-Y-A-V-4-NO-D)	Prefeitura Municipal de Campinas	Matricial	1: 10, 000	Jpeg
Mapa pedológico Semidetalhado do Município de Campinas, SP	Coelho, R.M.; Valladares, G.S.; Chiba, M.K.	Vetorial	1: 50, 000	Shp
Iconografia atual	Multiespectral – PMC	Matricial	1: 5, 000	Ecw

A Tabela 5-5 apresenta a análise das características e recursos técnicos para manipulação da estrutura de dados.

Tabela 5-5. Parâmetros de obtenção, tratamento e avaliação dos dados

Dado	Objetivo	Critério	Técnica
Iconografia atual	Conhecer a situação atual do uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas B1 e B2	Elementos de reconhecimento (cor, textura, padrão, forma, tamanho, aspectos associados, limites)	Fotointerpretação em tela de computador; Produção de cartografia temática
Mapa pedológico	Conhecer a distribuição espacial das classes de solos nas bacias hidrográficas B1 e B2	Erodibilidade e vulnerabilidade.	Produção de cartografia temática
Carta topográficas	Identificar o limite topográfico das bacias hidrográficas B1 e B2; Elaboração dos mapas hipsométrico e clinográfico das bacias hidrográficas B1 e B2	Elementos da topografia: pontos cotados e curvas de nível	Produção de cartografia temática

Todos os procedimentos metodológicos aconteceram em ambiente SIG, no software ArcGis 9.2. Para digitalização do limite topográfico das bacias hidrográficas foi elaborado um mosaico georreferenciado das cartas topográficas, que foram vetorizadas em tela de computador.

O mapa pedológico semidetalhado do município de Campinas (Coelho*, et al.,* 2008) em formato digital foi exportado para o formato shapefile, georreferenciado e recortado no formato das bacias de estudos, por meio da ferramenta de recorte de vetores *clip* e armazenadas no banco de dados em forma de tabela para identificação das classes de solos.

Para os trechos das áreas de estudo que se encontram no município de Paulínia, foi utilizado o mapa pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira, *et al.,* 1977), em formato digital. A imagem foi georreferenciada e vetorizada na tela do computador.

O Modelo Digital de Elevação (MDE), do qual é derivado o mapa de declividade, foi obtido através da extensão *spatial analyst* com a ferramenta *Top to raster*, a partir dos arquivos em formato vetorial das curvas de nível e pelos pontos cotados presentes nas cartas topográficas.

O Plano de Informação Clinográfico, foi derivado do MDE pela extensão *spatial analyst* com a ferramenta *Slope*, selecionando a opção para os dados serem apresentados em forma de porcentagem. Para o estabelecimento das classes de declividade foram utilizados intervalos de porcentagem de inclinação de acordo com a legenda de mapa de solos do Estado de São Paulo da Embrapa/IAC, apresentadas na Tabela 5-6 (Oliveira, *et al.*, 1999).

Em seguida, foi realizada a conversão da extensão img do mapa clinográfico para geotiff, e depois em shapefile, por meio do processo *Arctoolbox-Conversion Tools- From raster - raster to polygon.*

O plano de informação do uso e ocupação das terras nas bacias hidrográficas B1 e B2 foi desenvolvido a partir de fotointerpretação em tela de computador do material iconográfico de 2008 do município de Campinas.

Tabela 5-6. Classes de declividade

Classes com porcentagem de declividades	Tipos de relevo associados
0 a 3%	Plano
3 a 8%	Suave Ondulado
8 a 20%	Ondulado
20 a 45%	Forte Ondulado
45 a 75%	Montanhoso
> 75%	Escarpado

Fonte: Oliveira, *et al.* (1999).

Para avaliação das áreas de fragilidade potencial em relação à manutenção da qualidade de águas nas bacias hidrográficas B1 e B2, foram considerados os variáveis tipos de solos, classes de declividades e aos usos e tipo de ocupação do solo.

Às estas variáveis foram atribuídos valores numa escala que varia de 1 a 3, baseados na revisão bibliográfica anteriormente apresentada, em função do risco que estas variáveis possuem em relação ao potencial de erosão dos solos, conforme Tabela 5-7. O valor 1 representa menor potencial e o 3 maior potencial. Estes valores foram adicionados no banco de dados de cada layer.

A atribuição de pesos para cada classe de solos foi baseada nas características físicas intrínsecas de cada classe. Assim, a classe de Latossolos Vermelho e Latossolo Roxo, recebeu o menor valor, o Latossolo Vermelho-Amarelo, valor médio e o Argissolo maior valor (Tabela 5-7).

Considerou-se, na atribuição de pesos para o critério declividade, o fato que à medida que se aumenta a porcentagem de declividade, aumenta diretamente o grau de fragilidade devido a aumento do escoamento superficial e da velocidade da água, estabelecendo uma proporção direta entre a porcentagem do declive e o grau de potencial de erosão (Tabela 5-7). A determinação dos pesos para cada classe de uso e ocupação do solo ocorreu de acordo com o grau de influência que cada uso contribui para desencadeamento de processos erosivos e escoamento superficial, podendo influenciar na degradação da qualidade da água (Tabela 5-7). A confecção do Plano de Informação síntese, com a perspectiva de carga difusa nas bacias objeto do estudo, foi realizadas à partir do cruzamento dos mapas (com a atribuição dos valores) de declividade, pedologia e uso e ocupação dos solos. O cruzamento foi efetuado por meio da ferramenta de agrupamento *Union*, e por meio da do banco de dados, foi possível somar os valores atribuídos conforme Tabela 5-7. Adicionou-se uma nova coluna ao banco de dados, com o risco classificado de acordo com a Tabela 5-8. Por fim, o Plano de Informação foi editado, selecionando as informações referentes à manutenção da qualidade de águas nas bacias hidrográficas do estudo.

Tabela 5-7. Risco de erosão em cada variável analisada para identificação da perspectiva de carga difusa

VARIÁVEL	VALOR
Solo	
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa	3
Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico típico, A proeminente e moderado, textura argilosa e muito argilosa	1
Latossolo Vermelho Distroférrico típico, A moderado e proeminente, textura argilosa e muito argilosa	1
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa	2
Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distroférrico típico, A moderado, textura muito argilosa e argilosa	1
Latossolo Roxo Distrófico, A moderado, unidade Barão Geraldo e Latossolo Vermelho Escuro, álico A moderado, textura argilosa, unidade Limeira	1
Declividade	
0 a 3% (plano)	1
3 a 8% (suave ondulado)	2
8 a 18,53% (ondulado)	3
Uso e ocupação do solo	
Floresta	1
Urbano	3
Agrícola	3

Tabela 5-8. Classificação da fragilidade potencial das bacias em relação à manutenção da qualidade da água

Soma	Classe
3 - 4	Baixo
5 - 6 - 7	Médio
8 - 9	Alto

3.3. Técnicas de análise

A organização dos dados, materiais e procedimentos a serem utilizados, principalmente nos estudos baseados em SIG, é fundamental, pois auxiliam no planejamento detalhado de suas etapas. Portanto, neste estudo, foi elaborado fluxograma com as informações organizadas e utilizadas no processo de identificação das áreas de maior fragilidade para manutenção da qualidade de água nas bacias hidrográficas B1 e B2, conforme Figura 5-11.

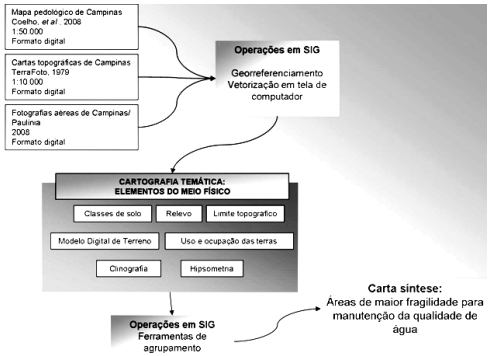


Figura 5-11. Fluxograma metodológico: organização dos materiais e procedimentos utilizados no estudo

Fonte: Elaboração própria.

4. Descrição e análise dos resultados

A delimitação topográfica das bacias hidrográficas B1 e B2 permitiu a identificação das áreas em hectare para cada bacia. A bacia B1 corresponde a uma área de 30,2 ha e B2 a uma área de 194 ha. Na bacia B1verifica-se uma variação nos níveis altimétricos de 25 metros, e na bacia B2, variação de 56 metros, conforme a Figura 5-12. As características do relevo nas bacias de estudos foram identificadas a partir do mapa com as classes de declividades (Figura 5-13). Nas duas bacias, observa-se predominância das classes de declividade de 0 a 3%, classificadas como plano e de 3 a 8%, classificadas como suave ondulado.

Os solos identificados na bacia hidrográfica B1 (Figura 5-14) consistem em: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa (1); Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico típico, A proeminente e moderado, textura argilosa e muito argilosa (2); Latossolo Vermelho Distroférrico típico, A moderado e proeminente, textura argilosa e muito argilosa (3); Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa (4).

Na bacia hidrográfica B2 (Figura 5-14), foram identificados: Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico típico, A proeminente e moderado, textura argilosa e muito argilosa (1); Latossolo Vermelho Distroférrico típico, A moderado e proeminente, textura argilosa e muito argilosa (2); Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distroférrico típico, A moderada, textura muito argilosa e argilosa (3).

Os Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média / argilosa são predominantes na bacia B1, conforme mapa com as classes de solo e quadro com as respectivas porcentagens (Tabela 5-9), correspondendo a 48,7% da área da bacia. Na bacia B2 há predominância de Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distroférrico típico, A moderado, textura muito argilosa e argilosa, correspondendo a 45,9% da área da bacia.

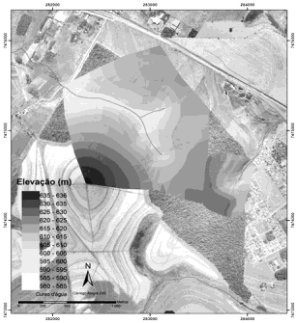


Figura 5-12 . Plano de informação Hipsometrico

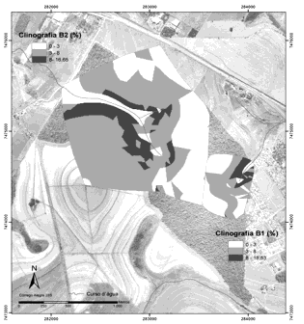


Figura 5-13 . Plano de informacao Climografico



Figura 5-14 . Plano de informacao da Pedologia

Tabela 5-9. Tipos de solos identificados nas bacias, áreas (ha) e porcentagem em relação a área total de cada bacia

Tipo de Solo	Area (ha)	
	Bacia B1	Bacia B2
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média / argilosa	14,7 (48,7%)	Zero
Latossolo Vermelho Distroférrico e Distrófico típico, A proeminente e moderado, textura argilosa e muito argilosa	0,70 (2,3%)	82,7 (42,6%)
Latossolo Vermelho Distroférrico típico, A moderado e proeminente, textura argilosa e muito argilosa	11,8 (39,1%)	1 (0,5%)
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa	3 (9,9%)	Zero
Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distroférrico típico, A moderado, textura muito argilosa e argilosa	Zero	89 (45,9%)
Latossolo Roxo Distrófico, A moderado, unidade Barão Geraldo e Latossolo Vermelho Escuro, álico A moderado, textura argilosa, unidade Limeira	Zero	21,3 (11%)

Foram identificados três principais usos e ocupações das terras nas bacias hidrográficas B1 e B2, classificados como floresta, rurais e urbanos, predominando a cobertura florestal nas áreas de estudo. A Figura 5-15 ilustra a espacialização e distribuição destes usos em cada bacia.

Na bacia B1, a área florestal ocupa uma área de 28,6ha, correspondendo a 94,7% da bacia e o uso urbano, representado por uma ocupação instalada há mais de trinta anos na região, corresponde a 5,3% da área da bacia. Na bacia B2, a cobertura predominante também é de floresta

(68%), porém não há uso urbano, mas cultivos de culturas agrícolas, como milho, feijão e banana, predominando o cultivo da monocultura cana-de-açúcar, que representam 32% da área da bacia (Figura 5-15).



Figura 5-15 . Plano de informacao do uso e ocupacao das terras

Após o cruzamento dos Pls clinográfico, pedológico e do uso e ocupação das terras, com os valores atribuídos a estas variáveis gerou-se o Pl Fragilidade potencial nas bacias hidrográficas B1 e B2, em relação à manutenção da qualidade da água.

Na bacia hidrográfica B1 a classe que apresentou maior frequência foi a média, correspondendo a 50% da área da bacia, porém a classe baixa apresentou 46,3 %. A bacia hidrográfica B2, apresentou áreas predominantemente com risco baixo, correspondendo a 54,6%.

Apenas na bacia B1, identificaram-se áreas que apresentam risco alto em relação à manutenção da qualidade da água, correspondendo a uma pequena porção de 3,7% da área da bacia, localizada na área com uso urbano.

Pode-se atribuir a predominância das classes média e baixa à presença de floresta, um tipo de cobertura que colabora na minimização e prevenção dos processos erosivos, diminuindo a intensidade da precipitação no solo e aumentando as condições de infiltração da água da chuva. Nas áreas com cobertura florestal que apresentaram risco médio, podem-se relacionar as maiores declividades ou então ao tipo de solo (Figura 5-16).

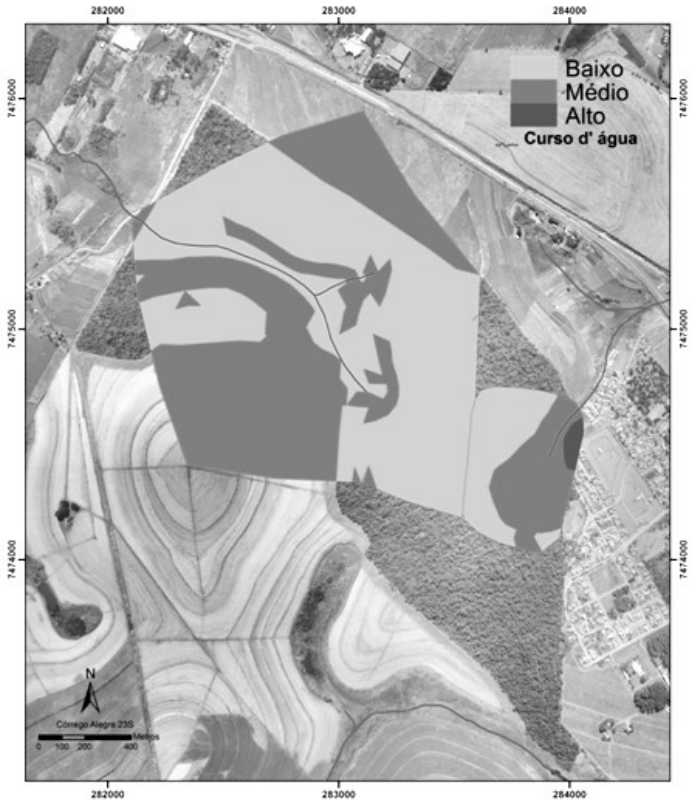


Figura 5-16. Fragilidade potencial nas bacias hidrográficas B1 e B2, em relação à manutenção da qualidade da água

5. Discussão e avaliação dos resultados

A maioria dos trabalhos aborda a elaboração de cartografia temática com o uso de ferramentas de SIG, resultando geralmente em um mapa síntese que servirá de subsídios ao planejamento ambiental da área de estudo.

Nesta discussão buscou-se comparar este estudo com outros que utilizaram metodologias semelhantes em relação aos materiais e procedimentos, como os de Portes, *et al.* (2009), Lopes e Pejon (2001), Magalhães, *et al.* (2010) e Farias, *et al.* (2010).

Portes, *et al.*(2009), determinaram a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa na Zona da Mata Mineira (MG-Brasil), buscando compreender a realidade dinâmica da relação homem e natureza e obter informações relevantes de problemas para subsidiar ações futuras.

Os autores utilizaram metodologia semelhante a este estudo, com técnicas de geoprocessamento e análise multicritério. Os critérios estudados foram solo, declividade, fluxo acumulado, uso do solo, aos quais foram atribuídos pesos para as classes de cada critério em relação ao grau de fragilidade. Em seguida, os mapas de fragilidade potencial e ambiental foram gerados a partir das informações obtidas do cruzamento dos mapas dos critérios determinados.

Lopes e Pejon (2001) realizaram estudo semelhante na bacia hidrográfica do rio Passa Cinco e do rio da Cabeça (SP-Brasil). O trabalho consistiu no estudo de uma série de atributos do meio físico, como geologia, pedologia, materiais inconsolidados, declividade e a Carta de Extensão do Menor Percurso da Água Superficial. Tais atributos foram avaliados, considerando as restrições e potencialidades do meio, buscando uma melhor elaboração das propostas e procedimentos adotados na manutenção da qualidade do meio físico. Foi utilizado um SIG,visando a otimização dos trabalhos de manipulação (armazenamento, recuperação, tratamento, cruzamento e apresentação), principalmente para obtenção das cartas de Susceptibilidade à Erosão.

Magalhães, *et al.* (2010), objetivaram verificar a evolução da paisagem em Santana do Riacho (MG-Brasil) e avaliar se as transformações, promovidas pela ação antrópica, são incongruentes à legislação ambiental vigente, assim como identificar as áreas mais propícias à expansão urbana e aquelas de maior fragilidade ambiental. Os autores utilizaram imagens de satélite com variação temporal de duas décadas, e material referente à geologia da área, com vista a identificar fragilidades à ocupação e áreas de maior interesse de preservação.

Os autores aplicaram notas às variáveis geológicas e geotécnicas, de uso e ocupação do solo, e das áreas de preservação permanente por meio da análise de multicritérios, e realizaram o cruzamento destas informações, com ferramenta SIG.

Farias, *et al.* (2010), objetivaram mapear as áreas vulneráveis à erosão em duas sub-bacias da bacia de Capibaribe (PE-Brasil). Os autores também utilizaram como metodologia a análise multicritério, e as variáveis foram as classes de declividade, a intensidade pluviométrica, os tipos de solo e a cobertura vegetal. A estas variáveis foram atribuídos valores, associados a maior ou menor vulnerabilidade à erosão e em ambiente SIG, estas variáveis foram cruzadas, gerando a carta síntese de vulnerabilidade ambiental.

Observa-se que os estudos citados acima utilizaram de análise multicritério para aplicação de valores às variáveis escolhidas, baseados em literatura pertinente. Além disto, as variáveis declividades, uso e ocupação do solo, pedologia se mostraram fundamentais em todos os estudos que buscam identificar áreas de fragilidade ambiental.

Um ponto de discrepância entre os estudos apresentados refere-se às áreas de abrangência. As bacias hidrográficas B1 e B2, são menores, porém não menos importante, uma vez que estas bacias situam-se em uma Unidade de Conservação urbana, e a manutenção da qualidade da água é fundamental para a preservação deste fragmento de vegetação nativa.

Em relação à veracidade dos resultados apresentados, pode-se comparar com os resultados da análise da concentração de fósforo total, nas duas bacias objeto deste estudo.

Guirao (2010) analisou a concentração de fósforo total como indicador da qualidade de água nas bacias hidrográficas B1 e B2 localizadas na mesma área de estudo. As amostras de água foram coletadas quase que diariamente, no exutório das bacias (nos cursos d'água C1 e C2), nos períodos matutinos e vespertinos.

As amostras foram analisadas no laboratório de Análises de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, pelo método AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water, que permite a identificação de todo fósforo presente independente da forma, medido por digestão de persulfato (Guirao, 2010).

Calcularam-se as médias mensais das concentrações de fósforo total para as amostras coletadas nos cursos d'água C1 e C2 e a média do ano para o ano de 2009 (Guirao, 2010).

Foram analisadas 244 amostras de água do curso d'água C1 e 120 amostras coletadas em C2. Para estas amostras, a média de fósforo total para a bacia hidrográfica B1 foi de 1,15 $mg.l^{-1}$ e na bacia B2, 1,60$mg.l^{-1}$ (Guirao, 2010).

Estes valores, quando comparados a outros estudos que analisaram a concentração de fósforo total em bacias hidrográficas com cobertura florestal e atividades agrícolas, observam se que as bacias B1 e B2 apresentaram valores significativamente superiores, indicando, portanto, qualidade inferior na água das bacias (Pissara *et al.*, 2008, Castro e Mendonça, 2002; Copetti, *et al.*, 2007; Haddad, 2007; Garcia, *et al.*, 2006; Gonçalves, *et. al.*, 2005).

Dessa forma, os resultados apresentados por Guirao (2010), corroboram com este estudo, que sinalizou as áreas de maior fragilidade em relação à qualidade da água, principalmente nas áreas com cultivos agrícolas e ocupação urbana.

6. Conclusões

A metodologia e materiais utilizados neste estudo foram adequados e pertinentes em relação à proposta. Também se pode confirmar a utilidade do Sistema de Informação Geográfica, como ferramenta capaz de gerar cartografia temática e mapas síntese a partir da sobreposição de camadas de diversas informações, de forma eficaz e rápida.

O mapa síntese com a identificação das áreas de maior fragilidade em relação à manutenção da qualidade de água deverá fornecer subsídios aos trabalhos de manejo no interior da área florestal, realizados pela Fundação José Pedro de Oliveira, responsável pela administração e conservação da protegida Área de Relevante Interesse Ecológico Mata de Santa Genebra e também deverá auxiliar o planejamento no entorno do fragmento, restringindo e monitorando os usos e tipos de ocupação.

Os resultados mostraram que são necessárias políticas que priorizem o manejo na ARIE, com o objetivo de se evitar um escoamento superficial conseqüente de processos erosivos, degradando a qualidade da água nas bacias hidrográficas, principalmente em relação ao uso urbano e agrícola sem qualquer monitoramento.

Referencias bibliográficas

Alberti, H.L.C. 2008. "Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG". Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas.

Almeida, A.T.; Costa, A.P.C.S. 2003. Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife: Editora Universitária, 1ª edição.

Amorim, R. de F.; Silva, F. M. da. 2009. "Modelagem do processo de vulnerabilidade a erosao do Solo utilizando o SPRING". Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Natal, Brasil.

Arcova, F.C.S.; Cesar, S.F.; Cicco, V. 1998. "Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica, Cunha, São Paulo". Revista do Instituto Florestal de São Paulo, 10, 2, pp.185-96.

Castro, C.B. de; Mendonça, A.S.F. 2002. "Interferência de atividades antrópicas e de condições sanitárias inadequadas sobre níveis de nitrogênio e fósforo em microbacias hidrográficas". VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

Coelho, R.M.; Valladares, G.S.; Chiba, M.K. 2008. Mapa pedológico semidetalhado do município de Campinas. Embrapa, Campinas, São Paulo, Brasil.

Copetti, A.C.C.; *et al.* 2007. "Concentrações de sedimento e de fósforo num curso de água afetadas pela pressão antrópica". Anais XXXI Congresso brasileiro de ciência do solo- Conquistas e

Desafios da Ciência do Solo brasileira, Gramado, RS, Brasil.

Faria, R.; Pedrosa, A. 2005. "Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do rio Uíma – Santa Maria da Feira". Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Farias, M. M. M. W. E C. de; *et al* .2010. "Utilização de técnicas de geoprocessamento para avaliação da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Capibaribe". Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, pp. 001 - 004

Feltran Filho, A.; Lima, E.F. de. 2007. "Considerações morfométricas da bacia do Rio Uberabinha- Minas Gerais". Sociedade e Natureza, 19, 1, pp. 65-80.

FJPO. 2010. Fundação José Pedro de Oliveira. Prefeitura Municipal de Campinas. Plano de Manejo da Área de Relevante Interesse Ecológico Mata de Santa Genebra.

Galvíncio, J.D.; Sousa, F. de A.S. de. 2004. "Uso do TOPAZ para caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa". Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 9, 4, pp. 69-75.

Garcia, G.J.; *et al.* 2006. "Impacto do uso da terra na erosão e no balanço e qualidade de água na bacia do Rio Corumbataí-SP". Holos Environment, 6, 2. pp.118-136.

Gonçalves, C.S.; Rheinheimer, D. dos S.; Pellegrini, J.B.B.; Sinval, L.K.. (2005). "Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9, 3, pp.391-399.

Grilo, R.C.; Enami, L. 2008. "Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e Sistemas de Informação Geográfica" UNAR, Araras, 2, 1, pp. 21-33.

Guerra, A.J.T.; Botelho,R.G.M. 1996. "Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos". Anuário do Instituto Geociências, 19, pp.93-114.

Guirao, A.C. 2010. "Caracterização hídrica de duas bacias hidrográficas de floresta urbana". Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas.

Haddad, E.A. 2007. "Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São

Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais. *Dissertação de mestrado*. Universidade

Federal de Minas Gerais.

Leitão-Filho, H.F.; Morellato, P.C. (Orgs). 1995. Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra. Campinas, Editora da Unicamp.

Lima, W.P. 1976. Princípios de manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba, ESALQ. Universidade de São Paulo.

LOPES, P.M.S 1; PEJON, O.J. 2001. Obtenção da cartade suscptibilidade à erosão com auxílio do SIG-IDRISI: subsídio para o zoneamento geoambiental da bacia do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça- SP. Anais VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, Goiás, Brasil, pp 1-10.

Magalhães, D.M; Leite, D.V.B; Moura, A.C.M. 2010. "Análise de transformação da paisagem por pressão antrópica em Santana do Riacho –MG: identificação de fragilidades ambientais com o apoio de classificação de imagens de satélite e análise de multicritérios". Anais XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia - Aracaju - SE - Brasil, pp 1450-1458.

Mansor, M.T.C. 2005. "Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP". Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

Marçal, M. dos S. 2000." Suscetibilidade à erosão dos solos no alto curso do Rio Açailândia – MA". Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Oliveira, J.B.; Berg, M. 1985. Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo. Quadrícula de Araras. Campinas: IAC.

Oliveira, J.B.; Menk, J.R.F; Rotta.C.L. 1977. "Levantamento Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo- Quadrícula de Campinas". Secretaria da Agricultura, Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária, Instituto Agronômico, Divisão de solos, Seção de pedologia.

Palmieri, F.; Larach, J.O.I. 2003. "Pedologia e Geomorfologia". En GuerraA, A.J.T; CunhaA, S.B. (Ed.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª Ed., pp. 59-122.

Pereira, V.P. 1997. Solo: manejo e controle de erosão hídrica. Jaboticabal, FCAV.

Pinheiro, M.R. de C.; Werneck, B.R.; Oliveira, A.F. de; Moté, F.; Marçal, M. dos S.; Silva, J.A.F. da; Ferreira, M.I.P. 2009. "Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ". Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE Natal, Brasil.

Pires Neto, A.G. 1995. "Caracterização e subsídios para a gestão integrada de bacias hidrográficas do município de Campinas". Relatório de Assessoria Técnica. Campinas, Prefeitura Municipal de Campinas. Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.

Pissara, T.C.T.; *et al*. 2008. "Análise das condições hidrológicas em bacias hidrográficas com diferentes usos e ocupação do solo". Irriga, Botucatu, 13, 4, pp.552- 565.

Portes, R. de C.; *et al*. 2009. "Determinação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa - Minas Gerais, através de geoprocessamento e análise multicritério". Anais do 12° Encontro dos Geógrafos de América Latina, Motevidéo, Uruguai, pp. 1-14.

Teodoro, V.L.I.; *et al*. 2007. "O Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local". Revista Uniara, 20, v., pp. 137-156.

Tonello, K.C. 2005. "Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG". Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

Torezan, F.E. 2005. "Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia". Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos.

Tucci, C.E.M. 2001. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, 2ª edição.

Villela, S.M.; Mattos, A. 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo. McGraw Hill do Brasil.

APLICACIÓN DE GEOTECNOLOGÍAS MIXTAS PARA LA CARACTERIZACIÓN MORFOTECTÓNICA A DETALLE EN LA ZONA PONIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Madrigal-Uribe, Delfino[1]; Reyes-Enríquez, Armando; Franco-Plata, Roberto; Espinosa-Rodríguez, Luis; González-Trápaga, María Arcelia y Rendón-Medina, Albino

RESUMEN

El trabajo presenta un proceso de caracterización morfotectónica que combina métodos tradicionales de gabinete y campo de tipo geológico, geofísico y geomorfológico, con diversas geotecnologías como el tratamiento digital de imágenes de satélite de radar y multiespectral, los modelos digitales del terreno, su iluminación temática y el procesamiento digital de éstos para generar morfometría y morfología a escala 1:50 000 en la zona oeste del Estado de México. Complementariamente se ubicaron focos sísmicos y oscilaciones gravimétricas en los mapas y se realizaron confrontaciones con referencias bibliográficas sobre estudios locales practicados en la zona de estudio, para comprobar los rasgos tectónicos. Los resultados destacan a través de la evidencia proporcionada por la combinación de geotecnologías, la presencia de tres grandes mega bloques tectónicos de orientación predominante SE-NW, intersectados por otras fallas más pequeñas de orientación predominante N-S y SW-NW, cuya actividad es intensa a juzgar por los focos sísmicos, los materiales volcánicos recientes y fenómenos metalogéneticos e hidrotermales en algunas zonas, constituyendo áreas con alta peligrosidad geológica y geomorfológica.

Palabras clave: Morfotectónica, Geotecnología, México

APPLICATION OF MIXED GEOTECHNOLOGIES FOR DETAILED MORFOTECHTONIC CHARACTERIZATION AT WEST MEXICO STATE

ABSTRACT

The study shows a process of morphotectonic characterization that combines traditional laboratory and field methods, including those of geological, geophysical and geomorphological kind. It combines several geotechnologies like multispectral and radar remote sensing, and uses digital elevation models, its thematic illumination and several digital processes related to morphometry and morphology techniques using the scale 1:50 000 to analyze the West area of Mexico State. Besides the seismic focus and gravimetric oscillations, had been localized in maps and compared to bibliographic references about local studies in the investigation zone, to validate such tectonic features. The results proved the presence of three big one tectonic blocks, with SE-NW orientation, which are intersected by other small faults of N-S and SW-NW orientations, with intense activity, as the presence of seismic focus, volcanic materials, metal veins and hydrothermal freaks suggest. Therefore should be considered as highly dangerous areas under a geologic and geomorphologic perspective.

Keywords: *Morphotectonic, Geotecnology, Mexico*

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, México.[1]dmadrigalu@uaemex.mx

1. Introducción

El Estado de México representa una de las entidades donde la actividad tectónica es más intensa, reciente y activa, dado que se localiza en la porción central del país y particularmente dentro de la zona núcleo del Sistema Volcánico Transmexicano o Sistema Volcánico Transversal (Demant, 1978). Por la misma razón, la actividad volcánica afecta prácticamente todo su territorio al igual que la actividad sísmica, lo que pone en riesgo a gran parte de la población y sus actividades económicas. Dado que envuelve al Distrito Federal, corazón político del país, la cantidad de estudios geológicos y geomorfológicos es importante sobre todo para el Valle de México y sus inmediaciones en los estados vecinos de México, Puebla, Morelos, Guerrero, Querétaro e Hidalgo (Cserna *et al.,* 1987).

En esos estudios se ha dado particularmente importancia al Volcán Popocatépetl, a los volcanes de la Sierra de Chichinahuatzin y también al volcán Nevado de Toluca, enfatizando la evolución de sus actividades eruptivas recientes y al estado de latencia y peligrosidad que actualmente conservan (Guadarrama, 2001; Alanís *et al.*,2002; García y Macías, 2002; Solleiro *et al.*, 2004; D´Antonio *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2009). A esa lista se han agregado otros volcanes igualmente peligrosos como el Jocotitlán, la triple Caldera de Zitácuaro-Villa de Allende y el Volcán de San Agustín (Temascalcingo) o bien, campos de pequeños volcanes cineríticos como los ubicados al pie de la Sierra de la Cruces dentro del Valle de Toluca, los peñones del Valle de México, la Sierra de Tenango-Joquicingo y la Sierra del Campanario, en los límites con el Estado de Michoacán (Capra *et al.*, 2004; Escalona *et al.*, 2005). Asociados a estos edificios se han caracterizado muchas de las fallas activas que propician con su movimiento la actividad volcánica, sobre todo en las áreas donde los desniveles del terreno son más evidentes y que constituyen las zonas más pobladas, pero debe reconocerse que muchas de las fallas no han sido descritas e identificadas para otras zonas menos pobladas del Estado de México, como es el caso de la zona oeste, donde muchos de los rasgos tectónicos son enmascarados por grandes depósitos aluviales-coluviales de tipo sedimentario o sedimentario volcánico. No obstante esto, existen evidencias que señalan que algunos de los sismos de mayor intensidad local, tienen sus epicentros en la zona oeste de la entidad (Mendiola, 1999) y que muchas de las nuevas explotaciones mineras de sulfuros metálicos están relacionadas con rupturas profundas de la corteza terrestre, como la mina de Tizapa, en el municipio de Zacazonapan (De Elias y Sánchez, 1992).

Por lo mismo el objetivo básico de esta investigación fue el de caracterizar las morfoestructuras presentes en la región oeste del Estado de México (Valle de Bravo) mediante el uso de imágenes satelitales de radar y la confrontación con modelos iluminados del terreno y referencias bibliográficas de geología y geomorfología. El propósito final era combinar técnicas mixtas de gabinete y campo, tanto de tipo tradicional como a base de geotecnologías, con la finalidad última de que los resultados demostraran en conjunto la existencia de los rasgos morfoestructurales en la zona de estudio. Aunque existe ya un primer estudio (Madrigal *et al.*, 2007) que reconoce rasgos tectónicos generales para toda la entidad, en una escala 1:250 000, donde se señalan rasgos más evidentes en la zona oeste, era preciso realizar un acercamiento a una escala de 1:50 000, utilizando para ello técnicas mixtas de tipo geológico-geomorfológico, con la implementación de geotecnologías como las imágenes de radar, los modelos iluminados del terreno, la recombinación de imágenes térmicas y la automatización de parámetros morfométricos como la energía del relieve y la profundidad de disección, complementados con los resultados de otros estudios de tipo sísmico y gravimétrico.

Los resultados obtenidos con la combinación de estas técnicas mixtas permitió obtener una retícula tectónica muy detallada, que corrobora por un lado estudios recientes de la UNAM y por el otro, permite identificar estructuras no reconocidas anteriormente, sobre todo a la manera de grandes bloques con orígenes muy antiguos, a juzgar por la asociación con ciertos tipos de rocas y los patrones de hundimiento, reconocidos en campo.

Independientemente de que se requiere de una continuidad para hacer mayor número de asociaciones entre parámetros y que para ello se precisa de recursos económicos y colaboraciones con otros investigadores, especialistas en su ramo, los datos obtenidos son suficientes para mostrar una imagen más precisa de la tectónica en esta porción del Estado de México y de las zonas más críticas, sobre todo las asociadas con centros de población importantes en la región.

Antecedentes teóricos de la investigación.

El uso de diversas geotecnologías para comprobar la existencia de fallas tectónicas y morfoestructuras ha sido muy amplia desde la aparición de las fotografías aéreas y su uso en la identificación geológica, (Strandberg, 1975) así como en las primeras imágenes de satélite (Wolf, 1974; Rees, 1990), donde principalmente se buscaba evidenciar estos rasgos a partir de la ruptura de la pendiente, la alineación de rasgos del relieve y de los patrones de drenaje o bien, a través de la identificación de contactos litológicos. Este mismo criterio se extendió al uso polarimétrico de las imágenes de radar (Mott, 2007; Lillesand y Kiefer, 2000) y de los modelos sombreados del terreno, obtenidos a partir de los modelos digitales del terreno (DEM), para destacar y evidenciar estos elementos en gabinete y posteriormente verificarlos a través del trabajo de campo, con métodos y técnicas que permitían distinguir las discontinuidades geológicas que son características de las fallas y las fracturas (García *et al*, 2008).

Actualmente estos mismos procesos son complementados con los análisis de interferometría diferencial de radar o DinSAR (no usados en la investigación), los DEM iluminados temáticamente con mapas vectoriales como la geología y la gravimetría o bien la asociación con rasgos vectoriales, principalmente puntos, que corresponden a los focos sísmicos, observando su coincidencia y su cercanía con los rasgos tectónicos que son identificados en la fotointerpretación o la clasificación multiespectral.

También en gabinete, la Geomorfología ha establecido como métodos el procesamiento de los rasgos del relieve a través de la morfología y la morfometría, generalmente desarrolladas a partir del mapa topográfico y la red hidrológica, procesos que requerían anteriormente un procesamiento manual mediante plantillas y fórmulas. De esa manera se obtenían parámetros como la energía del relieve, las pendientes, la hipsometría, la densidad y la profundidad de disección, la densidad y la profundidad del drenaje y otros parámetros que permiten caracterizar los mismos rasgos del relieve que evidencian las morfoestructuras, las características y los procesos de las laderas, así como de los procesos gravitacionales (Ortíz, 1990). Todos estos parámetros se han automatizado a través de programas de computación o extensiones de plataformas comerciales de SIG, que permiten sumar esfuerzos para la identificación de las morfoestructuras tectónicas y su verificación de campo.

Complementariamente al uso metodológico de estas geotecnologías, en esta investigación se utilizaron tres modelos o teorías propuestas por diversos autores, para dar explicación a los rasgos tectónicos del Estado de México o de la porción central del país, en la región del Sistema Volcánico Transmexicano o Sistema Volcánico Transversal y que son igualmente válidas para la región oeste de la entidad.

Por una parte, se encuentra la teoría de los Sizallamientos Tectónicos, propuesta en 1987 por Zoltan de Scerna *et al.*, para dar una explicación sobre el origen del fatídico sismo de 1985 en la Ciudad de México, la cual estaba basada en estudios de gravimetría general e imágenes de satélite, que permitían distinguir grandes fallas o rupturas profundas de la corteza terrestre, a partir de los procesos de subducción de placas en la trinchera mesoamericana. Estas grandes rupturas tienen cientos de kilómetros de largo y abarcan grandes conjuntos regionales, definiendo en general grandes bloques con orientaciones básicas SW-NE y SE-NW, que comienzan en la costa de Guerrero y Michoacán y se adentran hasta el norte del estado de Puebla y el norte del Estado de Hidalgo.

El Estado de México es atravesado por tres de estos grandes sizallamientos, con orientación SW-NE, los cuales atraviesan también el Valle de México. Aunque la escala de trabajo inicial de este estudio es de 1:1 000 000, sería de esperar que se evidenciaran también a escalas mayores de 1:250 000 y 1:50 000, con imágenes satelitales y ortofotos.

La segunda teoría es propuesta por Mooser (1996) *et al.,* y se encuentra basada en la determinación de lo que los autores denominan como "arcos tectónicos"; esto es, sistemas de fallas paralelas en forma de arco que abarcan también cientos de kilómetros. Dichos arcos tienen una orientación general de W-E, no siendo estrictamente homogéneos, ya que se seccionan en algunas partes por otras fallas más pequeñas de orientación N-S.

Según el mapa manejado en la investigación, existen dentro del Estado de México dos de esos arcos; uno de ellos se ubica hacia la porción norte y se denomina "Arco Tarasco", correspondiendo a la depresión tectónica Chapala-Acambay por un lado y al pilar tectónico Tlalpujahua-El Oro-Jocotitlán, por otro, como sistemas paralelos de orientación W-E.

Hacia la zona centro-sur de la entidad se encuentra otro arco tectónico, denominado "Arco Mezcala", que abarca desde la Sierra de Nanchititla, la Sierra de la Goleta y la Sierra de Temascaltepec, hasta la zona del Nevado de Toluca, la Sierra de Tenango-Joquicingo y la Sierra de Chichinahuatzin, hasta llegar al volcán Popocatépetl.

Estas dos teorías podrían quizás por sí mismas explicar las orientaciones generales SW-NE y W-E y quizás algunas orientaciones N-S (en menor cantidad), pero no explican las fallas de orientación SE-NW, que caracterizan una gran porción de la parte central del Estado de México, por lo que sería necesario recurrir a una tercera teoría, en este caso la teoría de los basculamientos tectónicos regionales, que no es propuesta en particular por un autor o un grupo de autores, sino por un gran número de autores separados, cuyos estudios de caso de tipo zonal o local contribuyen a dar en conjunto, ese enfoque. Muchos de esos estudios son de tipo geomorfológico y particularmente de tipo morfotectónico o bien, de tipo geológico local, centrado en un edificio en particular, como la triple caldera de San Miguel de Allende (Capra *et al.*, 2004), la falla de Perales (Quintero, 2002) o el Nevado de Toluca (Guadarrama, 2001; Alanís *et al.*, 2002; García y Macías, 2002; Solleiro *et al.*, 2004; D´Antonio *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2009). En estos estudios, se utiliza en mayor o menor medida el uso de imágenes multiespectrales, ortofotos y modelos digitales del terreno, cuyo producto es en todos los casos un mapa geológico o de sitio.

Al parecer de los autores de este trabajo, la combinación de las tres teorías explica en cada caso la naturaleza y la estructura de cada falla, aún aquellas que no han sido reportadas o descritas, además de su relación con fenómenos volcánicos, los procesos hidro-termales o la aparición de vetas y yacimientos metalogenéticos en toda la entidad.

Muchos de los estudios que sirven como referencia obligada, son utilizados dentro de los resultados de la investigación como elementos que corroboran y verifican los métodos y técnicas de tipo geotecnológico aplicados en la misma.

El principio básico que fundamenta la investigación se basa en la contrastación mixta de procedimientos de gabinete y campo, tanto tradicional como basado en geotecnologías, como formas de hipótesis sucesivas o alternativas para demostrar la presencia de fallas y fracturas. La confluencia positiva de más de tres de los procedimientos en la identificación de los rasgos, se tomó como síntesis para la demostración de la existencia de una morfoestructura, tal y como se demuestra en el esquema teórico-metodológico.

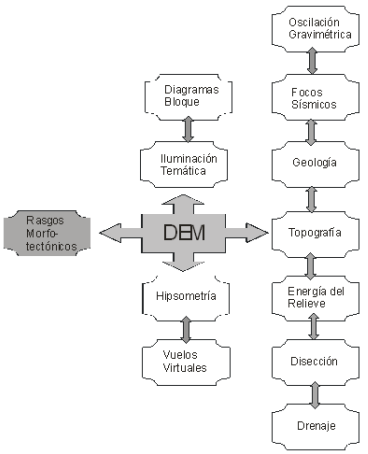


Figura 5-17. Esquema metodológico

Independientemente de los enfoques teóricos usados como antecedentes, la investigación partió de la caracterización de parámetros geomorfológicos como la energía del relieve y la profundidad de disección, como elementos que evidencian los contrastes del relieve y particularmente las rupturas de pendientes, a los que se asocian también los patrones del drenaje y la densidad de la red hidrológica. Todos estos parámetros se derivan de las cartas topográficas de manera tradicional, pero en este caso se calcularon de manera automatizada a partir de la elaboración del modelo digital del terreno, elaborando programas de computación con algoritmos y reelaborando otros programas ya editados con anterioridad (Franco y Pineda, 2005), actualizando sus contenidos para la obtención de estos parámetros (se obtuvieron dos tesis de especialidad con estos resultados) y de los mapas o retículas correspondientes.

Debido a que el DEM centra la mayor parte de los procedimientos geológicos, geomorfológicos y de combinación con el análisis digital de imágenes de satélite practicados (radar, térmicos y visuales), se procedió a generar un modelo digital del terreno a escala 1:50 000, confiable y lo más exacto posible.

Dado que los mapas topográficos editados digitalmente por el INEGI tenían grandes errores topológicos en su elaboración, al igual que los cinco tipos de DEM que se obtuvieron a través de diferentes fuentes (INEGI, Aster, IDRISI,), se procedió a corregir la topología de las seis cartas del INEGI mediante AUTODESK MAP, encontrando grandes dificultades para realizar estos procedimientos, debido a fallas de origen aún en el mismo mapa topográfico en papel, como la falta de correspondencia de curvas de nivel y de cotas de altitud, líneas perdidas y empates entre cartas. En su caso la interpolación de los rasgos topográficos para convertir las curvas de nivel en el DEM se realizó dentro de la plataforma Arc-GIS 6.3.

El DEM obtenido al final superó las pruebas de desempeño a las que fue sometido y se procedió a aplicar los algoritmos para la obtención de la energía del relieve y la profundidad de disección, así como las pendientes y el modelo sombreado del relieve en tonos de gris.

Posteriormente se procedió a tratar las imágenes multiespectrales de satélite, utilizando para ello imágenes LANDSAT ETM del año 2000 e imágenes Aster del año 2007, para toda la zona de estudio, obteniendo mosaicos realzados y filtrados mediante composición de color y montándolos en el modelo digital del terreno obtenido para hacer proyecciones ortográficas y vuelos virtuales, con fines de reconocimiento del relieve, para la identificación de morfoestructuras tectónicas. De la misma manera se utilizaron las bandas térmicas y se combinaron con el modelo digital del terreno, para hacer inferencias cruzadas con la misma finalidad. Todos estos procedimientos se realizaron en la plataforma IDRISI TAIGA.

Alternativamente se procesaron imágenes de radar del satélite PALSAR del año 2007, mediante procesos y análisis de polarimetría, en la plataforma de ENVI 4.6, con la finalidad de realzar nuevamente el relieve y combinar sus resultados con el modelo digital del terreno.

Con los resultados obtenidos en cada procedimiento se trazaron las fallas y las fracturas más importantes en toda la zona, con la idea de identificar y diferenciar las fallas de origen tectónico regional, como los sizallamientos, las de combamiento o tensión en arco, generalmente de orientación W-E y las que proceden de movimientos o fallamientos locales, normalmente de orientación N-S o de orientación SE-NW.

Después se procedió a iluminar mapas temáticos como el mapa geológico sobre el modelo digital del terreno y los puntos o focos sísmicos, a la vez que las líneas de falla, con la finalidad de asociar afloramientos rocosos y puntos de tensión con las morfoestructuras identificadas por los demás procedimientos. Los procedimientos de procesamiento cartográfico y de iluminación se llevaron a cabo fundamentalmente en la plataforma vectorial de ArcGIS 6.3. Todos los procedimientos digitales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Geografía de la UAEM.

En diferentes momentos de la investigación se realizaron salidas de campo con la finalidad de identificar rasgos destacados del relieve, daños en infraestructura, afloramientos rocosos, alineamientos, discontinuidades y asociaciones con rasgos hidrológicos y geohidrológicos, registrando los datos con lecturas GPS, fotografías, muestras de rocas, rosas de fracturas y descripciones en bitácora de campo.

Posteriormente se realizó una revisión final de los rasgos obtenidos mediante matrices y verificación de rasgos con datos de campo, verificación y contrastación con referencias bibliográficas y con otros estudios geológicos, sísmicos y gravimétricos.

La zona de estudio abarcó el equivalente a seis cartas del INEGI, escala 1:50 000, englobando un área de 1500 km² que va desde el Nevado de Toluca hasta las inmediaciones de la ciudad de Huetámo en Michoacán en la parte sur, como también desde Temoaya hasta la ciudad de Zitácuaro, también en Michoacán, para la parte norte. La zona incluye localidades importantes como Toluca, Zinacantepec, Villa Victoria, Valle de Bravo, Ixtapan del Oro, Villa de Allende, Donato Guerra, Bosencheve, Zacazonapan y Temascaltepec, las que pueden estar expuestas a peligros sísmico-tectónicos o volcánico-tectónicos en mayor o menor medida (Figura 5-18).

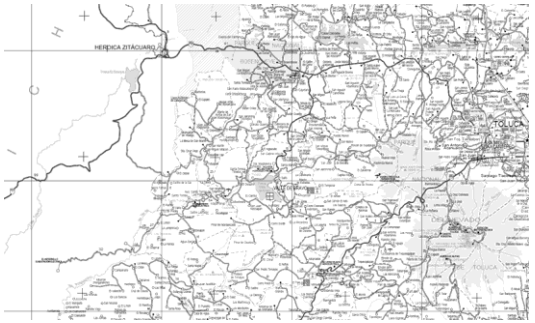


Figura 5-18. Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Carta topográfica del INEGI, escala 1:250 000. 1989

En esta escala de trabajo, la metodología y los resultados obtenidos entrañan más detalles en la información y en el número de procedimientos que a otras escalas menores, como la de 1:250 000, utilizada como estudio antecedente de esta investigación, sobre todo en lo que se refiere a la utilización del análisis polarimétrico de radar y el análisis multiespectral de imágenes de satélite, así como su combinación con el modelo digital del terreno y la verificación detallada de campo.

Cabe destacar que en algunos de los procedimientos aplicados se distinguen más algunos de los rasgos tectónicos, en relación a su visualización evidente y en otros destacan más los rasgos ocultos por los depósitos sedimentarios. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos los rasgos fueron confirmados por varias de las técnicas mixtas utilizadas, a manera de modelos de análisis sucesivos, cuyo resultado fue la configuración de una gran retícula tectónica.

El primer modelo aplicado fue el análisis del modelo sombreado final de toda la zona en tonos de gris, al igual que el mapa hipsográfico, donde se llevó a cabo la intrerpretación y el primer trazado de rasgos tectónicos generales, donde el detalle se puntualizó en los rasgos o morfoestructuras predominantes de SE-NW y en menor medida en la orientación N-S (figura 5-19 y figura 5-20). Estos resultados también se evidenciaron en la interpretación de las imágenes multiespectrales, tanto del satélite LANDSAT ETM, como Aster (figura 5-21).

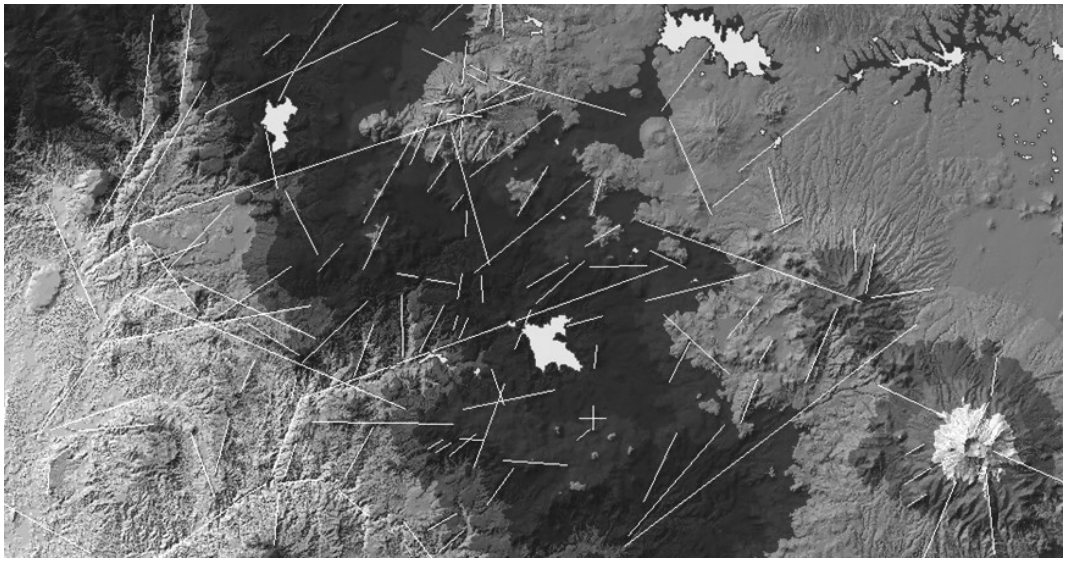


Figura 5-19. Modelo Sombreado del Relieve

Fuente: Modelo Digital del Terreno calculado a partir de las cartas vectoriales del INEGI
Corregido topológicamente en el Laboratorio de SIG de la Facultad de Geografía de la UAEM

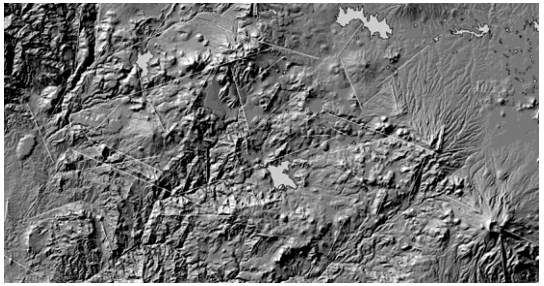


Figura 5-20. Hipsografía

Fuente: Modelo Digital del Terreno en escala 1:50 000, procesado del archivo vectorial del INEGI estandarizado por los autores.

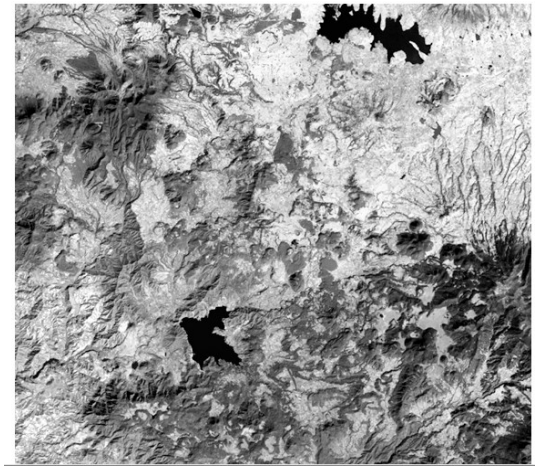


Figura 5-21. Imagen multiespectral de satélite

Fuente: Imagen Lansat ETM del año 2000, filtrada, realzada y compuesto de color

En el segundo grupo de modelos de análisis, se encuentra la interpretación de la retícula de la energía del relieve y la profundidad de disección, que junto con la imagen de radar resaltan rasgos nuevos importantes en cuanto a la identificación de fallas de orientación predominante SE-NW y E-W (imágenes 5-22, 5-23 y 5-24). En este rubro también se analizaron los patrones de drenaje y las características de las pendientes (imágenes 5-25 y 5-26).

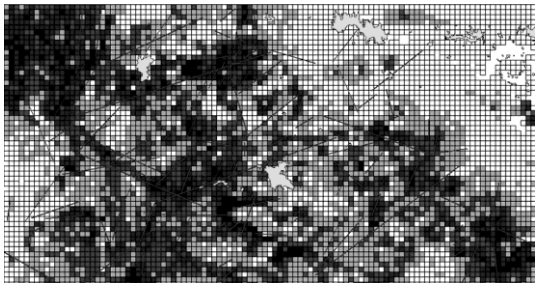


Figura 5-22. Energía del relieve.

Fuente: Cálculo digital a partir del modelo digital del terreno,
Programas diseñados por Franco y Pineda, 2005; Estrada, 2009 y Zepeda, 2009.
Facultad de Geografía de la UAEM.

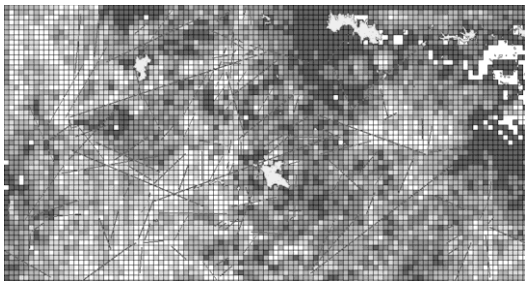


Figura 5-23. Profundidad de Disección

Fuente: Cálculo digital a partir del modelo digital del terreno
Programas diseñados por Franco y Pineda, 2005; Estrada, 2009 y Zepeda, 2009.
Facultad de Geografía de la UAEM.



Figura 5-24. Imagen de Radar

Fuente: Procesamiento polarimétrico de imagen de radar PALSAR de 2007,
Resaltando discontinuidades del relieve para realzamiento tectónico con la plataforma ENVI 4.6.
Facultad de Geografía de la UAEM.

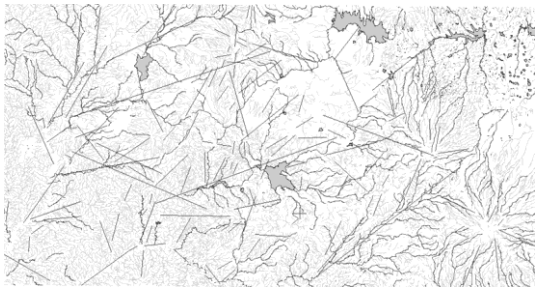


Figura 5-25. Redes de Drenaje

Fuente: Cartas Topográficas del INEGI corregidas con datos de la CONAGUA (2007)
Región de las cuencas del Río Amanalco y Río Temascaltepec.

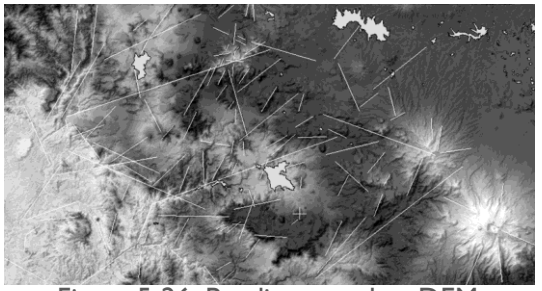


Figura 5-26. Pendientes sobre DEM

Fuente: Modelo digital del terreno calculado a partir de los mapas digitales del INEGI
Corregido topológicamente en la Facultad de Geografía de la UAEM. 2010

Un tercer grupo, que resalta los rasgos profundos del relieve, es aquel que se deriva de la combinación entre imágenes térmicas y modelos digitales del terreno, donde se destacan principalmente las intersecciones de falla y la existencia de morfoestructuras no identificables con las otras dos técnicas anteriores, sobre todo ante la existencia de depósitos sedimentarios. En algunos casos, esta técnica confirma lo encontrado por el modelo sombreado, las imágenes multiespectrales y la imagen de radar, pero en otros, destaca puntos y rasgos que no se había identificado, por lo que no existe una orientación dominante (Figura 5-27).

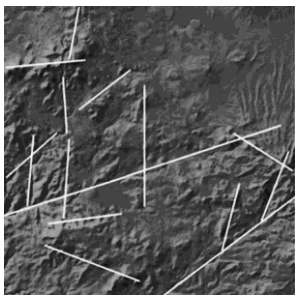


Figura 5-27. Fusión de Imágenes Térmicas

Fuente: Bandas térmica del satélite Landsat ETM 2000, realzadas a través de la combinación con el modelo digital del terreno.
Laboratorio de SIG, Facultad de Geografía de la UAEM.

Finalmente, un cuarto grupo de modelo de análisis se deriva de la combinación de mapas temáticos de geología y sismos con el modelo digital del terreno, al ligar el relieve con las líneas de falla identificadas con imágenes y la concordancia con discontinuidades litológicas o la presencia de focos sísmicos (figuras 5-28 y 5-29).

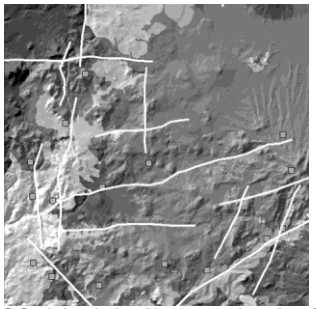


Figura 5-28. Modelo Iluminado de Geología

Fuente: Iluminación del modelo digital del terreno con el mapa temático de Geología y focos sísmicos (UNAM, 2000).
Facultad de Geografía de la UAEM, 2010

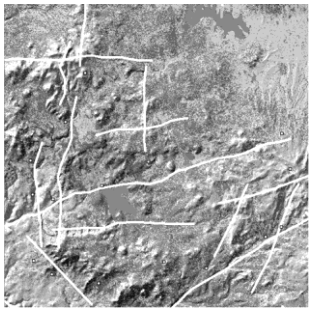


Figura 5-29.Modelo Iluminado Con Imagen Clasificada

Fuente: Iluminación del modelo digital del terreno con la imagen clasificada Landsat ETM 2000, para litología superficial.
Facultad de Geografía de la UAEM, 2010

El resultado final obtenido es un enrejado complicado de morfoestructuras, pero donde destaca la existencia de tres grandes bloques, delimitados por fallas SW-NE y fallas SE-NW, entrecortados por pequeños bloques de alineación N-S y W-E. Los primeros parecen más antiguos y ligados concretamente a los grandes sizallamientos (orientación SW-NE), ya que sobre las líneas de falla es frecuente encontrar afloramientos de granitos y de esquistos, la mayor parte de las veces muy intemperizados y erosionados, mientras que los que los delimitan de SE a NW, se encuentran ligados a afloramientos de rocas verdes, andesitas y dacíticas, aunque aparecen de tanto en tanto domos y batolitos de rocas terciarias como la riolita (figuras 5-30 y 5-31).

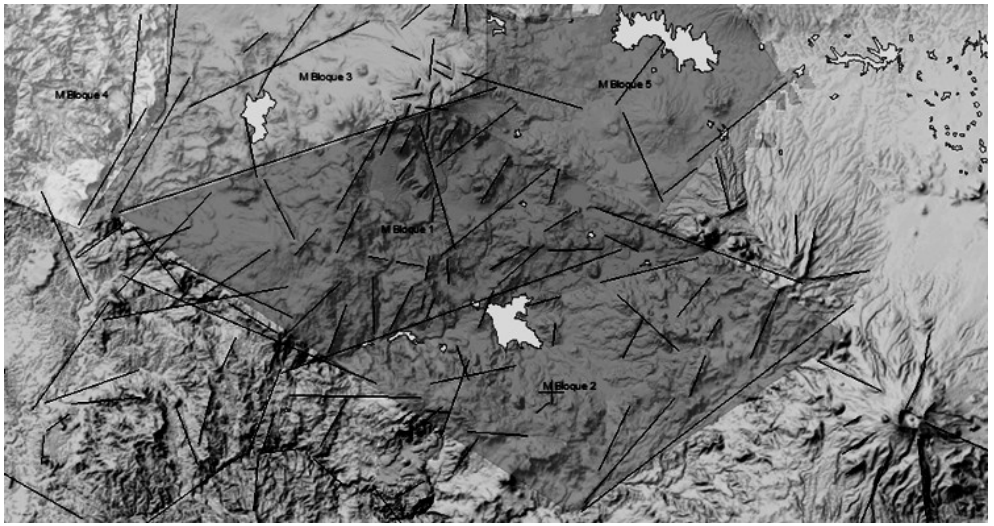


Figura 5-30. Definición de Bloques Tectónicos 1

Fuente: Síntesis de técnicas mixtas para la definición de morfoestructuras tectónicas.
Laboratorio de SIG de la Facultad de Geografía de la UAEM. 2010.

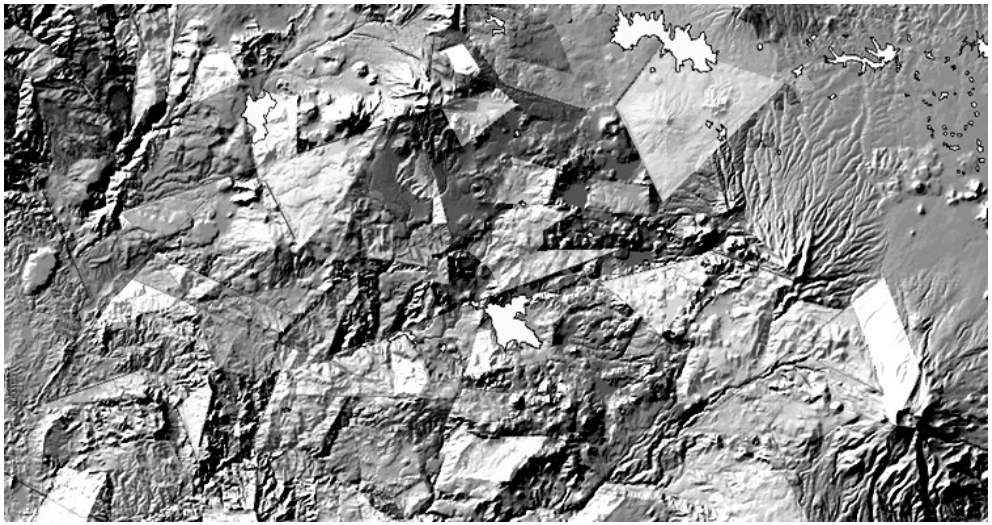


Figura 5-31. Definición de Bloques Tectónicos 2
Fuente: Síntesis de técnicas mixtas para la definición de morfoestructuras tectónicas.
Laboratorio de SIG de la Facultad de Geografía de la UAEM. 2010

En los cruces, intersecciones o vértices de este primer grupo de fallas, se ubican muchas de las rocas metamórficas y ligada a ellas, la posibilidad de encontrar yacimientos metalogenéticos, procesos hidro-termales o volcanes poligenéticos. En la mayoría de los casos todos estos eventos se combinan también con la presencia de afloramientos de rocas sedimentarias marinas, como las calizas, las lutitas, los conglometados marinos y las areniscas, así como con la metamorfización de las mismas cuando el cruce de las fallas no está asociado a vulcanismo, generando filitas, pizarras, mármoles, travertinos y ónix.

El segundo grupo de fallas es más reciente, ya que se encuentra asociado la mayor parte de los veces al vulcanismo activo en toda la zona y a la presencia de volcanes y calderas de tipo monogenético o bien a los campos de pequeños conos cineríticos, aunque cuando se entrecruzan con las fallas antiguas pueden generar estratovolcanes como el Nevado de Toluca, constituyendo verdaderos vértices tectónicos. Como su dirección predominante es W-E y N-S, su existencia se encuentra relacionada, tanto con el combamiento del arco tectónico Mezcala en el primer caso, como con el basculamiento de pequeñas morfoestructuras en el caso de la orientación N-S. En el cruce de fallas en los dos sentidos, se han desarrollado estructuras volcánicas como la triple caldera de San Miguel de Allende o de Zitácuaro (Capra *et al.*, 2004).

Las rocas predominantes en este segundo grupo de fallas son generalmente basaltos, brechas volcánicas extrusivas ácidas, pumitas, cenizas y material fragmentario o cinerítico, tanto de tipo basáltico como dacítico. Mientras que los campos de volcanes monogenéticos tienen en general derrames lávicos, casi siempre basálticos o bien, pequeños conos de escorias; los estratovolcanes y calderas tienen materiales mixtos, dominando los materiales fragmentarios de erupciones altamente explosivas, como los depósitos de avalanchas de escombros, lahares, nubes ardientes y lluvia de cenizas o escorias, abarcando grandes distancias.

Las referencias de otros estudios puntualizan bastante en los rasgos asociados al Nevado de Toluca o la triple Caldera de Zitácuaro, pero no identifican los rasgos asociados al primer grupo de fallas que se identifica en este estudio, aun cuando están relacionados regionalmente entre sí.

Las grandes bloques o morfoestructuras presentes en el área de estudio están enmarcadas al norte por una falla de orientación SW-NE, que viene desde la presa del Bosque, al sur de Zitácuaro, pasando por San Miguel de Allende, el sur de la presa de Villa Victoria y llega hasta las inmediaciones de la presa Ignacio Ramírez hasta topar con la Falla de Perales, descrita en diversos estudios. Una parte de esta falla se encuentra cubierta por los materiales que emanaron de la triple caldera de Zitácuaro, dada por el cruce de una falla N-S, que proviene de la zona de Valle de Bravo y otra pequeña falla W-E que proviene del sur de la ciudad de Zitácuaro.

Este gran bloque es delimitado al sur por otra falla, también de orientación SW-NE, que proviene de la zona de Huetámo en el estado de Michoacán y que inicia como un arco hasta la zona de Santo Tomás de los Plátanos, donde se profundiza a la manera de un pequeño cañón para seguir hacia la cortina de la presa de Valle de Bravo, prosigue por la parte norte de la localidad de Amanalco de Becerra, pasa por la parte norte del Cerro del Campanario (Santa María del Monte) y llega a la sierra de la Teresona en la parte norte de la ciudad de Toluca. Parecería que termina en ese lugar, pero existen evidencias de que continúa por debajo de los sedimentos lacustres del Valle de Toluca y se une a otra falla a manera de una cuña hasta atravesar la Sierra de las Cruces, la Sierra de Guadalupe y llegar a las estribaciones de la Sierra Madre Oriental en el Estado de Puebla.

De hecho, el mapa de Cserna *et al.* (1987) delimita esta falla y la subsiguiente al sur, como una parte de los grandes sizallamientos que cruzan la república mexicana desde la costa del Pacífico, particularmente del estado de Guerrero.

No obstante, este primer gran bloque es seccionado en esta zona por dos grandes fallas, de orientación SE-NW, que también seccionan a los otros dos grandes bloques. Una de ellas proviene desde la zona de Sultepec, pasa por la parte sur de Temascaltepec y luego se profundiza para seccionar el primer bloque en la zona de Cerro Prieto-Avándaro y continuar hasta la parte sur de la presa del Bosque, en Michoacán, donde termina. La otra falla proviene del norte del Nevado de Toluca, atraviesa el cerro del Campanario y termina en la triple caldera de Zitácuaro.

Como se mencionó antes, este bloque es separado también en dos por la falla N-S que se inicia en la zona de valle de Bravo y se dirige al norte por la parte oeste de la localidad de Ixtapan del Oro y atraviesa la triple caldera de Zitácuaro, siguiendo a todo lo largo de la Sierra del Campanario, hasta toparse con el pilar tectónico del Oro-Tlalpujahua (Fries *et al.* 1965).

Un segundo bloque, también de orientación general SW-NE, se inicia donde termina el primero en la parte sur; es decir, donde la falla proviene de Huetámo-Zacazonapan (Elías y Sánchez, 1992), continúa por Santo Tomás de los Plátanos y termina en la zona de la pequeña sierra de la Teresona, en el Valle de Toluca. Al sur, este bloque comienza en la zona de Temascaltepec, seccionado por una de las fallas de orientación SE-NW, ya descritas, para llegar a la parte media entre el volcán Nevado de Toluca y el Cerro del Campanario (Santa María del Monte) aunque según el estudio de Cserna *et al.* (1987), sigue la trayectoria de uno de los sizallamientos que comienzan en la costa de Guerrero y que aflorando en diversos puntos, se une a la falla del primer bloque, para seguir hasta la Sierra Madre Oriental.

Tal y como ocurre con el bloque anterior, este bloque es delimitado en sus extremos por las dos fallas SE-NW, ya descritas, tanto hacia el oeste como hacia el este, según puede observarse en todas las imágenes obtenidas.

Sería de notar, que este bloque es más elevado que el anterior, constituyendo el escalón más alto, a juzgar por las cotas de nivel, aunque las fallas que lo delimitan tienden constantemente a desaparecer debajo de depósitos de origen sedimentario volcánico, la aparición de formas circulares que desvían el drenaje, posiblemente domos o intrusiones volcánicas terciarias y la intersección con otras fallas. Sin embargo, varias de las técnicas practicadas, en particular las imágenes de radar y las imágenes térmicas delataron su continuidad por debajo de esos sedimentos y alrededor de las formaciones circulares. También los modelos iluminados con el mapa geológico evidenciaron discontinuidades litológicas y la alineación de los focos sísmicos, algunos de ellos de gran intensidad (8.5 en la escala de Ritter), expresaron su actividad tectónica.

Un tercer bloque, menos definido que los dos anteriores y nuevamente con orientación SW-NE, es delimitado por la misma falla de Temascaltepec-Nevado de Toluca al norte, mientras que al sur la falla se desdibuja por un combamiento semicircular que ocupa gran parte del valle de Sultepec y que parece estar condicionado en parte por el choque con otras falla, también de orientación SE-NW y N-S, como la Falla Taxco-San Miguel (Alanís *et al.* 2002). No obstante, esta falla termina en el volcán Nevado de Toluca, donde también coincide otra de las fallas de orientación SE-NW, que delimita los otros dos grandes bloques, en su porción NE.

Aparte de las dos grandes fallas de orientación SE-NW que delimitan los tres bloques, existen muchas pequeñas fallas y fracturas que seccionan pequeñas porciones de los mismos y que parecen resultantes de fuerzas tectónicas más o menos dominantes en cada zona. De ese modo, la mayor parte de estos pequeños rasgos tectónicos tienen orientaciones SE-NW, aunque algunas tienden a manifestarse ligeramente hacia orientaciones N-S y W-E. En buena parte de los casos, están asociados a la presencia de derrames lávicos acordonados o malpaís, pequeños conos cineríticos o estructuras acostilladas, tanto de naturaleza basáltica, como dacítica.

Finalmente, debe mencionarse que los grandes estratovolcanes o calderas de la zona, como el volcán Nevado de Toluca y la triple caldera de Zitácuaro son las estructuras más grandes y están asociados a trenes de fallas con todo tipo de orientaciones, a manera de grandes vértices tectónicos, lo que explica su gran actividad volcánica, la mayor parte de ella muy explosiva y prolongada. Estos edificios han sido profusamente estudiados en los últimos diez años, llegando a determinar que su actividad se remota a más de 50 000 años y se extiende en el pasado reciente hasta los 3 250 años, determinando contra todos los estudios anteriores, que siguen activos y en periodo de latencia, a juzgar por indicadores traza, estudios hidrotermales y datación de depósitos volcánicos (García y Macías, 2002; Capra *et al*, 2004 y 2006; Solleiro *et al*, 2004; Guadarrama, 2001; Arce *et al.*, 2003 y 2005; D´Antonio *et al.* 2008; Smith *et al.*, 2009).

Estos mismos datos se corroboran con las anomalías magnéticas y las oscilaciones gravimétricas que se han registrado para toda la zona de estudio, denotando la actividad tectónica a nivel de corteza profunda (Cserna *et al.*, 1987; Urrutia y Flores, 1996; Flores, 1998), en concordancia con la presencia de sismos y de actividad volcánica reciente.

No puede dejarse de lado el hecho, de que se responsabiliza a uno de los grandes sizallamientos que pasa por Temascaltepec, de ser el inductor que trasmitió la gran energía del sismo de 1985 hacia el valle de México y el Distrito Federal, además de registrar los epicentros con sismos de mayor intensidad, ocurridos en el Estado de México (Mendiola, 1999).

Discusión y Conclusiones

La combinación de técnicas mixtas de tipo tradicional y de tipo geotecnológico demuestra su efectividad en este tipo de estudios o de investigaciones, dado que la efectividad total para demostrar la existencia de morfoestructuras tectónicas llega prácticamente al 95% de certeza, en contraste con lo que pudiera ser la aplicación solamente de un grupo de técnicas geológicas, geofísicas o geomorfológicas por separado o bien, de la aplicación de geotecnologías como la percepción remota, que si bien ha demostrado en las actividades mineras su eficacia, requiere siempre de otras contrastaciones metodológicas de laboratorio y de campo.

Este criterio es también válido para las mismas geotecnologías, ya que como se demostró en la investigación, algunas de ellas como el análisis óptico multiespectral y el modelo sombreado del terreno detectan un tipo de fallas y fracturas, más superficiales y evidentes, mientras que otros más profundos son evidenciados por el análisis de las imágenes de radar y la combinación de bandas térmicas. La correspondencia con el procesamiento digital de la energía del relieve, la profundidad de disección, las pendientes y el análisis de las redes del drenaje sirven en gran medida para corroborar o desmentir lo observado en el procesamiento digital de imágenes de satélite, lo que también puede decirse para la ubicación de sismos y de oscilaciones gravimétricas o magnetométricas.

En ese sentido, la verificación de campo ubicando alineamientos de rasgos topográficos, realizando rosas de fracturas, ubicando las discontinuidades litológicas y la configuración del drenaje, con base en la clasificación de las imágenes, permitió que se corrobaran el 95% de las morfoestructuras determinadas con los métodos de gabinete. El 5% restante se reinterpretó o se desechó de acuerdo con la coincidencia con los demás métodos mixtos, de manera que la eficacia de los mismos se comprobó fehacientemente.

Finalmente, la iluminación de los modelos digitales del terreno con mapas temáticos como la geología o la gravimentría sirven para ligar las discontinuidades del relieve con los contactos litológicos y las variaciones de la energía terrestre, dando finalmente un elemento de corroboración final que se contraste con las referencias bibliográficas de otros estudios practicados por investigadores en geología o geofísica.

En la zona de estudio pudo determinarse con todas estas técnicas, la existencia de tres grandes bloques tectónicos no identificados con anterioridad en otros estudios, los cuales están delimitados por fallas profundas de la corteza, relacionados principalmente con sizallamientos. Los tres tienen una orientación SW-NE y se encuentran seccionados al principio y al final por dos grandes fallas de orientación SE-NW, de naturaleza más reciente y ligadas estrechamente a procesos de basculamiento tectónico cenozoico.

Guardan entre sí una relación de escalonamiento, siendo el del centro el más alto de los tres, relacionándose con la existencia de vulcanismo antiguo, procesos intrusivos y metamorfismo de contacto. Entre ellos existe una gran actividad reciente de fallas y fracturas de orientación N-S y de orientación W-E, cuyo dinamismo define activos procesos volcánicos, sobre todo en las zonas críticas en las que existe un gran entrecruzamiento de fallas de todas las orientaciones, como en el caso del Nevado de Toluca y la triple caldera de Zitácuaro, donde el vulcanismo es intenso y altamente explosivo, siendo además de todo sumamente activo. En estos últimos se verificó en campo la existencia de materiales volcánicos recientes como los basaltos, las brechas y las tobas de tipo ácido, asociadas a campos de conos cineríticos, tal y como ocurre en todas las zonas de vulcanismo reciente en el Sistema Volcánico Transmexicano.

Puede ser calificada toda la zona como de un tectonismo complejo y altamente dinámico, donde existen evidencias concretas de cataclismos volcánicos y de movimientos de laderas y caída de bloques, que constituyen peligros potenciales para las poblaciones vecinas. Esto permite deducir que existen zonas de peligro sísmico-volcánico muy grandes como las que circundan a localidades como Temascaltepec, Amanalco de Becerra, Valle de Bravo, Santo Tomás de los Plátanos, Zacazonapan, Villa de Allende, Ixtapan del Oro y Donato Guerra, entre las más importantes. Si bien los eventos sísmicos y volcánicos no son tan frecuentes, la potencialidad de ocurrencia está latente y debe obligar a las autoridades a tomar precauciones.

Referencias Bibliográficas

Alanís, A.S., S.F. Nieto, M.T. Orozco, F.L. Vasallo y X. Shunshan (2002). El Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LV, núm. 1, 2002. pp. 12-29.

Capra, L., J.L. Macías y H. Garduño (2004). The Zitácuaro Volcanic Complex, Michoacán, Mexico: magmatic and eruptive history of a resurgent caldera. Geofísica Internacional, UNAM (publicación virtual). 12 págs.

Cserna, Zoltan de, Mauricio la Duch, Miguel Palacios-Nieto, Leonardo Triay, Luis M. Mitre y Reynaldo Mota-Palomino (1987). Estructura Geológica, Gravimetría, Sismicidad y Relaciones Neotectónicas Regionales de la Cuenca de México. Boletín 104, Instituto de Geología de la UNAM. pp. 32-46

D´Antonio, Marco, Lucía Capra, Damiano Sarocchi y Fernando Bellotti (2008). Reconstrucción del evento eruptivo asociado al emplazamiento del flujo piroplástico El Refugio hace 13 ka, volcán Nevado de Toluca (México). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 25 (1). México. pp. 115-134

Demant, A. (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Revista del Instituto de Geología de la UNAM. México. Pp. 89-112.

Elias, H. Mariano y José Luis Sánchez Z. (1992). Tectonic implications of a mylonitic granite in the lower structural levels of the Tierra Caliente complex (Guerrero Terrane), southern Mexico. Revista del Instituto de Geología de la UNAM. México. Vol. 9. pp. 113-125.

Escalona, H. José Luis, Rubén López del C. y Miguel Martínez T.(2005). Evaluación de Riesgo Volcánico en la Región del Volcán Jocotitlán, Estado de Mëxico. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Geografía de la UAEM, Toluca, Méx. 152 págs.

Flores, R. Jesús Hernán (1998). Estructura Cortical en el Centro de México, derivada del análisis de anomalías gravimétricas regionales. Tesis de Doctorado en exploración Geofísica. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 152 p.

Franco, Roberto, Espinosa, Luis M., Pineda, Noel B., y Reyes, Armando (2005). Cartografía Geomorfológico Automatizada para el análisis territorial. Memorias en CDROM del 4° Coloquio Geográfico sobre América Latina. Toluca, México. 8 de septiembre de 2005.

García-Palomo Armando y José L. Macías (2002). Geology of Nevado de Toluca Volcano and surrounding areas, Central Mexico. Geological Society of America. Map and Chart Series MCH89, pp. 1-26.

García-Palomo, Armando, Juan José Zamorano, Celia López-Miguel, Adriana Galván-García, Víctor Carlos-Valerio, Roberto Ortega y José Luis Macías (2008). El Arrreglo Morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México Central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 25, núm. 1, 2008. México. pp. 158-178.

Guadarrama, S. Gerson (2001). Elaboración e interpretación de la Carta Geomorfológica, escala 1:50 000 de la hoja Tenango del Valle. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Geografía de la UAEM, Toluca, Mëx. 122 págs.

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer (2000). Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, New York, USA. 365 p.

Mendiola, M. Fabiola (1999). Evaluación del Peligro Sísmico en el Estado de México. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Geografía de la UAEM, Toluca, Mëx. 96 págs.

Mooser, Federico, Arturo Montiel y Armando Zúñiga (1996). Nuevo Mapa Geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla. Comisión Federal de Electricidad. México. 212 págs.

Mott, Harold (2007). Remote Sensing with Polarimetric Radar. IEE Press and Wiley Interscience. New Yersey, USA. 312 p.

Ortiz Pérez, Mario Arturo (1990). Perfiles Geomorfológicos Complejos. Serie Varia T. I., No. 12 Instituto de Geografía.

Quintero-Legorreta, Odranoel (2002). Análisis Estructural de Fallas Potencialmente Activas. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. México, Tomo LV, núm. 1. Pp. 1-11

Rees, W.G. (1990). Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge University Press, USA. 312 p.

Smith, V.C., J.D. Blundy y J.L. Arce (2009). A temporalrecord of magma accumulation and evolution beneath Nevado de Toluca, Mexico, preserver inf plagioclase pheonocryst. Journal of Petrology 50 (3). Oxford University Press, U.K. pp. 405-426

Solleiro, R. Elizabeth, José Luis Macías, Jorge Gama C., Sergey Sedov y Leopold D. Sulerzhitsky (2004). Quaternary Pedostratigraphy of the Nevado de Toluca Volcano. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 21, núm. 1. México. Pp. 101-109.

Strandberg, Carl H.(1975). Manual de Fotografía Aérea. Editorial Omega, Barcelona, España. 208 págs.

Urrutia-Fucugauchi J. y Flores-Ruiz J.H. (1996). Bouguer gravity anomalies and regional crustal structure in Central Mexico., Inter. Geol. Rew., v.38., p. 176-194.

Wolf, Paul R. (1974). Elements of Photogrammetry: with Air Photo Interpretation and Remote Sensing. McGraw Hill Press. Tokyo, Japan. 401 p

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA, ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO PLATAFORMAS SIG´S

Marisol De La Cruz Jasso[1]; Marivel Hernández Téllez; Miguel Ángel Balderas Plata; Roberto Franco Plata.

RESUMEN

Se pretendió estimar el riesgo del proceso de degradación del suelo y determinar áreas prioritarias para la conservación de suelos, en los cursos (alto, medio y bajo) que integran la cuenca. Para ello, se analizaron las variables de pendiente, densidad de drenaje, textura, uso de suelo, precipitación, profundidad de suelo, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, niveles de bienestar económico, población y área de influencia de las localidades; se emplearon plataformas de Sistemas de Información Geográfica y análisis multivariado; con base al Modelo de Riesgo de Degradación del Suelo se determino el riesgo de degradación del suelo de la zona de estudio. Dando como resultado en el curso medio el 31% de su superficie está siendo influenciada por procesos de degradación alta, le sigue el curso bajo con el 30% y el Alto con el 12 %. Para el caso del Curso Bajo existen 32 localidades consideradas como áreas prioritarias en el municipio de Acambay, en el curso medio son 51 correspondiente al municipio de San Felipe del Progreso y finalmente en el curso alto son 25 y corresponden a Temoaya.

Palabras clave: Cuenca del Río Lerma, degradación de suelo, Sistemas de Información Geográfica, Análisis Multivariado.

ASSESMENT OF THE RISK FOR SOIL DEGRADATION IN LERMA THE RIVER BASIN ASSISTED WITH GIS TECHNOLOGY

ABSTRACT

The main aim was to estimate the risk of soil erosion in order to determine priority areas for soil conservation in the courses (high, medium and low) of the Lerma river basin. To do so, the following variables: slope, drainage density, texture, land use, rainfall, soil depth, Difference Vegetation Index, normalized levels of economic, population and area of influence of the locations were analyzed using a Geographic Information Systems and multivariate analysis. The risk of soil degradation in the area was evaluated, and as result, in the middle section of this area 31% of its surface is under high degradation processes, followed by the lower section with 30% and 12% in the higher section. There are 32 localities within the priority areas in the municipality of Acambay; 51 at the municipality of San Felipe del Progreso, and 25 in Temoaya.

Key words: Lerma River Watershed, land degradation, Geographic Information Systems, Multivariate Analysis.

---

[1] Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. 50100. Toluca, México. losiram_174@hotmail.com

1. Introducción

La degradación y pérdida de suelo es un serio problema que afecta a muchas familias y comunidades rurales del país, debido a que se pierden bastantes áreas agrícolas, baja la cantidad y calidad de los productos y se reduce la producción, siendo únicamente para el autoconsumo. Por eso, es importante conocer aquellas áreas que presentan un alto riesgo de degradación (degradación de nuestros suelos), con el fin de actuar y mejorar dichas áreas. La degradación de la tierra es un conjunto de procesos dinámicos (físicos, químicos y biológicos) que afectan la productividad de los ecosistemas, la cual puede ser irreversible y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas. Esta degradación se relaciona con el uso inadecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna, siendo los dos primeros la base fundamental para el abastecimiento de alimentos; para las plantas, los animales y el ser humano (Ortiz *et al*., 1994). Se manifiesta en tres tipos principalmente tales como degradación de la fertilidad (Química, Física y biológica), Contaminación y Erosión.

Se han encontrado registros de erosión en los documentos de los romanos y de los griegos: Platón describía la destrucción del suelo como resultado de las deforestaciones (García y Dorronsoro, 2007). En México el problema de la erosión, se presenta principalmente en las zonas de topografía quebrada, donde las pendientes del terreno son escarpadas. Se ha observado que cuando los suelos se empobrecen por el efecto de erosión, o bien cuando éstos han desaparecido, se abandonan dichos lugares por la baja producción de los cultivos. Existen lugares donde en un período de 60 años se han perdido estratos de 1 m de suelo. Si se toma en cuenta que generalmente solo los primeros 60 cm. de suelo son los más útiles para la agricultura, se entenderá el acelerado empobrecimiento de los suelos y su importancia (CENAPRED, 1994).

En nuestro país ocurren procesos naturales que condicionan o favorecen a los procesos erosivos. Sin embargo, el verdadero problema radica en la actitud humana al explotar los ecosistemas convirtiéndolos en áreas estériles, erosionadas y contaminadas entre otras, por la sobreexplotación en el manejo de los recursos naturales como suelo, agua, fauna y flora principalmente (Roldán y Trueba, 1978). México cuenta con una gran diversidad de ecosistemas, la superficie estimada de áreas forestales ascienden a 40, 957 millones de hectáreas cubiertas de bosque y selvas y 85,508 millones de hectáreas de arbustos y matorrales, lo que representa el 21% y 43% de ellas respectivamente (SEDUE, 1986).

Los bosques han sido degradados, esto ha llevado al país al umbral de una crisis ecológica por la erosión masiva del suelo. A mediados de 1985, se consideraba que el 85% del territorio mexicano presentaba diversos grados de erosión. Solo se libraron del problema algunas zonas climáticas húmedas. Un 30.5% del territorio padecía erosión acelerada, y en un 16.7 % de la superficie del país el proceso erosivo había culminado ya con la desaparición completa de la cobertura edáfica y la consiguiente exposición de la roca madre. El problema presentaba su máxima gravedad en el centro y en la región nororiental del país, así como en la costa del Pacifico, al sur de la península de Baja California. Es posible reconstruir la evolución temporal del proceso erosivo en México en dos momentos: el primero se relaciona con la portentosa multiplicación del ganado durante el siglo XVI, el segundo se verificó sin duda a raíz de las transformaciones agropecuarias que se iniciaron a mediados del siglo XX, en donde la principal causa de degradación es la explotación de áreas no aptas para el cultivo. Estos dos grandes procesos se verificaron también en otros países de la región, y en todos ellos contribuyeron a acelerar la desertificación inducida (García y Dorronsoro, 2007).

Un sistema de información geográfica (SIG) provee diversas funciones de análisis que permiten manipular las diferentes variables utilizadas en los procesos de estimación de parámetros hidrológicos, el empleo adecuado de esas funciones hace posible la implementación de

mecanismos efectivos para la estimación de aquellos parámetros de uso frecuente en la clasificación de cuencas hidrográficas. Los SIG se han convertido en una herramienta muy eficaz para la generalización de los modelos; estos pueden ser utilizados en estudios cuantitativos o cualitativos, representando un ahorro de tiempo y una disminución de los costos (Sivertun, 1988). Para aquellos casos en los que un juicio relativo es más importante que la estimación de magnitudes, basta con una aproximación cualitativa, siendo especialmente adecuados los SIG´s. cuando se requieren resultados cuantitativos, los SIG´s pueden emplearse en combinación con otros modelos permitiendo la contabilización de estos procesos, tanto a escala de parcela como para grandes cuencas (Almorox *et al.,* 1994).

Las plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta que permiten hacer más factible el manejo, almacenamiento y procesamiento de datos para el análisis de dicho proceso.

Desde nuestro punto de vista la erosión no tan sólo tiene origen físico-natural, si no también antrópico en donde los procesos erosivos son determinantes para la recuperación o pérdida del suelo, ya que los agentes físicos no repercutirían en la degradación del suelo, si el hombre no cambiara la vegetación nativa, debido a que funciona como capa protectora la cual disminuye la fuerza de las gotas de la lluvia, a su vez también asume el papel de barrera orográfica que ayuda al decremento de la velocidad del viento, por lo que un origen acompaña al otro. Así mismo, el problema no sería relevante si no afectara al ser humano, es decir, que el problema se ve como tal sólo cuando tiene consecuencias importantes para el hombre, y en este caso en la Cuenca del Río Lerma, dentro del Estado de México tiene serios problemas en este sentido debido a que el suelo es utilizado para fines agrícolas principalmente. Encontrando en común que tanto la erosión como la degradación del suelo con llevan al desprendimiento físico, transporte y deposición de partículas de suelo. El desprendimiento es la dislocación de partículas de suelo de la masa misma de suelo por agentes erosivos como el viento y el agua. El transporte es el desplazamiento de sedimentos desde el lugar de origen.

Con tal investigación se pretendió estimar el riesgo del proceso de degradación del suelo y determinar áreas prioritarias para la conservación de suelos, en los cursos (alto, medio y bajo) que integran la cuenca del Río Lerma en el Estado de México, mediante la aplicación del modelo de riesgo de degradación del suelo, y la relación de factores ambientales y antropogénicos en los cursos del río Lerma, en el Estado de México.

2. Antecedentes

El uso de SIG facilita no solamente el cálculo de la tasa de erosión potencial, sino que también permite geográficamente localizar las áreas más afectadas. Esta información, en su turno, permite la jerarquización de las acciones de conservación de tal forma que los programas de control de la erosión en una cuenca hidrográfica son más eficientes y generan resultados visibles a corto plazo (Montes *et al.* (2001). La utilización de este tipo de técnicas, nos ofrece la posibilidad de emplear múltiples y potentes herramientas de análisis espaciales, capaces de manipular y cotejar importantes volúmenes de información, al mismo tiempo que nos proporcionan una serie de posibilidades gráficas y alfanuméricas de sumo interés.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el mundo datan de las últimas dos décadas, sin embargo su aplicación ha sido inmediata, encontrándose aplicaciones a nivel mundial en casi todos las ramas económicas y sociales. En el manejo de los recursos naturales existen aplicaciones muy variadas y en casi todos los ámbitos. Uribe (2003) menciona a Berry (1983), quien aplicó un SIG en el modelado de una cuenca hidrográfica; Legis (1983) analizó la aplicación de los SIG en la evaluación de tierras y cálculo de la erosión en Kissi Kenya; Wilson (1989), aplico la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) a través de un SIG, para el cálculo de la erosión de tierras dedicadas a la

agricultura, en la cuenca del lago Simcoe-Couchiching para el periodo 1800-1981, reconociendo que las USLE es un buen estimador de la erosión; encontrando además que las pérdidas de suelo han pasado por una tasa de alto a bajo y nuevamente a alto en los pasados 130 años. Y Cruz (1990), aplicó los SIG en el cálculo de la erosión usando la USLE en Filipinas estimando para 65 000 ha., la pérdida de suelo a través del uso de celdas de 10 ha., presentó mapas de capacidad de suelo para la cuenca.

Almorox *et al.* (1996) mencionan que los métodos de evaluación indirecta están asociados a modelos que son representaciones simplificadas de la realidad, entre estos podemos distinguir modelos estadísticos, modelos físicos y modelos paramétricos.

Se han aplicado metodologías, para cartografiar y predecir el riesgo potencial de la erosión, en México, se han empleado técnicas para cuantificar la pérdida del suelo son: el Método de clavos y rondanas, Método de las corcholatas, Transecto en cárcavas, Lotes de escurrimiento, Modelos hídricos, Captura de sedimentos y Métodos cartográficos. La mayor parte de los conocimientos actuales sobre los mecanismos de erosión edáfica y sus tasas correspondientes, se basan en los trabajos del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), que fue establecido en la década de los años treinta, para combatir las graves pérdidas de suelo que ocurrían en el piedemonte del Sudeste y en las Grandes Planicies de Estados Unidos. El Enfoque del SCS siempre ha sido pragmático, y sus predicciones en cuanto a tasas de erosión se han concentrado en torno al desarrollo y extensión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Kirkby y Mongán, 1980).

La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE) fue desarrollado como actualización al USLE, a final de los 80. La necesidad de una actualización de USLE se debió a la exigencia de los usuarios quienes reclamaban más flexibilidad en modelar la erosión para las nuevas condiciones. RUSLE permite la predicción de la erosión, a través de modelos de la erosión, es ampliamente utilizada por las agencias estatales alrededor del mundo para determinar y para inventariar la erosión y asistir el desarrollo del orden público. Los consultores privados utilizan RUSLE para seleccionar planes del control de la erosión para asegurar la protección del medio ambiente.

RUSLE ha sido adoptado por el NRCS (Conservación de los recursos Naturales) como la herramienta estándar para la predicción de la erosión en tierras disturbadas. Las exactitudes de los resultados siguen siendo importantes, pero la complejidad de la ciencia requerida contempla resultados para una cierta situación peculiar (Yoder *et al.,* 2005).

En Uruguay y la región sur de la cuenca del Río Plata, Clérici y García (2001), se llevó a cabo un estudio empleando ambos modelos USLE y RUSLE, para estimar la tasa de erosión, la principal ventaja de los modelos de simulación es poder realizar las estimaciones de la tasa de erosión que ocurriría con un determinada uso y manejo del suelo, o variantes tecnológicas de un mismo uso (diferentes manejos).

El modelo RUSLE ha sido integrado a un Sistema de Información Geográfica (SIG), para ser manejado en formato ráster, para con ello obtener mapas de las diferentes variables y con ello un mapa final de las condiciones del factor erosión, Lorito *et al.* (2006) empleo ese sistema en su estudio *Introduction of GIS-based RUSLE model for land planning and enviromental management in three different Italian ecosystems* donde, a través de un modelado en 3D, es fácil analizar el comportamiento de la erosión y evaluarla de manera cuantitativa, determinando áreas de afectación en diferentes suelos de Italia.

Con base en Batjes (1996), Antonio y Treviño (2008) mencionan que en España, "el riesgo de la erosión hídrica fue modelado considerando las siguientes variables: erosividad del agua, topografía, erodabilidad y el uso del suelo", buscando tratar de explicar las causas y alternativas para evitar la degradación del suelo. Así mismo se sustenta en Kok (1995), para decir que la degradación del suelo es consecuencia de las

prácticas y el manejo que se hace de él, y además es un proceso dinámico que induce cambios en el ecosistema (ya sea agrícola, pradera o bosque), alterando su balance y reduciendo su productividad potencial.

Honorato *et al.* (2001) mencionan que para la estimación de la erosión se han desarrollado modelos cualitativos y cuantitativos; entre los primeros, destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad de la lluvia, suelo, vegetación, topografía). Los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y pueden tener una evaluación directa o indirecta. La evaluación directa se desarrolla en terreno, por medición en parcelas de erosión o por la medición de variables, tales como sedimentos en el agua y los simuladores de lluvia, cuyos datos son extrapolados a zonas homogéneas.

Fultón (1992) citado por Moreno (1998), generó una interfase entre la USLE y un SIG para el cálculo regional de la pérdida de suelo, puntualizando que debido a su facilidad para realizar sobreprosiciones de mapas con los diferentes valores de los factores de la USLE, obteniendo los valores de LS de un modelo digital de elevación (MDE), es posible modelar en el uso del suelo y generar rápidamente estudios de diverso nivel de jerarquización, además de tener potencial para estudios de degradación en una escala global.

Ramos (2001) llevo a cabo un estudio referente al modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión, con el objetivo de desarrollar una metodología operativa para la cartografía de riesgos geomorfológicos y la estimación de la tasa de erosión de suelos a partir de los Sistemas de Información Geográfica.

Según las estimaciones de Flores (1978), en la Conferencia de las Naciones Unidad sobre Degradación (UNED), el 19% de la superficie de la tierra está amenazada por los procesos de degradación. El gran incremento de la población a nivel mundial es los últimos años y el uso inadecuado de los recursos naturales como agua, suelo, flora y fauna ponen en riesgo a la humanidad. García y Dorronsoro (2007) mencionan que el proyecto internacional "Global Assessment of Soil Degradation" (GLASOD), 1991, puso de manifiesto el grave estado de degradación en que se encuentran los suelos en todo el mundo, la cual se ilustra en el mapa mundial se degradación.

3. Materiales, datos y métodos

3.1. El caso de estudio

Delimitación espacial

La cuenca se localiza en la porción oeste del Estado de México que rodea al Distrito Federal entre los 19° 05' y 20° 05' de latitud norte y los 99° 25' y 100° 15' de longitud oeste. Presenta una forma alargada irregular con orientación noroeste-sureste, con una longitud de 133 Km., aproximadamente, la limitan las cuencas del Río Pánuco, del Balsas y la Cuenca del Valle de México, que junto con el Lerma drenan el agua del estado de México. La elevación sobre el nivel del mar en el nacimiento es de 2,570 metros y en la salida del Estado es de 2,360 m.s.n.m.

Los límites físicos de la cuenca son: al este, limita con la Sierra de las Cruces; al Noreste con la Sierra de Monte Alto, que marca los límites con la cuenca del Río Pánuco. Al norte y noreste el límite es la Sierra de San Andrés donde es notable el alineamiento que presenta desde la cercanía de Acambay hasta los límites con el Estado de Querétaro. Al suroeste su límite es el nevado de Toluca con 4680 msnm (Gobierno del Estado de México, 2000).

Delimitación temporal

El análisis está enfocado prácticamente para el año 2000, debido a que las imágenes de los sensores *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper* (ETM+), correspondían a esta época, así mismo la cartografía proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y del Inventario Nacional Forestal. Así mismo el recorrido por campo fue en época seca por lo que se seleccionó el mes de febrero para la revisión de ciertos sitios determinados con presencia de degradación y validar el modelo.

3.2. Plataformas de trabajo y cartografía utilizada

Las plataformas de trabajo fueron: Auto CAD MAP I, Arc View 3.2 y 3.3 (ESRI, 2000), Surfer 8.0, ILWIS 3.0 (ITC, 2002), Idrisi Andes (Clark Labs, 2005) y Kilimanjaro y Microsoft Office Excel 2003.

En cuanto a coberturas digítales, se manejaron cuatro imágenes del satélite *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper* (ETM+); con path y row correspondientes a 027/046, 027/047, 026/046 y 026/047.

Las imágenes registran los siguientes parámetros: Datum de referencia WGS 84, elipsoide de referencia WGS84, tamaño de celda 30 m. (para el caso de las bandas 3 y 4), Proyección UTM (Universal Transversa Mercator) Zona 14 UTM.

Las cartas empleadas son las topográficas en formato vectorial, escala 1:50,000 (INEGI), con año de edición entre 1996-1998, de las cartas se requieren las curvas de nivel (equidistancia entre curvas a cada 20 metros) y ríos intermitentes y perennes principalmente.

Mediante la página Web de INEGI: *http: //mapserver.inegi.gob.mx/geografia/,* se obtuvo la información de niveles de bienestar económicos, para el año 2000.

Así mismo cartografía digital de CONABIO, 2000, de donde se extrajo el tipo de textura y de suelo.

Del Inventario Nacional Forestal (2000) se manejó la cartografía digital en formato vector de Uso de Suelo.

3.3. Técnicas de análisis

Se utilizó el Modelo de Riesgo de Degradación de Suelo de Antonio y Treviño (2008), el cual se enfoca al análisis multivariado debido a que aplica criterios y pesos de las variables, tal como lo muestra la Tabla 1. Para la determinación del modelo, se aplica la siguiente fórmula:

$$Modelo = (Variable\ 1 * peso\ 1) + (variable\ 2 * peso\ 2) + (variable\ ...\ n * peso\ ...n)$$

Para ello se requiere del comando *image calculator – Map Algebra and logia modeler,* en idrisi Andes. Una vez obtenida la imagen de riesgo de degradación del suelo del área de estudio, se reclasifica en tres rangos (por *natural breaks*), y con ello se obtiene el mayor valor en el modelo corresponde a mayor riesgo de degradación, de este modo se destacan las zonas donde es prioritario desarrollar actividades de conservación y restauración del suelo, el análisis se hará por cursos alto, medio y bajo, que integran a la Cuenca del Río Lerma, para dar a conocer la situación del suelo con respecto al grado de afectación del proceso erosivo.

4.1. Modelo digital de Elevación (MDE) y Pendientes

El Modelo digital de elevación se realizo con 17 cartas topográficas (sistema de proyección UTM NAD27), cuyas coordenadas extremas fueron:

Tabla 5-10. Coordenadas extremas del área de estudio.

	X	Y
Mínima	361596	2103093.5
Máxima	474666	2225883.5

Estos límites fueron usados para recortar las otras variables de información, con el fin de tener el mismo número de columnas y renglones (3769,4093), y con ello analizar la información en formato ráster. Por lo que cada mapa tendrá una matriz de 3769 x 4093 píxeles a una resolución de 30 metros.

La altitud mínima es de 2340 msnm., y la máxima de 4620 msnm. Del MDE se obtuvo el mapa de pendientes en porcentaje (%), el cual fue reclasificado en 4 rangos se le asigno el riesgo de degradación. La cuenca tiene pendientes mayores al 30%, en las principales elevaciones, y en las partes bajas donde se localizan la mayoría de los asentamientos humanos presenta pendientes suaves (véase Figura 5-32).

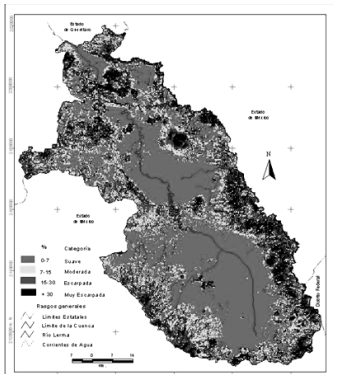


Figura 5-32. Pendiente en la cuenca del río Lerma

Densidad de Drenaje

El mapa de salida presenta una superficie continúa de valores de densidades de drenaje, teniendo un valor bajo a 0 Km/km² y alto a 5.552 Km/km², reclasificando al mapa en 3 rangos conforme a *natural breaks*. Conforme a esa clasificación se tiene que en la parte Este de la cuenca y en una porción de la parte NW presentan una densidad alta, en la parte SE y NW, densidad media, en las parte baja de la cuenca la densidad es baja (Figura 5-33).

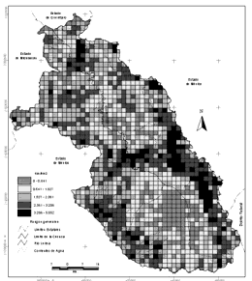


Figura 5-33. Densidad de drenaje en la cuenca del río Lerma

Textura

Los polígonos del tipo de textura se cambiaron de formato vector a ráster, y se manejan 3 tipos de textura; fina, media y gruesa, a dichas texturas se les asigno el valor del riesgo de degradación (Figura 5-34).

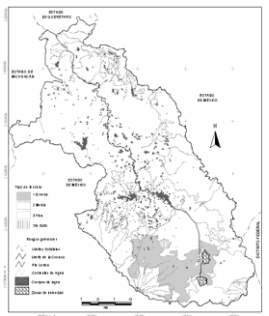


Figura 5-34. Textura del suelo en la cuenca del río Lerma

Fuente: BIOTICA 4.0. CONABIO, 2000.

Uso de Suelo

En la superficie a trabajar se registran los siguientes usos de suelo:: Agricultura de riego (1), Agricultura de temporal (2), Plantaciones forestales (3), Bosque de pino (4), Bosque de pino encino (5), Bosque de encino (6), Bosque mesófilo de montaña (7), Matorral subtropical (8), Matorral crasicaule (11), Pastizal inducido (13), Popal-tular (14), Vegetación halófila y gipsófila (15), Área sin vegetación aparente (16), Asentamientos humanos (17), Cuerpos de agua (18). Debido a los requerimientos del modelo utilizado en la presente investigación, los tipos de vegetación fueron agrupados de acuerdo al modelo, como lo indica en la Tabla 5-10 (Figura 5-35).

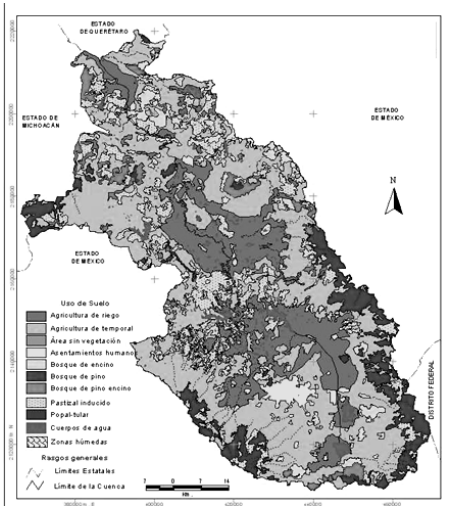


Figura 5-35. Uso de suelo en la cuenca del río Lerma

Fuente: Inventario Nacional Forestal, 2000.

Tabla 5-10. Modelo de riesgo de degradación del suelo

Clasificación de las variables, peso y riesgo de degradación asignados

NDVI como indicador de cobertura vegetal	-999 a -0.2 agua	0 No relacionado	1.4
	-0.2 a -0.125 suelo desnudo	5 Extremo	
	-0.125 a -0.050	4 Alto	
	-0.050 a 0.050	3 Medio	
	0.050 a 0.5	2 Bajo	
	0.5 a 99 vegetación densa	1 Nulo	
Densidadde Drenaje	Sin valor	0 No relacionado	1.4
	3.169-5.555 Km./km^2	5 Extremo	
	2.317-3.169 Km./km^2	4 Alto	
	1.439-2.317 Km./km^2	3 Medio	
	0.479-1.439 Km./km^2	2 Bajo	
	0.002-0.479 Km./km^2	1 Nulo	
Precipitación media anual	400-661.576 mm.- Muy escasa	4 Alto	1.3
	661.576-951.622	3 Medio	
	951.622-1241.668 mm.	1 Nulo	
	>1241.668 mm.- Abundante	2 Bajo	
Uso de suelo	Agricultura (riego y temporal), área sin vegetación aparente.	5. Extremo	1.2
	Pastizal inducido y vegetación halófila y gipsófila	4. Alto	
	Plantaciones forestales	3. Medio	
	Matorral subtropical y crasicaule	2. Bajo	
	Bosque (de pino, pino encino, encino y mesófilo de montaña). Popal-tular y cuerpos de agua.	1. Nulo	
	Asentamientos humanos	0. No relacionado	
Profundidad de suelo	0-11 cm.	5 Extremo	1.1
	11-21 cm.	4 Alto	

	21-41 cm.	3 Medio	
	+ 41 cm.	2 Bajo	
Pendiente	De 0 a 7% suave	1. Nulo	1.0
	De 7 – 15% moderada	2. Bajo	
	De 15 -30 % escarpada	4. Alto	
	Más de 30% muy escarpada	5. Extremo	
Textura del suelo	0. Sin dato	0. No relacionado	0.9
	1 Gruesa	1. Nulo	
	2 Media	2. Bajo	
	3 Fina	3. Medio	
Área de influencia de las localidades	0-450 has.	5 Extremo	0.8
	450-900 has.	4 Alto	
	900-2000 has.	3 Medio	
	+ 2000 has.	2 Bajo	
Población de las Localidades	+ 15000 hab.	4 Alto	0.7
	10000-15000 hab.	3 Medio	
	5000-10000 hab.	2 bajo	
	0-5000 hab.	1Nulo	
	2 Bajo	5 Extremo	
Niveles de bienestar Económico	3 Regular	4 Alto	0.5
	5 Medio	3 Medio	
	6 Alto	2 Bajo	
	7 Muy alto	1 Nulo	

Fuente: Modificado de Antonio y Treviño (2005) por De La Cruz (2008).

Precipitación

Se manejaron 397 estaciones meteorológicas, en el área de estudio. El mapa, muestra que la precipitación media anual mínima es de 371.53 mm., y la máxima de 1821.76 mm. Para el caso de las partes altas de la cuenca, muestran valores arriba de los 1000 mm., y en las partes bajas la precipitación observada es de menos de 800 mm (Figura 5-36).

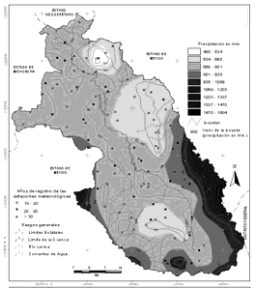


Figura 5-36. Precipitación en la cuenca del río Lerma

Profundidad del suelo

En la superficie por analizar se tienen diferentes tipos de suelo, por ello su nivel de profundidad es distinto, por ello se determino hacer 4 rangos, de acuerdo al grado afectación de la degradación (Figura 5-37).

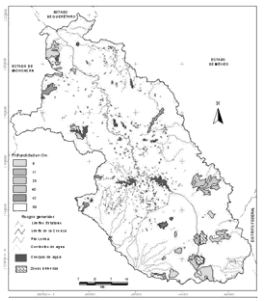


Figura 5-37. Profundidad del suelo en la cuenca del río Lerma.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Las fechas de registro de las imágenes son:

Tabla 5-11. Fecha de registro de las imágenes

Imágenes	Fecha de registro
027/047	10-Noviembre-2000
026/047	21-Marzo-2000
027/046	26-Noviembre-2000
026/046	21-Marzo-2000

El mapa final muestra valores que van de -1 a 1, la concentración de colores sobre la imagen van de 0.3 hasta 0.63, lo cual indica que nuestra área presenta vegetación, sin embargo para el caso de estudio se requiere reclasificar la imagen en 6 rangos, y asignarles su riesgo de degradación conforme al estado de la cobertura vegetal, se tendrá un riesgo de degradación menor en las zonas donde se registren valores altos del NDVI como es el caso de las zonas forestales y un riesgo alto aquellas en donde la vegetación sea nula (Figura 5-38).

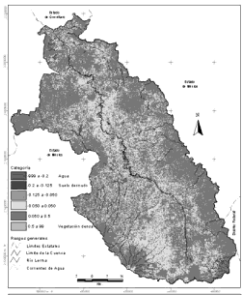


Figura 5-38. Índice de vegetación de diferencia normalizada en la cuenca del río Lerma

Fuente: Procesamiento de imagen Landsat 2000.

Población y Área de Influencia de las Localidades

Para la creación del mapa de población se registran de 4 hasta 549,004 habitantes en la superficie, dándose una alta concentración de población en la capital de Toluca y sus alrededores (por arriba de los 200,000 hab.), a diferencia del resto de la zona en donde existe menor población (inferior a los 50 000 habitantes), estos datos son con respectos a la interpolación de valores de población total y al mapa de superficies continuas. Se llevo a cabo la reclasificación, así mismo se le asigno su valor de riesgo erosivo (Figura 5-39).

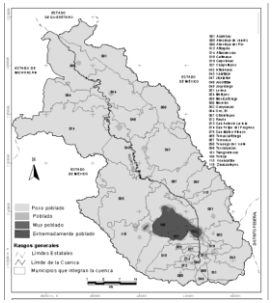


Figura 5-39. Nivel de bienestar en los municipios de la cuenca del río Lerma
Fuente: Censo de población y vivienda, 2000.

Con respecto al área de influencia de las localidades, se obtuvo a partir de la localización geográfica de las localidades, una vez obtenido el mapa, se reclasificó en 4 clases, con su respectivo riesgo de degradación, lo que permite conocer el nivel de influencia que se tiene a nivel localidad, registrando un valor alto con respecto al riesgo de degradación en la parte central de la Cuenca (Figura 5-40).

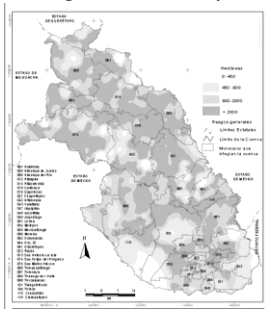


Figura 5-40. Área de influencia de las localidades de la Cuenca del río Lerma
Fuente: Catálogo de integración regional, 2000.

Niveles de Bienestar Económico

Una vez obtenido el mapa en sus diferentes niveles de bienestar, se reclasificaron en 5 rangos, ya que la cuenca incluye 32 municipios, por lo que era imposible solo quedarse con 3 rangos, así mismo se determino su grado erosivo, teniendo con ello que los municipios de Toluca y Metepec, tienen un alto grado de Bienestar económico, a diferencia de San Felipe del Progreso. Gran parte de los municipios que integran el curso medio de la cuenca se encuentran en un nivel de bienestar económico medio (véase Figura 5-41).

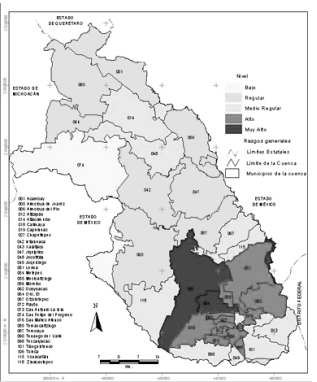


Figura 5-41. Nivel de bienestar de los municipios de la Cuenca del río Lerma.

Modelo de Riesgo de Degradación del Suelo

El método de Antonio y Treviño (2008) permite determinar el grado de degradación del suelo, sin embargo para el caso de la Cuenca del Río Lerma (Estado de México), se modificó el valor y la jerarquización de las variables.

Una vez obtenidas todas las imágenes de las variables con sus respectivos atributos, y en el mismo formato, se estandarizaron en un mismo sistema de proyección cambiando de UTM NAD 27 a UTM WGS84, teniendo una matriz de 4137 x 4426 píxeles, a una resolución de 30 m., con coordenadas extremas que van de:

Tabla 5-12. Coordenadas extremas de la malla ráster utilizada

	X	Y
Mínima	**355608.75**	**2103428.25**
Máxima	**473513.25**	**2229569.25**

Una vez obtenidas las variables se aplicó la fórmula del modelo la cual consiste en multiplicar cada variable por su peso asignado y sumar las imágenes. La imagen resultada presenta valores que van de 12.6 a 41.5. Esta imagen se clasificó en 3 rangos, quedando de la siguiente forma: ID uno para los valores comprendidos entre 12.60 y 21.63, ID dos para los valores comprendidos entre 21.63 y 30.66 e ID tres para aquellos valores entre 30.66 y 41.50.

Una vez obtenida la imagen reclasificada (véase figura 5-42), se obtuvieron superficies de los tres tipos de riesgos que afectan a cada curso y así mismo se determino el porcentaje, tal como lo muestra la Tabla 5-11, la cual indica que el curso medio tiene un alto porcentaje de peligro en cuestiones de degradación de riesgo alto afectando el 31% de su superficie, seguido del curso bajo con el 30%. De acuerdo al Modelo de degradación del Suelo de Antonio y Treviño (2008) indica que en el Curso alto, los problemas de degradación son menores en comparación son los otros cursos.

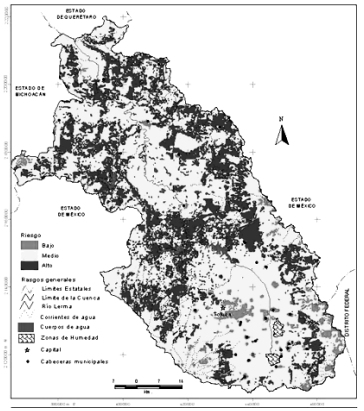


Figura 5-42. Modelo de Riesgo de Degradación del Suelo de la Cuenca del Río Lerma, Estado de México

Tabla 5-11. Análisis comparativo del modelo de degradación del suelo en los cursos de la Cuenca del Río Lerma

Curso	**Superficie total del curso en km²**	**Superficie y porcentaje de degradación**					
		Riesgo Bajo		Riesgo Medio		Riesgo Alto	
		Superficie en km²	%	Superficie en km²	%	Superficie en km²	%
Alto	2,117.18	121.323	6	1,734.069	82	261.791	12
Medio	2,406.74	15.809	1	1,634.849	68	156.081	31
Bajo	806.32	5.280	1	556.031	69	245.009	30
Superficie total de la cuenca en km²					5,330.24		

Basado en el Modelo de riesgo de degradación de suelo.

Para determinar como de distribuye el mayor riesgo de degradación en los tres cursos que integran a la Cuenca del Río Lerma, en la Tabla 5-12 se muestra el número de localidades totales por municipio, así como las que se encuentran en alto riesgo erosivo. Los municipios de Acambay y Temascalcingo, para el caso del curso bajo presentan mayor número de comunidades afectadas por la degradación. San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez y Jiquipilco destacan en el curso medio por ser los municipios con mayor número de localidades en alto riesgo erosivo. Y finalmente en el curso alto, los municipios de Temoaya, Lerma y Xonacatlán, son los que presentan mayor número de localidades afectadas por la degradación del suelo. A nivel de cursos el curso medio, es el que presenta mayor número de localidades con alto riesgo de degradación del suelo, seguido por el curso alto.

Otro aspecto importante está enfocado al análisis en función de las coberturas de uso de suelo, principalmente agrícola y forestal, para con ello determinar áreas prioritarias para su conservación. Por lo que en la Tabla 5-13 se muestra la superficie que ocupa cada cobertura. Analizando tanto la Tabla 5-12 y 5-13 se determina que en el curso bajo los municipios de Temascalcingo (200 km²) y Acambay (150.5 km²) presenta un área agrícola considerable en comparación con los otros municipios del curso. En el curso medio, los municipios que registran mayor superficie agrícola son San Felipe del Progreso (372.3 km²), Almoloya de Juárez (289.7 km²) e Ixtlahuaca (268.8 km²), para el caso del curso alto Toluca (261.6 km²), Lerma (139.3 km²) y Temoaya (132.4 km²) destacan por tener un área alta para uso agrícola. A nivel de cursos, el medio registra 1590.2 km² la mayor área agrícola, seguido del curso alto 1369.4 km² y finalmente el bajo 456.5 km². La tabla 5-13 demuestra que en aquellos municipios cuyas superficies agrícolas abarcan grandes extensiones son los que registran serios problemas de degradación en el suelo, tal es el caso de Acambay, Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Lerma y Temoaya principalmente.

Tabla 5-12. Número de localidades por municipio en alto grado de degradación

Bajo	Acambay	52	32
	Atlacomulco	19	6
	El Oro	38	14
	San Felipe del Progreso	1	-
	Temascalcingo	64	16
Total		174	68
Medio	Acambay	4	1
	Almoloya de Juárez	87	31
	Atlacomulco	40	7
	Ixtlahuaca	58	9
	Jiquipilco	46	21
	Jocotitlán	49	12
	Morelos	35	14
	El Oro	5	3
	San Felipe del Progreso	130	51
	Temoaya	1	1
	Toluca	6	-
	Zinacantepec	11	5
Total		472	155
Alto	Almoloya del Río	6	0
	Atizapán	5	-
	Calimaya	23	1
	Capulhuac	15	-
	Chapultepec	7	-
	Xalatlaco	14	3
	Jiquipilco	11	6
	Joquicingo	4	-
	Lerma	66	19
	Metepec	16	1
	Mexicaltzingo	5	-
	Ocoyoacac	31	5
	Otzolotepec	36	5
	Rayón	8	-
	San Antonio la Isla	3	-
	San Mateo Atenco	4	-
	Temoaya	57	25
	Tenango del Valle	19	2
	Texcalyacac	2	-
	Tianguistenco	36	2
	Toluca	89	4
	Xonacatlán	29	13
	Zinacantepec	36	1
Total		522	87

Tabla 5-13. Superficie afectada por la degradación a nivel de cursos

Cursos	Superficie en km^2	Superficie en afectada en km^2	%	Superficie en km^2	Superficie afectada en km^2	%
Alto	455.5	181.7	40	183.1	9.6	5
Medio	1710.0	607.3	36	293.4	12.0	4
Bajo	1392.3	238.3	17	438.8	1.4	0.3

Basado en el Modelo de riesgo de degradación de suelo y el uso de suelo del área de estudio.

En el municipio de Jiquipilco la degradación afecta en gran medida al suelo ya que las cárcavas han ido creciendo y con ello haciendo que éste se vuelva cada vez más inestable. Un caso alarmante es en la parte norte del municipio de Temoaya en donde una de las cárcavas ocupa alrededor de 15 metros de ancho, cuyo uso principal es como basurero. Viajando de Jiquipilco rumbo a la cabecera municipal de Temoaya se encuentra otra cárcava de menor tamaño, con la misma dirección que la anterior pero no por ello de menor importancia, ya que aproximadamente a 10 metros de la cabecera del barranco se localizan dos escuelas, por lo que es necesario actuar ante ese problema de lo contrario ocasionaría que ambas escuelas se colapsaran si la cárcava sigue creciendo a los lados. La presencia de cárcavas, se debe en gran parte a que no se tiene un control de los sitios destinados al ganado, teniéndolo suelto por toda el área provocando su aflojamiento por el pisoteo, lo que permite la formación de caminos y arroyuelos, muchos de los cuales se transforman en cárcavas que acarrean gran cantidad de sedimentos de las partes altas a las bajas. Así mismo, la gente ocupa cada vez más terrenos para la agricultura pendientes muy pronunciadas; tal es el caso de comunidades de Xonacatlán, Lerma y Almoloya de Juárez, por lo que cuando ocurren lluvias torrenciales, el suelo es acarreado pendiente abajo dejando arroyuelos que con el paso del tiempo aumentan su volumen.

5. Discusión y valoración de hallazgos

Se procedió a la verificación de los sitios con presencia de degradación, debido a que el área es extensa aproximadamente de 5330.113 km^2 solo se seleccionaron algunos sitios; se seleccionaron aquellos polígonos con área mayor a 10 km^2 que registran degradación alta, otro punto de importancia fue la accesibilidad, es decir que se localizaran sobre o cerca de las vías de comunicación, por lo que se trazo una ruta de trabajo, la cual consideraba aquellas área de degradación alta principalmente, de los municipios de Zinacantepec, Almoloya del Juárez, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Temoaya, Otzolotepec, Xonacatlán, y Lerma.

En campo se identificaron 42 puntos de control de los polígonos (de degradación alta), se tomaron fotografías referentes a la degradación del suelo. Una vez ubicados espacialmente los puntos se rasterizaron, y se determinó el grado de error con el comando *ERRMAT*, en Idrisi Andes; el cual permite determinar el error del resultado obtenido al aplicar el modelo con respecto a los puntos de control tomados en campo. Obteniendo que el modelo grado de confiabilidad de 0.8512.

6. Conclusiones

Se aplicó el Modelo de Riesgo de Degradación del Suelo de Antonio y Treviño (2008) en la Cuenca del Río Lerma, utilizando variables establecidas por el modelo y otras fueron propuestas en función de la información o cartografía con la que se disponía, así mismo los rangos y pesos de riesgo se modificaron en función de la bibliografía analizada.

Considerando el grado de error obtenido a partir de los puntos de muestreo tomados en campo (en donde se observaron procesos de degradación alta, principalmente cárcavas), se considera el modelo es adecuado para predecir el riesgo de degradación, sin embargo su aplicación estará en función de la disponibilidad de información, así mismo de los objetivos, necesidades de cada estudio y del nivel de detalle deseado, ya que permite determinar zonas prioritarias para la conservación del suelo, que es uno de los objetivos de esta investigación.

Los municipios o zonas prioritarias, que requieren especial atención en cuanto a estrategias de manejo y conservación del suelo en el Curso Bajo son los municipios de Temascalcingo y Acambay, en el curso medio son San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez y Jiquipilco y para el curso alto son Temoaya, Lerma y Xonacatlán.

Con lo anterior se comprueba la hipótesis que "Los suelos de uso forestal en la Cuenca del Río Lerma, en el Estado de México, presentan menor grado de degradación que aquellos suelos empleados para uso agrícola", debido a que la cobertura forestal juega el papel de capa protectora del suelo, lo que favorece que no se erosione tan fácilmente a causa de la lluvia, viento o actividades antrópicas como ganadería y agricultura principalmente.

Con la información derivada del modelo, la descripción y análisis de la información se recomiendan actividades tendientes a recuperar el área de la cuenca del Río Lerma, que permitan integrar el manejo ecológico del área y contribuir al desarrollo social y económico sustentable del área. Minimizar la erosión utilizando muros naturales de retención de sedimentos en el propio lugar.

Para los sitios con presencia de cárcavas, se recomienda pequeñas presas filtrantes con rocas y hojarasca. Concientizar a la gente e informarla sobre el problema y sus consecuencias, así como hacerlas participes en las técnicas de conservación del suelo.

Los resultados del modelo, permite indicar que el uso de variables tanto físicas o naturales como antrópicas, son determinantes para acercarnos a la realidad y dar a conocer el estado en que se encuentra el suelo, así mismo el empleo de modelos mediante los Sistemas de Información Geográfica son herramientas poderosas para la toma de decisiones de manejo y conservación del suelo, las cuales permiten obtener de manera rápida, sencilla y precisa mapas y análisis espaciales.

Referencias bibliográficas

Almorox, J., De Antonio R., Saa A., Díaz M., Gascó J. 1994: Métodos de estimación de la erosión hídrica. España. Editorial Agrícola Española, S.A.

Antonio, X. 2005: Modelos Geoespaciales para el mapeo de los Recursos Naturales de la Subcuenca del Río Pilón. Tesis para adquirir el grado en Doctor en Ciencias en Manejo de los Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León.Universidad Autónoma de Nuevo León.

Antonio, X. y Treviño, E. (2008) Modelo de Riesgo de degradación del suelo en la cuenca del río Pilón, noreste de México. Coordinadores: Balderas, M., Monroy, J., Carreto, F. Colección II UAEM. ISBN 978-970-757-092-4

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 1994: EROSIÓN. Documento 5928. Año de consulta 13/11/2007. Disponible en: http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf2/2005/noviembre/pdf/

Clérici C. y García P.F. 2001: Aplicaciones del Modelo Usle/Rusle para Estimar Pérdidas de Suelo por Erosión en Uruguay y la Región Sur de la Cuenca del Río de la Plata. Agrociencia. Volumen V. No. 1. Pág. 92-103.

De La Cruz, M. 2008: Evaluación del grado de erosión en la Cuenca del Río Lerma, Estado de México, mediante la aplicación del método estado de la erosión del suelo (ses) y del modelo de riesgo de degradación del suelo. Tesis para optar por el título de Licenciado en Geografía y Ordenación del Territorio. Facultad de Geografía, Toluca, México. Universidad Autónoma del Estado de México.

Chuvieco, E. 1996: Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid, España. Ediciones RIALP, S.A. 3ra. Edición revisada.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2001: La población de México en el nuevo siglo. México, D.F.

CONABIO. 2000: Información digital edafológica (textura y tipo de suelo principalmente), escala 1:250000. Consejo Nacional de la Biodiversidad a través de un programa digital llamado BIOTICA 4.0.

Flores R. 1978: Aspectos políticos de la Conferencia de Naciones Unidad sobre Desertificación. En la"Desertificación en México", S.L.P., México. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luís Potosí.

García I. y Dorronsoro C., 2007. Contaminación del Suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Consulta digital, en el 2007:

http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/recursos/

Honorato R., Bárrales L., Peña 1. y Barrera F. 2001. Ciencia e Investigación Agraria: Evaluación del Modelo Usle en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV Y IX Región de Chile. Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Gobierno del Estado de México. 2000. Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma. Tomo V Industrial. Facultad de Geografía, Toluca, México. UAEM..

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2000: Consulta digital. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2000: Regiones socioeconómicas de México. Consulta digita, 2007: http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2000: Información Digital vectorial de las curvas de nivel y red hidrográfica proveniente de la cartografía topográfica a escala 1:50000, en formato DXF. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, Aguascalientes, México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2000: Base de datos SIIGE (En línea) Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. FAO-UNESCO. Manual de clasificación de suelos (Modificado por INEGI, 1970).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2000: Catalogo de Integración Regional 2000 (En línea). Consulta digital, 2007.

http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad /iter/default.asp?c=9448&s=est

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2005: II Conteo de Población y Vivienda 2005. Resultados definitivos. Tabulados básicos.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005: Recursos Naturales. Coyoacán, México D.F.gaceta@ine.gob.mx

Instituto de Investigaciones Hídricas. 2002: RUSLE On line soil erosion assessment tool. Universidad Estatal de Michigan. Michigan, EEUU. Consulta digital, 2007: www.iwr.msu.edu/rusle/ - 6k

Inventario Nacional Forestal, 2000: Escala 1:250000. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Nacional de Ecología (INE), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

Kirkby M.J y Morgán R.P.C. 1984. Erosión de Suelos. Limusa. México.

Lorito S., Pavanelli D., Bigi A., Stanchi S. Y Vianello G. 2006: Introducción of GIS. Based RUSLE model for land planning and environmental management in three different Italian ecosystems. Italia.

Merino, L. 2004: Conservación o deterioro. Impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. Instituto Nacional de Ecología. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.

Montes, L., Domínguez C., Ventura R. 2001: Metodología Para La Estimación Del Riesgo De Erosión Hídrica En Cuencas Hidrográficas Utilizando Un Sig. Tesis de Maestría en Hidráulica. Facultad de Ingeniería-División del Postgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, C.U: Cerro de las Campanas, Querétaro, Qro.

Ortiz S. M., Anaya G.M., y Estrada W.J. 1994: Evaluación Cartográfica y Políticas de la degradación de la tierra. CP. CONAZA, AUCh.

Ramos, C. 2001: Modelamiento Ambiental Para Análisis De Susceptibilidad Erosiva En La Cuenca Media Y Alta Del Rio Cañete Y Determinación Del Mapa De Erosión (Sistema De Información Geográfica). Universidad Nacional Agraria La Molina

Roldan, A. y Trueba, D. 1978: Factores Ecológicos y Sociales de "La Desertificación en México". S.L.P. México. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luís Potosí.

SEDUE. 1986. Informe sobre el estado del medio ambiente en México. SEDUE, México, D.F.

Sivertun, A., Reinelt, E. y Castensson, R. 1988: A GIS methods to aid in non-point source critical area analysis. En: Journal of Geographical Information Systems. Vol. 2. Nº 4.

Sundar, S. S., Honda, K. y Murai, S. 1997: Watershed Prioritization For Soil Conservation Planning With Mos-1 Messr Data, Gis Applications And Socio-Economic Information A Case Study of Tinau Watershed, Nepal.

Uribe, M. 2003. "Evaluación de la degradación antropogénica del suelo utilizando Sistemas de Información Geográfica: caso cuenca Campo Uno, Cerro Grande". Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias área: Geomática. Coquimatlán, Colima.Universidad de Colima.

Yoder, Foster G. R., Weesies G. A.,Renar K. G., Mccool D. K. Y Lown J. B.2005: EVOLUTION OF THE RUSLE SOIL EROSION MODEL1. SAAESD. Southern Cooperativw Series Bulletin. Consulta digital, 2007: www3.bae.ncsu.edu/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/rusle-yoder-001016.html - 69k –

IDENTIFICACIÓN DE HÚMEDAD EN EL SUELO A TRAVES DE LA TELEDETECCIÓN PARA EL MEJOR MANEJO DE LA TIERRA: CASO ZONA FLORICOLA, ESTADO DE MÉXICO

Castro Villegas Juan Carlos1 Balderas Plata Miguel Angel, Hernandez Tellez Marivel

RESUMEN

En las últimas décadas, la percepción remota ha sido una herramienta que permite el análisis de procesos ambientales, físicos de la tierra y socioeconómicos de la población, capaz de cubrir grandes extensiones del territorio. Muchas han sido las ciencias que utilizan esta herramienta en pro de resolver diversas problemáticas específicas de cada una de sus áreas. La ciencia del suelo no ha sido la excepción, ha hecho uso de esta herramienta para abordar diversos procesos y problemáticas como lo es la erosión, la contaminación, la fertilidad, cambios de uso de suelo, entre otros. Esto ha sido posible gracias a que los sensores cuentan con diferente sensibilidad a las diversas bandas del espectro que pueden detectar diferentes componentes del ambiente. La humedad del suelo es una variable que puede ser analizada a través de este tipo de herramientas. Este parámetro del suelo resulta de gran importancia sobre todo para aquellas zonas donde el conocimiento de la humedad resulta fundamental para las actividades agrícola y florícola. La zona florística del Estado de México en las décadas recientes ha tomado gran relevancia, debido al aporte económico que representa para la población a nivel local, nacional e internacional, esto a su vez a originado la demanda de mayor superficie para el desarrollo de la actividad, por lo que resulta fundamental detectar los sitios que presentan las condiciones más favorables para su desarrollo y se optímese las zonas actuales con este uso y por otro lado se evite la apertura de nuevos zonas con baja aptitud y de esta manera reducir la degradación del suelo.

Palabras clave: Clasificación no supervisada, NDVI, Textura.

ASSESSMENT OF SOIL MOISTURE WITH REMOTE SENSING TO IMPROVE SOIL MANAGEMENT.

THE CASE: OF THE FLORICULTURAL REGION IN MEXICO STATE

ABSTRACT

Remote sensing has been a tool for the analysis of physical and socioeconomic processes, with the advantage of covering large areas of territory. Many sciences have used this tool towards solving some problems of each of their areas. Soil science has not been an exception and it has applied it in various processes such as erosion, pollution, fertility, among others. This is because the sensors have different bands that can detect different components of the environment, and everyone has different sensitivities to different spectral bands. Floristic area has recently been downgraded by the inexperience of the flower, and the new opening of new land, so this research tried to identify moisture in the soil to improve the management of land, avoiding opening new areas and thereby, reducing soil degradation.

Keywords: *Unsupervised classification, NDVI, Texture.*

---

[1]**Facultad de Geografía, Ciudad Universitaria. Ciudad Universitaria, S/N, Toluca, México. 1 gaia_1383@hotmail.com**

1. Introducción

La zona florícola es una de las más importantes en el Estado de México, ya que el 75% de la flor cultivada en la región es exportada a nivel internacional, mientras que el otro 25% es llevado a otros estados de la República o municipios de la entidad. Esta responsabilidad recae solo en 3 municipios (Tenancingo, Villa Guerrero, Coatepec Harinas), aunque últimamente se ha visto el incremento de estas zonas en las partes sur del municipio de Tenango del Valle, en los límites de los municipios antes mencionados. La saturación de la zona de invernaderos ha traído como consecuencia la tala inmoderada de zonas boscosas por lo que pone en riesgo la rápida degradación y continúa de los suelos. Por otro lado la falta de conocimientos por parte de los floricultores pone en mayor riesgo esto, ya que la mayoría opta por lugares cercanos a humedales esto por la facilidad y la accesible del riego para los cultivos, así mismo la falta de orientación por parte de especialistas para evitar este abandono de tierras, la deforestación y por lo tanto la degradación del suelo. La humedad ha sido una de tantas propiedades del suelo que se relaciona con la productividad de los cultivos, así mismo esta propiedad depende de otras para que sea retenida o sea infiltrada para la recarga de los mantos acuíferos, por lo que es importante ubicar aquellas zonas con características adecuadas para el buen rendimiento de los cultivos y aprovechar las capacidades del suelo, sin provocar su degradación lo menor posible.

La percepción remota se ha convertido en una gran herramienta para la solución de problemáticas dentro del territorio, esto por cubrir grandes extensiones de la superficie terrestre, por lo que se han convertido en algo muy útil en la apreciación de las características de cualquier zona. Existen diversos procesamientos de las imágenes de satélite los cuales nos dan resultados que van desde la obtención de los cambios de uso de suelo, las densidades vegetativas, hasta concepciones de mineralogía y contaminación en el suelo; en este contexto algunas de las propiedades físico-químicas de este han podido ser observadas e identificadas a través de los sensores remotos esto dependerá en muchas ocasiones del tipo de imagen y la resolución obtenida, así mismo ayuda a la toma de decisiones y a la posible conservación de los recursos naturales. Por lo que la teledetección es una herramienta accesible para detectar humedad en el suelo y así de esta manera evitar todas estas consecuencias posibles hacia el suelo y evitar la deforestación de la zona, ayudando a mejorar el aprovechamiento de los cultivos de una manera adecuadas así como ayudar a la conservación de los recursos naturales y ayudar al bienestar de la población.

2. La Teledetección y la Ciencia del Suelo

La teledetección es la recopilación de información relativa a un objeto de interés, llevado a cabo desde cierta distancia, sin tener ningún contacto real con él, lo que generalmente se detecta y se mide en diversas partes (bandas) del espectro electromagnético. La teledetección es una técnica prometedora para la ciencia del suelo ya que ayuda a detectar componentes físicos e hidrológicos, permitiendo medir y obtener estos datos del terreno en donde los obstáculos físicos son difíciles para su obtención de manera directa (Engman, 1995).

La información sobre el contenido de humedad en el suelo varía desde la superficie hasta altas profundidades, pero la mayor parte de esta se encuentra en la primera capa del suelo, la cual representa la interacción entre el suelo y la atmosfera y es la reguladora de los procesos de intercambio de la energía y la asignación del agua precipitada, la infiltrada, de escorrentía, de evaporación y de transpiración. Por otra parte la capa húmeda es la responsable de llevar a cabo el proceso de germinación de las semillas y posteriormente al crecimientos de las plantas y en definitiva el éxito o el fracaso de estas planta. Las características del suelo como lo son: la rugosidad, encostramiento, la pedregosidad, una buena estructura, así como la textura del suelo son factores que determinan el grado de humedad que se almacena en el suelo, permitiendo la fácil circulación del agua a través de los diferentes horizontes del suelo y/ o la saturación de los mismos. Otros factores secundarios que intervienen en este proceso son geográficos como: la pendiente, el clima, la vegetación, entre otros.

Existen diferentes técnicas para medir la humedad en el suelo, tanto pruebas de laboratorio, campo y por supuesto en gabinete, una de las herramientas en gabinete es a través de la percepción remota, siendo una de estas la más prometedora para identificar ésta y otras características físico-químicas del suelo y los procesos que se puedan realizar en él.

3. Materiales, datos y métodos

La metodología adoptada para esta investigación es a través del tratamiento de imágenes de satélite, esto con base a tres módulos de modelación. El primero a través de la obtención de firmas espectrales de cada una de las coberturas especialmente de la humedad contenida en el suelo, por medio de las diferentes bandas contenidas en el sensor, realizando una clasificación para obtener una imagen con la discriminación de las coberturas deseadas. El segundo modelo se realizó con base a un índice de vegetación y el primero modelo obtenido, con el fin de discriminar la vegetación que contenga humedad y sólo obtener aquellos suelos que tengan la capacidad de retener el agua en su interior y por ultimo con un módulo especifico para discriminar la humedad. Esto se hizo a través del *software IDRISI TAIGA* el cual es un paquete gratuito y de versión libre.

3.1. Zona Florícola del Estado de México

La zona florícola comprende los territorios de los municipios de Villa Guerrero, Coatepec Harinas y Tenancingo, aunque actualmente se está incorporando el municipio de Tenango del Valle, ya que los invernaderos están apareciendo en la zona sur de este municipio en los límites con el municipio de Tenancingo. Su extensión territorial es de 862,38 ha, entre las coordenadas extremas de 411098, 461486 de latitud Norte y 2074728, 2115740 de longitud Oeste.

El trabajo de campo estuvo compuesto por 40 puntos de muestreo con una profundidad de <10 cm, la selección de los puntos de muestreo se realizó con base en la homogeneidad de las unidades de suelo. El procesamiento de las muestras se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, con análisis como Densidad Aparente, pH, Textura, granulometría, Contenido de Humedad, etc.

3.2. Obtención de los datos e imágenes

Las imágenes de satélite fueron obtenidas de la página oficial de la *USGS Global Visualization Viewer* (GLOVIS) (http: //glcfapp.glcf.umd.edu, 2010). Son imágenes *Landsat TM* de noviembre de 2005, la cual fue elegida ya que es una época de secas, y solo los suelos aptos pueden retener la humedad en esta época del año, después de la temporada de lluvias. Las imágenes tienen una resolución de 30 metros. Con 3556 pixeles de ancho y 4116 líneas de longitud, con 6 bandas que van del espectro visible, así como el infrarrojo cercano, medio y lejano

3.3. Técnicas de análisis

Se realizó un ajuste de georreferencia de las imágenes de satélite al sistema de coordenadas UTM en zona 14, zona a la que pertenece el Estado de México, esto según el Instituto Nacional de Estadística y Geográfica e Información (INEGI). Se realizó una combinación de bandas hasta obtener la deseable que discriminara de una mejor manera la humedad en la superficie terrestre, inmediatamente después se elaboraron los campos de entrenamiento en las zonas en las que se distinguieron la humedad del suelo así como de otras diferentes coberturas que existen en la superficie terrestre (vegetación, zonas urbanas, afloramientos rocosos, etc.).

Después de obtener los campos de entrenamiento se procede a obtener los valores de reflectancia en las diferentes bandas desde la 1 hasta la 7 incluyendo la banda 6 que es la especial que discrimina la humedad en la superficie terrestre. Teniendo estos valores se obtiene la clasificación supervisada con el modulo de Maxlike o Máxima verisimilitud del *software Idrisi*, para obtener el mapa combinada con las diferentes coberturas así como de los suelos con humedad.

Para discriminar de una mejor manera estas coberturas de suelos con humedad se procede a realizar una reclasificación para obtener una mejor discriminación de la cobertura deseada en este caso de los suelos con humedad, y dejar descartadas aquellas coberturas que no serán útiles para los objetivos de esta investigación (Engman, 1995).

Otro de los modelos que nos permitirán discriminar mejor la humedad en los suelos es a través de la vegetación, la cual retiene humedad en las hojas y en otras partes de su estructura, por lo que es necesario restar el resultado de nuestro RECLASS, con el de vegetación, el cual se obtendrá a través del modulo de NDVI, el cual nos dará unos valores de reflectancia de positivos, los cuales nos indicaran la presencia de vegetación en la superficie, y los valores negativos en donde no exista vegetación, en otras palabras suelos desnudos. Después se procederá hacer un RECLASS para obtener la vegetación de manera sola y a los suelos desnudos solos, por lo que los valores quedan de la siguiente manera: valores de 1 = 0- 999999 y valores de 0= -999999 a 0, quedando la vegetación sola, teniendo este mapa se procede hacer una resta a través de un OVERLAY, con el mapa anterior de humedad en el suelo para descartar cualquier parte de la vegetación que el sensor pudiera haber confundido al momento de hacer la discriminación en la clasificación. De esta manera se obtiene un primer mapa de humedad en el suelo.

Otra manera de obtener la humedad en el suelo de una manera más directa es a través del modulo TASSCAP, el cual hace una combinación de las diferentes bandas, obteniendo el mapa de humedad presente en la superficie terrestre. Teniendo este mapa se procede a realizar el paso anterior una resta a través de un OVERLAY con el mapa de vegetación para discriminar toda aquella vegetación con humedad, quedando solo los suelos con presencia de humedad. Por último se compara ambos mapas y se sacan las conclusiones de ambos métodos de modelación para la obtención de la humedad del suelo.

4. Descripción y análisis de resultados

Para la obtención de la capa que permita identificar la humedad en el suelo se elaboró una imagen combinada con las bandas 1, 2 y 5 (Figura 5-43),la cual nos permitió la discriminación de los suelos que contenían humedad en su capa superficial, la forma de obtenerlos es mediante las tonalidades que van desde los lilas a los rosados, permitiendo diferenciarlos de otras coberturas que se encuentran en la superficie De esta combinación de bandas de las imágenes de satélite se obtuvo la mejor discriminación que nos permitiera observar con más claridad la humedad del suelo a diferencia de las otras coberturas, por lo cual se procedió a la elaboración de los campos de entrenamiento, obteniendo las siguientes coberturas: Suelos con humedad, Suelos sin humedad, Vegetación, Zonas urbanas, Cuerpos de agua y Rocas.

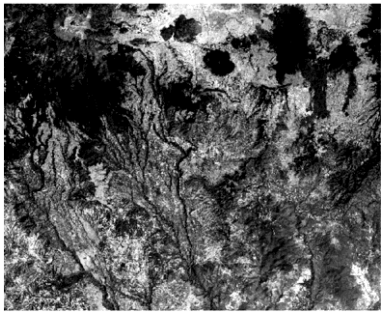


Figura 5-43. Imagen con el compuesto RGB=1, 2,5 de la zona florícola del Estado de México

Imágenes Landsat TM (noviembre, 2005)

Esto se realizó con la finalidad discriminar la cobertura deseada; teniendo nuestros campos de entrenamiento se procedió a obtener las diferentes firmas espectrales de cada una de las coberturas obteniendo como resultado que la mayor reflectancia para la capa de los suelos húmedos se encuentra ubicado en las bandas del infrarrojo medio y cercano así como en la banda del azul, y tiene sus picos más bajos en la banda del verde (Figura 5-44), por lo tanto se tiende a demostrar que el comportamiento de su firma espectral con respecto a las otras coberturas como cuerpos del agua, agricultura, vegetación, etc. son totalmente diferentes por lo que se puede tener una buena discriminación de esta capa a partir de esta combinación de bandas.

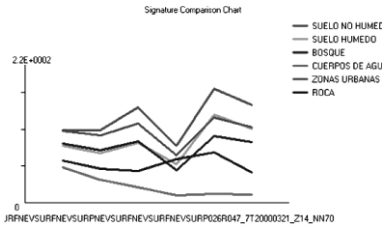


Figura 5-44. Firmas espectrales de las diferentes coberturas

Después de la obtención de las firmas espectrales se procedió a obtener una imagen clasificatoria con las diferentes coberturas esto a través de la utilización del método de clasificación llamado Máxima Verisimilitud (Álvarez, 2007), siendo este uno de los más precisos con respecto a

los clasificadores existentes en el *software Idrisi*, además de ser el más utilizado para dicha técnica. Teniendo como referencia las firmas resultantes se realizó la clasificación teniendo como resultado que la mayor parte de suelos con humedad, se encuentra en la parte sur de la zona en los límites con el municipio de Ixtapan de la Sal, y un poco en las partes centrales de la imagen, área en donde actualmente se encuentra la zona de invernaderos (Figura 5-45), para tener una mejor observación de esta hipótesis de los resultados obtenidos de la clasificación se optó por la realización de una reclasificación de la misma imagen a través de un Reclass, esto con la finalidad de obtener solamente aquellas áreas con alta cantidad de humedad en la capa superficial de los suelos (Tabla 5-14).

Tabla 5-14. Valores de Reflectancia de las diferentes coberturas

Campo Entrenamiento	**Bandas**		
	1	2	5
Suelos No húmedos	120	93	101
Suelos Húmedos	122	94	95
Bosque	160	82	87
Cuerpos de Agua	132	66	73
Zonas Urbanas	172	92	95
Rocas	181	84	83

Basado en las Imágenes de Satélite (2005)

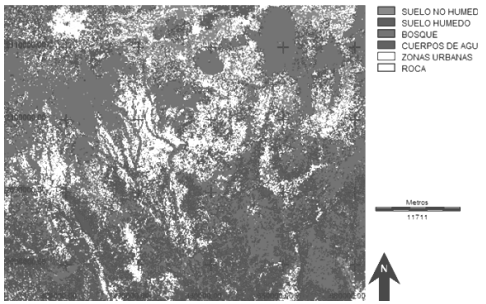


Figura 5-45. Mapa de las diferentes coberturas identificando suelos húmedos

Fuente: Elaboración Propia con base Imágenes de Satélite (noviembre, 2005)

Por otra parte sabemos que ciertas especies vegetativas, guardan humedad en su interior, por lo que el sensor pudo tener errores al momento de la clasificación y confundir un suelo húmedo con vegetación con cierto grado de humedad, por lo que fue necesario realizar un NDVI, el cual permite discriminar la vegetación de los suelos (Figura 5-46), en donde los valores positivos nos indican la presencia de vegetación abundante, y los valores negativos la presencia de suelos desnudos o sin vegetación. Teniendo esto se procede hacer un Reclass para tener a la vegetación como una sola cobertura, para que de esta manera se realice una resta a través de un Overlay entre los dos Reclass Vegetación- Suelos con humedad, teniendo nuestro primer modelo de suelos con humedad (Figura 5-47).

Fórmula: Reclass Suelos húmedos- Reclass Vegetación densa = Suelos Con humedad

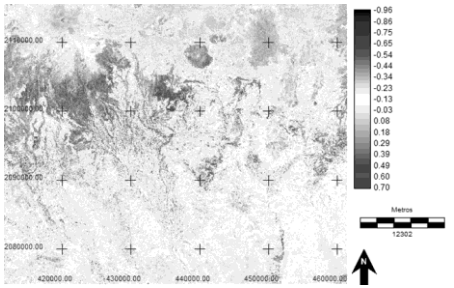


Figura 5-46. Mapa de Discriminación de la vegetación y suelos desnudos

Fuente: Elaboración Propia con base Imágenes de Satélite (noviembre, 2005)

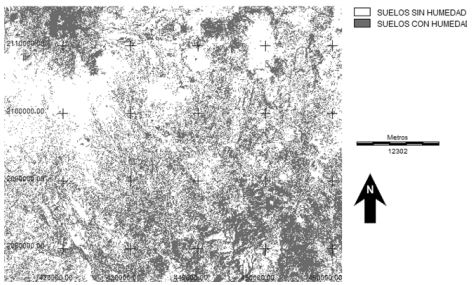


Figura 5-47. Mapa de Suelos húmedos (Resultado Clasificación-NDVI)

Fuente: Elaboración Propia con base Imágenes de Satélite (noviembre, 2005)

El otro método para obtener la discriminación de humedad en el suelo es a través del módulo Tasscap, el cual realiza una combinación de las diferentes bandas del sensor con excepción de la banda 6 multiplicando cada una de las bandas, obteniendo de esta manera una discriminación de la humedad de manera directa, teniendo como resultados los mismos que en la clasificación (Figura 5-48), para quitar esas discrepancias se realizó el mismo Overlay de resta entre el Reclass de la humedad de suelos del Tasscap y el Reclass del NDVI de la vegetación, dando como resultados los mismos que con el modelo anterior. Para una mejor apreciación de ambos resultados se procedió a una comparación entre imágenes, quedando que la mayor concentración de humedad en el suelo es en la zona sur de la zona, y muy poco en la parte en donde actualmente se está concentrando los invernaderos y toda la producción florícola.

Fórmula: Reclass del Tasscap- Vegetación densa (NDVI)= Suelos con Humedad

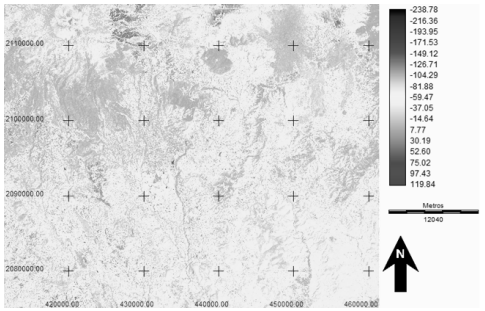


Figura 5-48. Mapa de Humedad (Tasscap)

Fuente: Elaboración Propia con base Imágenes de Satélite (noviembre, 2005)

Para tener una mejor idea del proceso que está sucediendo en la zona, se procedió hacer una correlación entre los dos modelos de humedad en el suelo y las diferentes unidades edáficas, para tener una correlación entre estas unidades y la humedad, y si es que las características de los suelos están permitiendo que la humedad se concentre en estas zonas. Teniendo como resultado que las unidades de suelo con mayor correlación son los: Andosol, Feozem, Vertisol y Cambisol (Tabla 5-15), esto por las características de cada uno, esto es por su alto contenido de arcillas, de Materia Orgánica, en la textura y en el pH, esto como factores que son reguladores en la disponibilidad y retención de las partículas del agua en el suelo y por lo tanto en el éxito o el fracaso de los cultivos.

Tabla 5-15. Suelos Correlacionados con los valores de ambos modelos

Unidades Edáficas	Modelos	
	Clasificación	Tasscap
Andosol	I	I
Feozem	I	I
Vertisol	I	I
Cambisol	I	I

Basado en las Imágenes de Satélite (2005) y cartas Edafológicas 1:50,000 INEGI (1975).

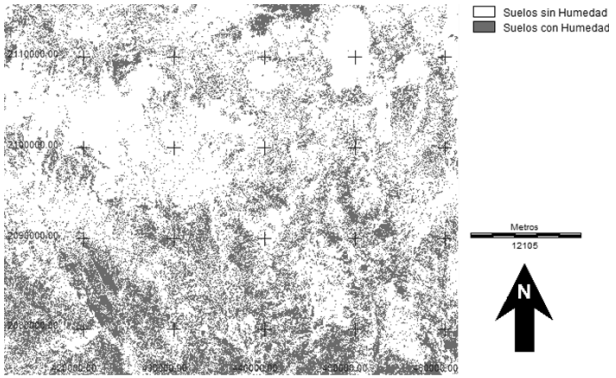


Figura 5-49. Mapa de Suelos con Humedad (Tasscap-NDVI)

Basado en las Imágenes de Satélite (noviembre, 2005)

5. Discusión y valoración de hallazgos

El único registro que se tiene para el análisis de humedad en el suelo por medio de las imágenes de satélite es el realizado por Segura (2004), el cual tiene la finalidad de obtener esta propiedad pero en suelos residuales, pero no se tiene ningún otro con fines de algún otro uso, así mismo la técnica utilizada de los dos clasificadores de máxima verisimilitud y Tasscap restadas a través del NDVI en esta investigación no ha sido usada en ninguna otra, por lo que la hace a ésta una aportación de este trabajo otra opción más para el manejo y control de tierras, y elegir mejores zonas de producción, aunado a esto debemos tomar en cuenta que no sólo las características del suelo hacen dependiente la producción de un cultivo, si no existen otros factores como lo son los físico-geográficos que intervienen para definir áreas precisas con humedad, dependiendo mucho de la pendiente, de las geoforma y de la misma vegetación, los cuales juegan un papel importante para su retención, filtración o escurrimiento y no tanto en la mayor parte de las ocasiones de las características fisicoquímicas del suelo (Engman, 1995).

La humedad presente en el suelo puede determinar el éxito o el fracaso de un cultivo, en cualquier región, esto dependerá en mayor parte de las condiciones físicas del suelo como lo son la textura, la estructura, principalmente así como en menor proporción algunas condiciones químicas del mismo, aunado a esto algunos factores fisco-geográficos que puedan ayudar o perjudicar esta condición.

Las mayores concentraciones de humedad en la zona florícola, se encuentran establecidos en la parte sur de la zona, ya que es en esta parte en donde las condiciones topográficas y climáticas ayudan a su concentración, sin importar la época del año en la que se encuentren, por otro lado las unidades edáficas concentradas como el Vertisol, Feozem, Cambisol, etc.; son suelos que principalmente cuentan en su estructura, proporciones mayores de arcilla, así como una estructura consolidada, por lo que no permite la filtración del agua a los mantos freáticos, así como el escurrimiento superficial, por lo que el agua queda retenida en las arcillas, permitiendo una humedad, lo cual puede ser utilizada por las raíces de las plantas, así como de los cultivos, procurando evitar el abandono de tierras, la apertura de nuevas zonas y por lo tanto la deforestación de la zona forestal, el cual cabe resaltar que pertenece a una área natural protegida, por lo que la conservación de los recursos naturales debe ser la prioridad de la conservación de la zona

6. Conclusiones

La identificación de suelos húmedos a través de las imágenes de satélite permite obtener una mayor información de una extensión de territorio amplia, así como dar propuestas para un mejor manejo de los suelos para diferentes usos, como lo es la agricultura ya sea de temporal o de riego, como es el caso de la zona de estudio que se dedica a la actividad florícola y en algunas zonas agricultura de temporal, la cual detendrá el deterioro del suelo, evitando el abandono de terrenos y por consiguiente la apertura de nuevos terrenos y la deforestación de las zonas boscosas, permitiendo la alta productividad de la región y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la misma.

El tratamiento de las imágenes de satélite nos permiten tener un aspecto preliminar de lo que existe en la superficie terrestre, así como identificar elementos naturales que puedan permitir una explotación racional de los recursos naturales, como es el caso de los suelos húmedos los cuales ayudan a optimizar áreas de cultivo, y así evitar la degradación de los suelos y por lo tanto un mejor aprovechamiento de estos.

Por último cabe resaltar que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) no han sido sólo una herramienta exclusivamente para los geógrafos, si no que se han desenvuelto en diversas disciplinas, tal es el caso de la Ciencia del suelo, la cual ha iniciado a involucrarse para mejorar las mejores propuestas de conservación de suelos, así como su productividad y por lo tanto evitar su degradación.

Referencias bibliográficas

Attema, E.W.P., and F. T. Ulaby (1978).Vegetation modeled as a water cloud. Radio Science, 13(2), 357-364.

Agbu, P.A., D. Fehrenbacher e I.J. Jansen. (1989). Soil property relationships with SPOT satellite digital data in East Illinois.Soil Sci. Soc. Am. J. 54(3): 807-812.

Álvarez M.J., Crespo J.J. (2007), Estimación de la Humedad superficial del suelo en cuencas agrícolas por medio de Imágenes de Teledetección Radar. Universidad Pública de Navarra, Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Pamplona, España.

Álvarez-Mozos, J., J. Casalí, M. González-Audícana and N.E.C. Verhoest (2005). Correlation between Ground Measured Soil Moisture and RADARSAT-1 derived Backscattering Coefficient over an Agricultural Catchment of Navarre (North of Spain). BiosystemsEngineering.

Chuvieco, Emilio. 1995. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp. Madrid España.

Eastman, J.R. (1999). Idrisi 32. Guide to GIS and Image Processing. Volume 1. Clark Labs. Clark University. Worcester, MA.

Engman, E. T. (1995). Recent advances in remote sensing in hydrology. In: —Reviews of Geophysics,‖ pp. 967–975, American Geophysical Union, Washington, DC.

Engman, E.T. (1991) Applications of Microwave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture.Remote Sensing of Environment, 35, 213-226,

Foth D. H. 1990.Fundamentals of Soil Science. Eighth Edition. Jhon Wiley and Sons. Washington

United States. Pp. 360

García, C., T. Hernández, F. Acosta, and B. Ceccanti.1994. Biochemical parameters in soil regenerated bey the addition of organic wastes. Waste Manage. Res. 12: 457- 466.

Hillel D. 2004. Introduction To Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press. Wasinghton

United States. Pp. 124-126.

INEGI. 1978. Carta Edafológica. Escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. Cartas E14A48, E14A58, E14A47 y E14A57. México D.F.

Prevot, L., R. Bernard, O. Taconet, D. Vidal-Madjar, and J.L. Thony. Evaporation from abare soil evaluated using a soil water transfer model and remotely sensed surface soilmoisture data. Water Resources Research, 20, 311–316, 1984

Segura C., M.a. Ortíz S. C. Gutiérrez C. Ma. C. 2004. Localización de suelos de humedad residual a partir de imágenes de satélite: Parte 2. Factores que Influyen en su Reflectancia y Clasificación Supervisada con los procedimientos: Minima Distancia y Máxima Verisimilitud. Rev. Terra. Vol.

22. Num. 2 Pp 135-142. Universidad Autonoma Chapingo. México D.F

GEOPORTAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO)

Muñoz-López, Enrique[1], Torres-Vázquez, Arturo[2]

RESUMEN

La finalidad de este ensayo es presentar el portal de geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Se abordan también algunos aspectos relacionados con la implementación de nuestro sistema de información, especialmente en relación con el uso de estándares para el intercambio de información geográfica y el uso de sistemas de código abierto. Así mismo, se discutirán algunos indicadores útiles para valorar los resultados obtenidos.

Palabras clave: Geoportales, Metadatos, Software de código abierto, Estándares para intercambio de información geográfica.

GEOINFORMATION PORTAL OF THE NATIONAL COMMISSION FOR KNOWLEDGE AND USE OF BIODIVERSITY

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the geo-information portal of the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO). It also addressed some aspects related to the implementation of our information system, especially about the use of geographic information exchange standards and open source systems. Also, some useful indicators will be discussed to evaluate the final results.

Keywords: *Geoportals, Geospatial metadata, Open source software, Standards for geographic information exchange.*

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Liga Periférico - Insurgentes Sur, Núm. 4903, Col. Parques del Pedregal. Delegación Tlalpan, Código postal 14010. México, D.F.1emunoz@conabio.gob.mx, 2atorres@conabio.gob.mx

Introducción

No obstante el creciente volumen e importancia de la información geográfica que se genera en nuestro país, por parte de entidades gubernamentales, académicas y privadas, existe un rezago importante en relación con los medios para que dicha información sea accesible a todos los usuarios potenciales.

Durante los últimos dos años en la CONABIO iniciamos un proceso de evaluación, planeación y desarrollo de servicios y herramientas, con el fin de facilitar el acceso a nuestros acervos públicos de información geográfica.

El objetivo del presente ensayo es describir los elementos esenciales de dicho proceso, así como las experiencias obtenidas, especialmente con relación a la adopción de estándares para el intercambio de información geográfica y el uso de software libre y de código abierto.

En la primera sección se describe, a modo de antecedentes, la naturaleza de la CONABIO, sus funciones y objetivos. En la siguiente sección se detallan los principales criterios para la conformación del sistema de información geográfica, así como el proceso de integración de nuestro acervo. En la tercera sección se enumeran las herramientas y los servicios de información que se han desarrollado. Finalmente, se presenta una valoración de los resultados obtenidos, así como algunas conclusiones sobre el tema del acceso a los acervos de datos geográficos.

Antecedentes

La CONABIO es una Comisión intersecretarial de carácter permanente; su propósito es generar la inteligencia que necesita el país para fundamentar políticas públicas y decisiones de la sociedad sobre Biodiversidad. Para ello se dedica principalmente a conformar y mantener actualizado el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), apoyar proyectos y estudios sobre el conocimiento y uso de la biodiversidad, brindar asesoría a dependencias gubernamentales y a otros sectores, realizar proyectos especiales, difundir el conocimiento sobre la riqueza biológica, dar seguimiento a convenios internacionales y prestar servicios al público.

El Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad SNIB

Cuando se piensa en la gran diversidad biológica de nuestro país, por lo general se evoca la enorme diversidad de paisajes compuestos por una gran variedad de especies animales y vegetales. Sin embargo, poco se piensa respecto al gran reto tecnológico que significa reunir la información relativa a esa enorme riqueza biológica y más aun garantizar que esté disponible para todos. Para compilar, organizar y distribuir esta información se estableció el SNIB.

El SNIB es de importancia estratégica en un país megadiverso como México, el segundo país del mundo en tipos de ecosistemas y el cuarto en riqueza de especies. Para ejemplificar, existen en México unas 500 especies de importancia pesquera, casi 600 especies que se utilizan para la reforestación, unas 4,000 especies con propiedades medicinales registradas, cientos de especies exóticas, invasoras y decenas de miles con potencial biotecnológico (Muñoz, 2009).

Los productos más importantes del SNIB son (ver Figura 5-50):

- Una base homogénea de datos sobre presencia de especies de más de 3,000,000 de ejemplares, Boletín CONABIO 2005-2006.
- Catálogos electrónicos de nombres correctos de más de 50,000 especies que habitan el territorio mexicano.
- Coberturas geográficas en formato digital y sus metadatos de más de 1500 registros.
- Información sobre sensores remotos compuesta de imágenes de satélite y fotografías aéreas.
- Información sobre especies invasoras, exóticas y organismos vivos modificados.
- Fichas técnicas sobre especies presentes en las listas de CITES (por sus siglas en inglés). Esta es la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres y muchos países se han adherido a esta Convención y a la fecha colaboran de manera estrecha para combatir el comercio ilegal de especies silvestres. y la Guía de identificación para las aves y mamíferos silvestres de mayor comercio en México protegidos por la CITES (Sánchez, 1998).
- Información sobre especies nativas valiosas para la reforestación en México.
- Sistema de Información Biótica, un sistema desarrollado por la CONABIO para la digitalización de colecciones científicas biológicas y
- Datos sobre modelos GARP para predicción de similitud de nichos ecológicos de especies vegetales y animales. El Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP) fue desarrollado por David Stockwell, en el Centro de Super Cómputo de San Diego. El GARP es un algoritmo que crea un modelo de nicho ecológico para una especie con ciertas condiciones ambientales donde podría mantener una población.



Figura 5-50. Componentes del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad

Sistema de información geográfica de la CONABIO

Como ya se ha mencionado, objetivo primario del esfuerzo de estandarización de la información que se ha llevado a cabo en la CONABIO consiste en facilitar el acceso a nuestro acervo público de datos geográficos. Entre otras cosas, este objetivo implica (Longley, 2005, p. 241 - 250):

- Tener en consideración a usuarios con diferentes niveles de especialización (profesionales en SIG, profesionales de otras áreas que necesitan información geográfica, estudiantes de diferentes niveles, etc.)
- El uso de tecnologías accesibles a cualquier tipo de usuario (por ejemplo, Internet)
- Garantizar que la información sea disponible no solo para usuarios finales, sino que además pueda integrarse con otros sistemas de información.
- Del análisis de estos requerimientos generales, así como de la consideración de necesidades específicas de la institución, se propuso iniciar el desarrollo de un sistema de información geográfica sobre las siguientes premisas:
- El sistema tendría como finalidad proporcionar los medios de consulta, evaluación y acceso al acervo para usuarios internos y externos (Figura 5-51)



Figura 5-51.Acceso al acervo de información geográfica de la CONABIO

- El sistema estaría basado en servicios de información independientes, interoperables y basados en estándares abiertos (Nebert, 2007)
- La fuente de información primaria para el acceso al acervo serían los metadatos geográficos de cada producto disponible (Reuvers, 2008). La definición de metadato puede resultar ambigua, sin embargo el sentido del término es en realidad muy familiar. Considérese, por ejemplo, que una ficha bibliográfica representa el "metadato" de un libro o publicación.
- El estándar ISO-19115 define un metadato geográfico como "datos acerca de otros datos o servicios" y de manera un poco más explícita, la iniciativa para la infraestructura de datos espaciales europea (INSPIRE) lo define como "información que describe recursos espaciales, haciendo posible su descubrimiento, inventariado y uso".
- El desarrollo y la implementación del sistema se haría mediante software libre y de código abierto.

Integración del acervo cartográfico

El acervo cartográfico de la CONABIO integra la información geográfica y estadística que se encuentra organizada en una base de datos y en gabinetes, para el caso de los datos impresos en papel como los mapas y expedientes.

La CONABIO, a través de la Subdirección de Sistemas de Información Geográfica, se ha dado a la tarea de organizar y clasificar dicho acervo, el cual constituye el marco de referencia espacial del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. El inventario actual consta de más de tres mil mapas.

Organización y clasificación

La primera clasificación de la información cartográfica se hizo mediante la agrupación por temas generales que abarcaban prácticamente todas las áreas: física, social, biótica, regionalización y otras. Las escalas se organizaron desde 1:50,000 hasta 1:16,000,000, y otras se obtuvieron de GPS y de las denominadas 1:1 — se interpreta así ya que se utilizan receptores GPS para representar vectores o puntos (Figura 5-52).



Figura 5-52. Clasificación actual del acervo cartográfico de la CONABIO
Fuente: Subdirección de Sistemas de Información Geográfica (CONABIO, enero de 2011)

Metodología

El proceso de integración de información en nuestro sistema se organiza por medio de las siguientes actividades (Ver Figura 5-53):

- *Obtención de información* mediante la incorporación de cartografía resultado de proyectos apoyados por la CONABIO; recopilación de información existente y generación de información nueva.
- *Validación cartográfica*, que implica la revisión, edición, adecuación, documentación e integración de la información al acervo.
- *Diseminación de productos*, mediante la publicación en Internet (información de acceso público) y en un catálogo de uso interno (información de acceso restringido).

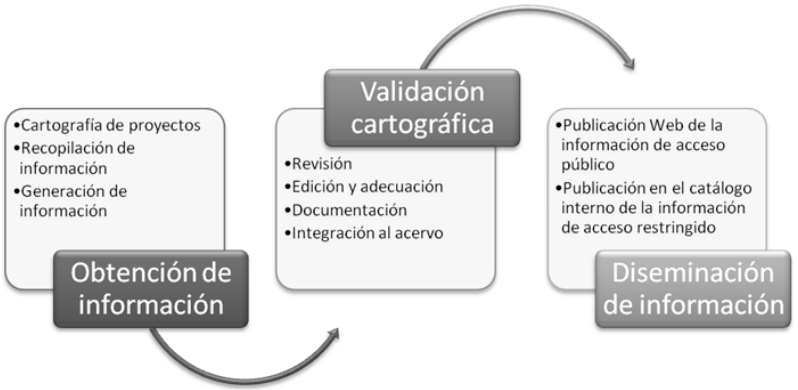


Figura 5-53. Proceso de integración de información en el acervo cartográfico de la CONABIO
Fuente: Subdirección de Sistemas de Información Geográfica (CONABIO, enero de 2011)

Implementación del sistema

Como resultado de este proceso, actualmente están en operación un conjunto de servicios de información especializados y un geoportal[1] desarrollado especialmente con el propósito de servir de punto de acceso a nuestro acervo público.

El conjunto del sistema esta implementado con software libre y de código abierto (ver Figura 5-54).

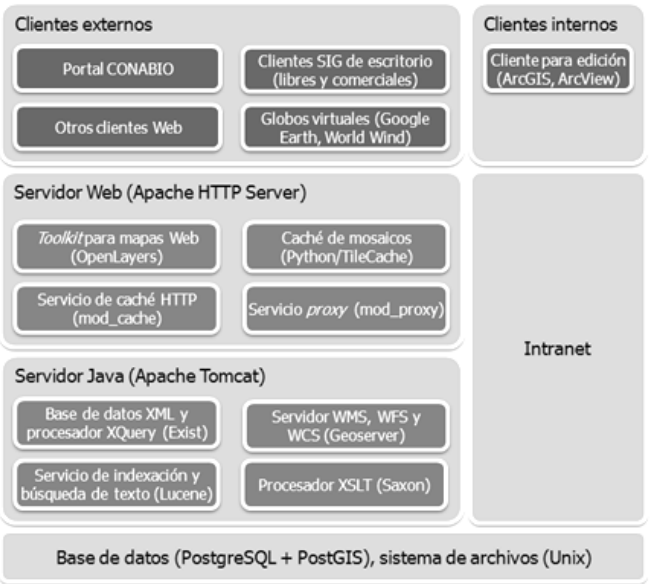


Figura 5-54. Arquitectura de software del sistema de información geográfica de la CONABIO

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Geoportal

Base de datos geográfica

El manejador de bases de datos seleccionado para la administración y el almacenamiento del acervo cartográfico fue PostgreSQL[2], con la extensión para manejo de información geográfica PostGIS[3].

Actualmente la base de datos permite un manejo adecuado de más de 1,300 capas vectoriales, en un *hardware* relativamente modesto.

Servicios de metadatos

La documentación de los metadatos cartográficos se realizó siguiendo los estándares definidos en FGDC (1998) y FGDC (1999).

Las funciones principales que proporciona nuestro servicio de metadatos son (Figura 5-55):

- *Búsqueda* basada en índices (de texto, de tipos numéricos y de fecha) sobre secciones relevantes del estándar FGDC.
- *Exploración* del acervo de acuerdo a una clasificación temática, mediante un proveedor RSS y a través de buscadores Web (Consultar por ejemplo: http://www.google.com/search?q=mapa+base+oaxaca).
- *Acceso,* visualización y descarga de cada metadato en formato XML y HTML.
-

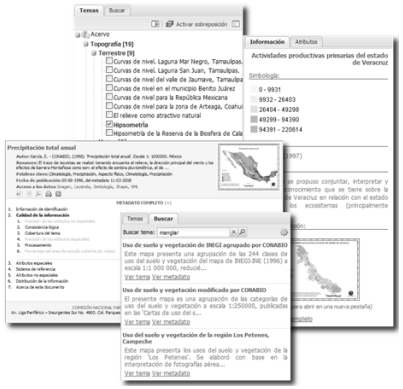


Figura 5-55. Funciones del servidor de metadatos

[2] http://www.postgresql.org/
[3] http://postgis.refractions.net/

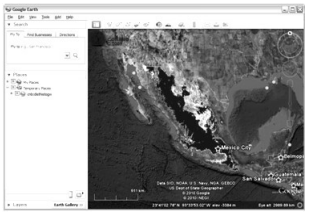


Figura 5-56. Acceso al acervo de información geográfica de la CONABIO desde Google Earth

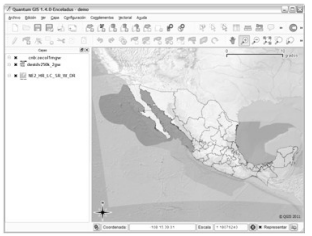


Figura 5-57. Acceso al acervo de información geográfica de la CONABIO desde el sistema libre Quantum GIS versión 1.4.0



Figura 5-58. Acceso al acervo público de información geográfica de la CONABIO desde el sistema libre gvSIG Mobile versión 0.3.0

Servicios de información geográfica

El acceso a nuestro acervo público de información geográfica está disponible a través de un conjunto de servicios que cumplen las siguientes funciones:

- *Visualización* a través de servicios de mapas WMS. El estándar *OpenGIS Web MapService* (WMS) define un conjunto de operaciones básicas para obtener una representación gráfica simple a partir de datos geográficos.
- *Descarga* de datos vectoriales mediante servicios WFS e imágenes mediante el estándar WCS. El estándar *OpenGIS Web FeatureService* (WFS) define operaciones básicas para obtener una representación de los atributos geométricos de un conjunto de datos geográficos.
- *Consulta* de atributos mediante operadores geométricos, espaciales, lógicos, de comparación y aritméticos mediante el estándar FES. El estándar *Open GISFilter Encoding* define una sintaxis para expresiones que filtran rasgos de un mapa vectorial en función de sus atributos escalares o espaciales (Vretanos, 2001).

La elección de la familia de estándares *OGC* para el intercambio de información geográfica hace posible que los usuarios puedan acceder a nuestro acervo desde diferentes plataformas de *software* y *hardware*, por ejemplo, con *Google Earth* (ver figura 5-56), con el sistema libre *Quantum GIS*[4] (ver Figura 5-57) y con el SIG libre para dispositivos móviles, *gvSIG Mobile*[5] (ver Figura 5-58).

La plataforma utilizada para la implementación de nuestros servicios de información fue el servidor de datos geográficos GeoServer[6].

Licencias de uso

Las condiciones generales para el uso de la información disponible en nuestro portal establecen que:

- Toda la información se distribuye sin costo.
- No es posible utilizar la información con fines de lucro.
- Es posible incorporar, modificar o distribuir la información disponible siempre que se cite a la CONABIO como la fuente.
- La CONABIO sólo se hace responsable de la información publicada pero se deslinda del uso que se dé a la misma.

Estos permisos y restricciones son compatibles con la licencia *Creative CommonsAtribución – No Comercial 2.5*para México (CC BY-NC 2.5)[7].

[4] http://www.qgis.org/
[5] http://www.gvsig.org/web/projects/gvsig-mobile
[6] http://geoserver.org/
[7] http://creativecommons.org.mx/licencias/

Portal de información geográfica

El propósito del portal es proporcionar un punto de acceso común a los servicios de exploración, consulta, visualización y descarga de nuestro acervo.

Actualmente están disponibles, con libre acceso, más de 1,500 mapas, incluyendo el metadato correspondiente e imágenes de referencia rápida (ver Figura 5-59).

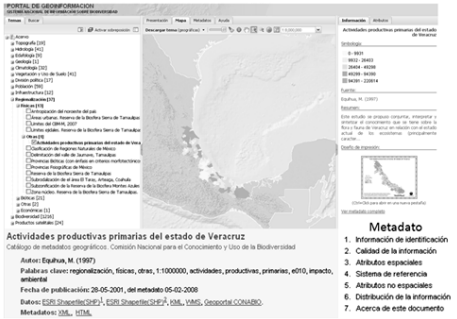


Figura 5-59. Cartografía y metadatos geográficos en línea de la CONABIO
Fuente: Subdirección de Sistemas de Información Geográfica (CONABIO, enero de 2011)

Las funciones disponibles en el portal son:

- Visualización y sobreposición de mapas.
- Herramientas básicas de navegación y consulta (visualización a diferentes escalas, transparencia y consulta de atributos).
- Búsqueda en el catálogo de mapas disponibles en el acervo.
- Descarga de la cartografía en formatos vectoriales (*ShapeFile* y *KML*) y *ráster* (*GeoTIFF* y *MrSID*).
- Visualización de metadatos en formato HTML.
- Descarga de metadatos en formato HTML y XML.
- Visualización y descarga de mapas prediseñados para impresión.

La disponibilidad del portal es permanente, no tiene ninguna restricción de acceso, ni limitación para descargar la información publicada.

Discusión y valoración de resultados

Uno de los principales criterios para valorar los resultados de nuestro proyecto es el grado en que la información disponible efectivamente ha llegado a manos de sus usuarios potenciales. En este sentido, podemos considerar tres aproximaciones complementarias, a saber: Las referencias a los productos de nuestro acervo en fuentes electrónicas externas a la CONABIO; el posicionamiento[8] en los motores de búsqueda[9] de cada uno de los metadatos publicados como páginas Web y los registros de acceso que permanentemente se generan y se almacenan en nuestros servidores Web.

Referencias externas

No obstante es difícil disponer de una relación exhaustiva de las publicaciones donde se citan los productos del portal, una aproximación aceptable es considerar las referencias registradas en medios electrónicos.

Durante el primer año de operación (julio de 2009 a julio de 2010) se han podido contabilizar las siguientes citas:

- Artículos en publicaciones periódicas:**10**
- Publicaciones académicas, incluyendo tesis:**6**
- Catálogos de metadatos cartográficos: **1**
- Referencias en foros especializados (botánica, reptiles, salud, filatelia, ...): **31**
- Fuente de artículos de la Wikipedia: **4**
- Estudios de impacto ambiental: **3**
- Blogs sobre cartografía, medio ambiente y biodiversidad: **4**

Posicionamiento en los motores de búsqueda

El concepto de posicionamiento Web se refiere, en términos generales, a la importancia relativa que confiere un buscador Web al contenido de una publicación electrónica, en términos del tema al que se refiera.

Para este fin, tomaremos como referencia los índices del motor de búsqueda de *Google*, que nos indican el contexto en el que la información contenida en los metadatos aparece como resultado de una búsqueda.

- Metadatos indizados: **99%**
- Metadatos indizados en *Google Académico* (figura 5-60): **53%**
- Referencias cruzadas en artículos de indexados en *Google Académico*: **84**
- Mapas indizados como imágenes: **78%**
- Mapas indizados en *Google Maps*: **46%**

[8] http://es.wikipedia.org/wiki/Posicionamiento_en_buscadores
[9] http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_búsqueda



Figura 5-60. Metadatos cartográficos indexados en Google Académico
Fuente: *Google* Académico (enero de 2011)

Como vemos, la mayoría de los mapas publicados están disponibles en diferentes contextos. Sin embargo, ¿qué tan relevante es para los usuarios esta información?

Un método común para conocer la relevancia de un resultado en el contexto de una búsqueda es la relación entre el número de veces que se muestra un resultado y el número de veces que se accede al recurso correspondiente.

En la Figura 5-61 podemos ver una lista de los documentos con mayor relevancia (mayor a 40%) en el sitio Web de la CONABIO[10].De un total de nueve, ocho corresponden a metadatos cartográficos.



Figura 12. Posicionamiento de metadatos en Google (19/Dic/10 a 23/Ene/11)
Fuente: *Google Webmaster Tools*(enero, 2011)

Figura 5-61. Posicionamiento de metadatos en Google (19/Dic/10 a 23/Ene/11)
Fuente: *Google Webmaster Tools* (enero, 2011)

[10] Del 19 de diciembre de 2010 al 23 de enero de 2011.

Registros de acceso

Esta fuente proporciona un registro exhaustivo, automático y permanente del acceso a los diferentes productos de nuestro acervo11 (ver Figura 5-62).

Así, durante los primeros trece meses de acceso público12:

Se han descargado13, en promedio, 167 mapas diarios

Se han descargado, en promedio, 1.3 gigabytes de mapas diarios

Se han consultado, en promedio, 369 metadatos diarios

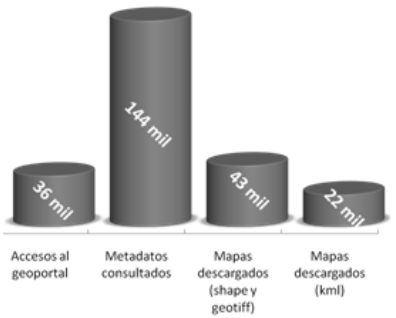


Figura 5-62. Acceso a los principales productos del Geoportal (Jul. 09 a Jul. 10)
Fuente: Subdirección de Sistemas de Información Geográfica (CONABIO. diciembre de 2010)

Adicionalmente, podemos comprobar que al menos 45% de los accesos a nuestro portal, es por parte de usuarios de los sectores académico (público y privado) y gubernamental (federal, estatal y municipal) (Ver Figura 5-63).

[11] Dicho registro excluye el tráfico generado por los indexadores Web y por otras fuentes presumiblemente "no humanas".
[12] De julio de 2009 a julio de 2010.
[13] Todos los archivos se descargan compactados.

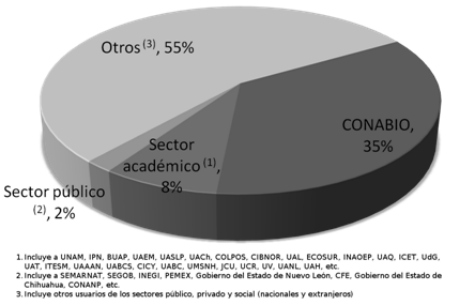


Figura 5-63. Accesos al portal por tipo de usuario (Jul. 09 a Jul. 10)
Fuente: Subdirección de Sistemas de Información Geográfica. (CONABIO, diciembre de 2010)

Conclusiones

Los sistemas de información geográfica son capaces de interactuar con otros sistemas, independientemente de la plataforma tecnológica, exponiendo sus funcionalidades a través de Internet.

El uso de la Web14 como plataforma constituye una solución para compartir funcionalidad y permite desplegar sistemas complejos en entornos corporativos y distribuidos.

En consecuencia, los portales de información geográfica se convierten en uno de los principales mecanismos de implementación de sistemas de información geográfica distribuidos, ya que permiten el desarrollo paralelo de diferentes componentes, tales como: datos fundamentales, establecimiento de estándares de información, políticas sobre acceso y uso, entre otros aspectos, del desarrollo institucional. Los datos fundamentales "... son aquellos sin los cuales es imposible construir edificios de información lógicos, consistentes, exactos, racionales e intercambiables. Deben permitir el análisis y ser capaces de aceptar sobreposición de grupos de datos de cualquier tipo, a condición de que cumplan con las normas y especificaciones declaradas para los datos fundamentales..." (Martínez, 2005).

Es posible identificar algunos aspectos indispensables para mejorar el acceso a los acervos de datos geográficos: adopción de estándares para la documentación, consulta e intercambio, mecanismos eficientes y sencillos de búsqueda, evaluación y adquisición, y un marco consistente y claro de licencias de acceso, distribución y uso.

[14] http://es.wikipedia.org/wiki/Www

Retos

Actualmente existen las herramientas y los estándares necesarios para mejorar el acceso a los acervos de información geográfica. No obstante, el problema más relevante consiste en que los productores de datos valoren la importancia de la documentación y el uso de estándares. Es necesario crear, o reforzar, medios de cooperación y colaboración entre productores de información geográfica.

Reconocimiento

Los resultados documentados en este ensayo representan algunas de las actividades que desarrolla el personal del área de Sistemas de Información Geográfica de la CONABIO, quienes contribuyen en diferentes aspectos al desarrollo, mantenimiento y actualización del sistema. Para mayor información ver http://www.conabio.gob.mx/institucion/directorio/directorio_dgb.html

Referencias bibliográficas

FGDC. (1998): Content Standard for Digital Geospatial Metadata.FGDC-STD-001-1998.Washington, D.C., Federal Geographic Data Committee. [Consulta: 26-01-2011]. Disponible enhttp://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/metadata/base-metadata/v2_0698.pdf

FGDC. (1999): Content Standard for Digital Geospatial Metadata - Biological Data Profile. FGDC-STD-001.1-1999. Washington, D.C., Federal Geographic Data Committee. [Consulta: 26-01-2011]. Disponible en http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/metadata/biometadata/biodatap.pdf

Longley, P. A *et al*. (2005). Geographical Information Systems and Science.2nd Edition. Barcelona, Spain. John Wiley&Sons Ltd.

Martínez, M. (2005). Lineamientos para el Desarrollo de Normas Técnicas. México. INEGI. [Consulta: 26-01-2011]. Disponible en http://mapserver.inegi.gob.mx/webdocs/cng2005PP/k1/2/23/LINEAMIENTOS_PARA_EL_DESARROLLO_MARIO_MARTINEZ.DOC

Muñoz López, E. (2009). "Conformación del Sistema de Información Geográfica de la CONABIO y su importancia en el Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad". México, D.F. Tesis de maestría. UNAM.

Nebert, D; *et al*. (2007). "Proposal for a Spatial Data Infrastructure Standards Suite: SDI 1.0", en Onsrud, H. (Ed.): Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts. Redlands, Ca, ESRI Press, .pp. 147 – 159.

Reuvers, M., Aalders, H. (2008): "Metadata and spatial searching as key spatial information infrastructure component: future standardization developments", en Oosterom, P. (Ed.). Creating Spatial Information Infrastructures. Towards the Spatial Semantic Web.Boca Raton, Fl, CRC Press, p. 151 – 163.

Sánchez, O., M. A. Pineda., H. Benítez., B. González. y H. Berlanga. (1998): Guía de identificación para las aves y mamíferos silvestres de mayor comercio en México protegidos por la CITES. México, D.F. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Vretanos, P. A. (Ed.) (2001). "Filter Encoding Implementation Specification, version 1.0.0." OpenGIS Implementation Specification. OGC 02-059. Pp 1-9.

Índice

2 Definición de rutas basada en la ponderación semántica para diversos perfiles de usuario

23 Valoración de la vulnerabilidad de objetos geográficos usando representaciones conceptuales

47 Métodos de comparación mapas simulados con los mapas reales

66 Georreferenciación coloquial

85 Recuperación semántica de información basada en perfiles de usuario aplicado a servicios basados en localización

95 Gestión de datos lidar a través de sig y base de datos

117 Aspectos teóricos en la enseñanza de los sig relacionados a su origen y evolución

128 Laboratorio remoto de información geográfica: una aplicación de la ide del departmento de geografía de la universidad de guadalajara

141 Cartografía de la infraestructura de la salud en méxico: atención y cobertura, y programas de vacunación

165 Medición de años de vida ajustados por discapacidad para enfermedades relacionadas con inundaciones ocurridas de 2000-2006 en la cuenca lerma-chapala (méxico)

183 O uso de sistema de informação geográfica para controle de patologias em rochas de monumentos: estudo de caso de edificação histórica na cidade de serro, minas gerais , brasil

198 Metodología de evaluación de la aptitud con relación a las infraestructuras viales ligadas a las actividades recreativas en espacios naturales

223 Geo servicios electrónicos de la administración pública en los niveles autonómico y local en aragón (españa)

247 Elaboracion de un (sigma) como herramienta base para el ordenamiento ecológico y territorial del municipio de tequixquiac, edo. De méxico

274 Sistema de información geográfica municipal de lerma (siglerma), estado de méxico.

303 Análisis de accesibilidad de las tiendas de autoservicio en la zona metropolitana de la ciudad de toluca, mediante técnicas sig

Índice

325 Posibilidades de aplicación de un análisis de sensibilidad a un modelo basado en técnicas sig y evaluación multicriterio

353 Sistemas de informacion geográfica (sig) como herramientas en la estimación de la demanda de agua para uso urbano

375 La segregación socioresidencial en ciudades intermedias. El caso de bahía blanca – argentina

403 Analise morfologica sobre a influência do sistema de transporte na acessibilidade urbana

424 Geoprocessamento na requalificação urbana: evolução e contexto no pensamento urbano e estudo de caso no hipercentro de belo horizonte-mg, brasil.

444 A produção de informações sobre a ocorrência de áreas antropizadas como base para análises espaciais urbanas e regionais

471 Estimación de costos de daños directos por inundación en zonas habitacionales con empleo de curvas costo versus altura de agua alcanzada: caso de estudio valle de chalco solidaridad, estado de méxico

490 Implementación de una red geodésica gps en tegucigalpa, honduras.

519 Desarrollo de módulo hidro-geomático para estimación de costos de daños por inundación: aplicación en la cuenca lerma-chapala (méxico)

534 A utilização do sig na caracterização físiográfica de duas bacias hidrográficas de floresta urbana, campinas-sp

555 Aplicación de geotecnologías mixtas para la caracterización morfotectónica a detalle en la zona poniente del estado de méxico

575 Evaluación del riesgo de degradacion del suelo en la cuenca del rio lerma, estado de méxico, utilizando plataformas sig

597 Identificación de humedad en el suelo a traves de la teledetección para el mejor manejo de la tierra: caso zona floricola, estado de méxico

608 Geoportal de la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (conabio)

Responsiva

Las opiniones aquí vertidas y la autoría y calidad de la información aquí presentada es responsabilidad total de los autores de los capítulos. En ningún momento expresa la opinión ni es responsabilidad de la Facultad de Geografía o de la Universidad Autónoma del Estado de México.

El editor se reserva el derecho de eliminar figuras de baja resolución de los textos originales y admite la redacción de algunos títulos de figuras con fines editoriales.