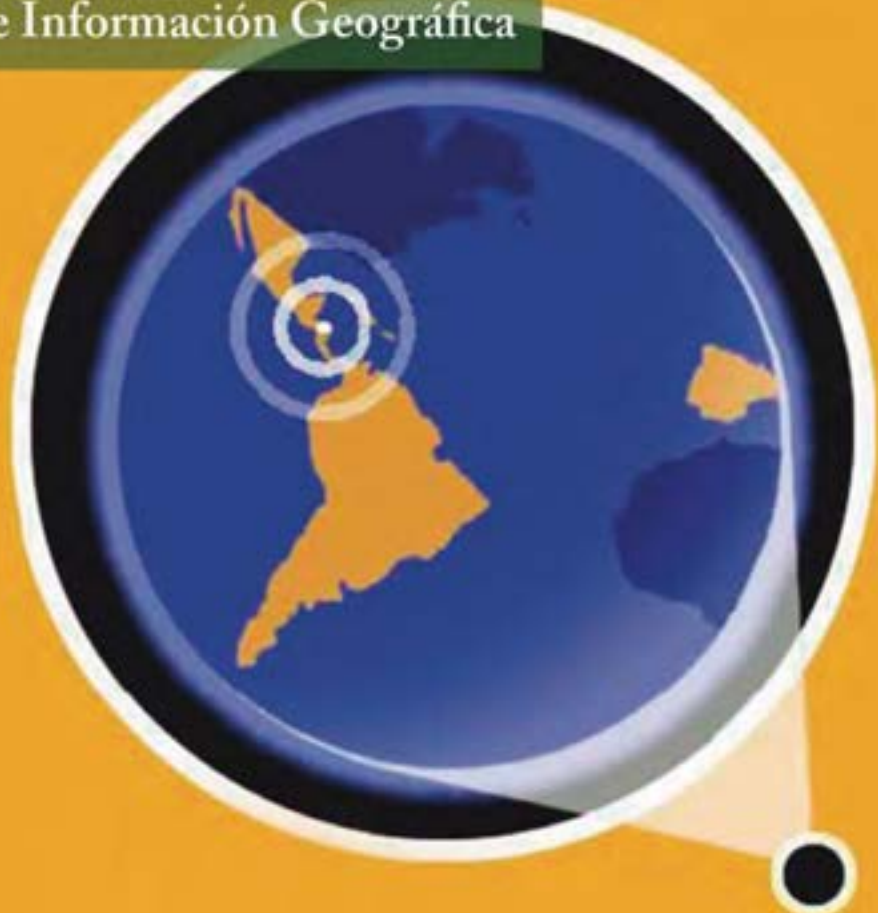


# CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)  
Universidad Nacional Autónoma de Honduras | Volumen 8, Número 2 Otoño 2015  
ISSN: 2225-5249



XIV Conferencia  
Iberoamericana de Sistemas  
de Información Geográfica



Ueditorial  
universitaria



UNAH  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE HONDURAS

# CIENCIAS ESPACIALES

**Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)**  
**Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)**

Volumen 8, Número 2 Otoño, 2015. ISSN: 2225-5249

Portada:

Póster de la XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica realizada en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Ciudad Universitaria de Tegucigalpa, del 3-5 de julio de 2013.

Fuente de imágenes: Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH

## **Directora**

María Cristina Pineda de Carías

## **Edición**

María Cristina Pineda de Carías

## **Consejo Editorial**

María Cristina Pineda de Carías  
Vilma Lorena Ochoa López

## **Consejo Científico**

Dr. Joaquín Bosque Sendra  
(Universidad de Alcalá, España)  
Dr. Gustavo Buzai  
(Universidad de Luján, Argentina)  
Dr. Delfino Madrigal Uribe  
(Universidad Autónoma del Estado de México)  
Dr. Julio César Moraga Peralta  
(Universidad Nacional, Costa Rica)  
Dr. José Seguinot Barbosa  
(Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico)  
Dr. Manuel Fuenzalida Díaz  
(Universidad Alberto Hurtado, Chile)  
Dra. María Cristina Pineda de Carías  
(Universidad Nacional Autónoma de Honduras)

## **Contacto:**

Dra. María Cristina Pineda de Carías  
E-mail: [mcpinedacarias@gmail.com](mailto:mcpinedacarias@gmail.com)

*Facultad de Ciencias Espaciales  
El 17 de Abril de 2009, mediante  
Acuerdo No. CU-O-043-03-2009 el  
Consejo Universitario de la UNAH  
creó la Facultad de Ciencias  
Espaciales en reconocimiento al  
funcionamiento del Observatorio  
Astronómico Centroamericano de  
Suyapa (OACS/UNAH).*

## **Edición, Arte y Diagramación**

Editorial Universitaria  
SEDI UNAH  
Elizabeth Figueroa M.

*La Revista Ciencias Espaciales es una publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales.  
El contenido de cada artículo es responsabilidad de su(s) autor(es).  
La suscripción de esta publicación es gratuita, solamente se cobrará el costo de su envío.*

# Contenido

<b>CARTOGRAFÍA, CATASTRO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPALES</b>	<b>9</b>
Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura: el catastro agrícola en Cuba <i>Ponvert Delisles D.R, F. Samuel Kelly y I. Reyes</i>	11
Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa, Argentina <i>Beatriz Dillon, Daila G. Pombo, Ma. Celeste Martínez Uncal</i>	29
Patrimonio cultural y SIG: escalas de visualización y preservación <i>Otavio M. Peres, Mauricio C. Polidori y Fernanda Tomiello</i>	41
Pautas para la medición de la estructura de la ciudad actual, en el marco del modelo urbano disperso, utilizando el catastro de urbana. Aplicación al municipio suburbano de Getafe, Madrid <i>José Miguel Santos Preciado</i>	59
Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras. Fase 2. La cartografía multimedia y su uso para el patrimonio histórico <i>Lilliam Sofía Gómez Solórzano</i>	80
La visualización del tiempo: de los sistemas de información geográfica a la animación cartográfica <i>Florian Hruby, María del Rocío Castillo Aja y Luis Valdivia Ornelas</i>	97

ORDENAMIENTO TERRITORIAL

113

Riesgos y morfología urbana: ciudades en planicies y laderas

*Elsa Lily Caballero Zeitún y*

*Celina Michelle Sosa Caballero*

115

Elaboración de escenarios de prospectiva para asentamientos humanos urbanos y rurales, aplicado al municipio de Tela, Honduras

*Claudia Nataly Mondragón Rivera y*

*Francisco Maza Vázquez*

134

Elaboración de la base de datos del archivo técnico de la Dirección General de Catastro y Geografía y su importancia en la planificación de la gestión y ordenamiento del territorio en Honduras

*Claudia Mondragón y César Rodríguez*

152

La transformación del suelo a uso industrial con criterios de sostenibilidad

*María Luisa Soriano Sanz y*

*Francisco Maza Vázquez*

163

El ordenamiento territorial y su papel en la construcción de lugares saludables, caso: zona metropolitana de Toluca, México

*Marcela Virginia Santana Juárez,*

*Elsa Mireya Rosales Estrada, Luis Ricardo Manzano*

*Solís, Giovanna Santana Castañeda y*

*Rebeca Angélica Serrano Barquín*

178

Caja de herramientas para la gestión de centros históricos Erika Argentina Zambrano Irías

*Erika Argentina Zambrano Irías*

193

Aplicación de tecnologías de información geográfica en el análisis socio espacial

*Mario René Baide Muñoz*

211

## MÉTODOS Y ANÁLISIS CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 225

- Determinación y análisis de áreas de potencial conflicto en el uso del suelo en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Patagonia, Argentina, utilizando la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG)  
*María Andrea Dzenoletas* 227
- Evaluación del cambio de uso de suelo en el Parque Nacional “La Marquesa” (1994-2007), aplicando tecnología SIG  
*Mónica Chico Avelino, Miguel Ángel Trinidad Trinidad y Raymundo Montoya Ayala* 243
- Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011  
*Alicia Maricela Cárcamo y Juan Gregorio Rejas Ayuga* 259
- Detección de anomalías mediante espectrometría de imagen en la cordillera volcánica central de Costa Rica. Implicaciones en la exploración planetaria  
*Juan Gregorio Rejas Ayuga, Rubén Martínez Marín, Javier Bonatti, Jesús Martínez-Frías y Miguel Marchamalo Sacristán* 272
- Desarrollo de una solución de inteligencia de negocios para integrar datos de censo y encuesta en un SIG  
*R. Cornejo, M. Navarrete, R. Valdivia, P. Aroca, S. Aracena* 287
- Análisis espacial basado en SIG del malestar percibido ante industrias contaminantes: el caso del complejo industrial ventanas, Chile  
*Antonio Moreno-Jiménez y Manuel Fuenzalida-Díaz* 304
- gvSIG Fonsagua, un caso de éxito de investigación para el desarrollo en el ámbito de las tecnologías de la información geográfica  
*Francisco Alberto Varela García, Francisco Puga Alonso, Mireia Carreras Álvarez y Antón Amado Pousa* 326

Tratamiento digital de imágenes satelitales para la búsqueda y clasificación de cráteres en la zona sur de Honduras <i>Rafael Enrique Corrales Andino</i>	341
Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con autómatas celulares <i>M. C. Polidori, M. V. P. Saraiva, O. M. Peres, C. P. Toralles y F. Tomiello</i>	357
Aplicación de tecnologías de información geográfica para el estudio arqueológico del corredor mesoamericano en el sur de Honduras <i>Rodríguez, César y Rejas Ayuga, Juan Gregorio</i>	371
Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía <i>Gustavo D. Buzai y Claudia A. Baxendale</i>	391
Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares mediante análisis de sensibilidad <i>Pablo Barreira González, Francisco Aguilera Benavente y Montserrat Gómez Delgado</i>	409
Monitoreo con sig de la calidad de la atmósfera urbana para la gobernanza local: el caso de Madrid <i>Rosa Cañada Torrecilla y Antonio Moreno Jiménez</i>	431
Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Metodologías de Evaluación Multicriterio (EMC) en la búsqueda de escenarios alternativos para el mejoramiento socio-espacial de las áreas urbanas populares de la Ciudad de Comayagua <i>José Luis Palma Herrera</i>	452
Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras <i>María Cristina Pineda de Carías, German Flores, Mirza Castro, Pedro Jiménez, Gerardo Reyes y Enrique López</i>	469

---

CONFERENCIA DE CIERRE	493
-----------------------	-----

La necesidad de la validación en los procesos de geosimulación <i>Montserrat Gómez Delgado</i>	495
---	-----

NOTAS INFORMATIVAS	519
--------------------	-----

Revista Ciencias Espaciales, instrucciones a los autores y criterios para el diseño, diagramación y maquetación	521
--	-----





MEMORIA XIV CONFERENCIA  
IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PARTE II



# CARTOGRAFÍA, CATASTRO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPALES



# *Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura: el catastro agrícola en Cuba*

Ponvert Delisles D.R, F. Samuel Kelly y I. Reyes

## **Resumen**

Las técnicas geomáticas, geoinformáticas o de geoinformación, como se prefiera nombrarlas, son un conjunto de tecnologías geoespaciales así como programas informáticos especializados para el análisis de los datos y su representación espacial. Entre las más importantes destacan la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y la cartografía, así como el software para el procesamiento digital y representación CAD, entre otros. Hoy en día sería casi imposible gestionar los procesos agrarios sin recurrir al empleo de alguna de estas técnicas. Una de las herramientas cartográficas temáticas fundamentales son los mapas catastrales, definidos como documentos cartográficos que representan los bienes inmuebles de un área agrícola con suficiente detalle espacial para facilitar la gestión a nivel de parcelas, sub-parcelas e incluso a escala intraparcularia. Precisamente el trabajo tiene como objetivo demostrar la necesidad e importancia del empleo de las herramientas catastrales para lograr una gestión agraria y territorial eficiente. Para ello se hace analiza el avance del catastro como sistema en Cuba, llegando a la concepción contemporánea y se particulariza en los catastros especializados para el sector, mostrando un ejemplo concreto que permite a los directivos y especialistas de las pymes apreciar sus bondades.

**Palabras clave:** Geomática. Cartografía. Catastro. Mapas. Agricultura.

## **Abstract**

Geomatics, Geoinformatics or Geoinformation techniques, like it is preferred to name them, they are a group of the geospatial technologies as well as specialized computer programs in data analysis and its spatial representation. Among the most important highlights Remote Sensing, the Geographical Information Systems (GIS), the Global Positioning Systems (GPS) and the Cartography, as well as software for the digital processing and CAD representation among others. Today in day would be almost impossible to management the agrarian processes without appealing

to the employment of some of these techniques. One of the fundamental thematic cartographic tools are the cadastral maps, defined as cartographic documents that represent the goods properties of an agricultural area with enough it spatial details to facilitate the management at level of parcels, sub-parcels and even to inside of the parcels scale. The work in fact has as objective to demonstrate the necessity and importance of the employment of the cadastral tools to achieve an efficient agrarian and territorial management. For it the advance of the cadastre like system in Cuba is exposed, arriving to the contemporary conception and emphasizing in the specialized kind of cadastres for the branch, showing a concrete example which allow to managers and specialist of the PyMES to appreciate their kindness.

**Keywords:** Geomatics. Cartography. Cadastre. Maps. Agriculture

---

**Ponvert Delisles D.R** (dponvert@isch.edu.cu), Grupo de Investigaciones Agrofísicas (GIAF) /Universidad Agraria de La Habana (UNAH); **F. Samuel Kelly** (kelly@uct.geocuba.cu), Agencia de Catastro / Empresa GEOCUBA-Investigación y Consultoría; **I. Reyes** (ines@uct@geocuba.cu), Agencia de Catastro / Empresa GEOCUBA-Investigación y Consultoría.

## 1.INTRODUCCIÓN

Las tecnologías geomáticas, geoinformáticas o de geoinformación, como se prefiera nombrarlas, son un conjunto de tecnologías geoespaciales, así como programas informáticos especializados empleados en el análisis de los datos sobre la tierra y su representación espacial. Hoy en día sería casi imposible gestionar los procesos agrarios sin recurrir al empleo de alguna de ellas, ya que el sector profesional moderno de las ciencias agropecuarias está necesitado de apreciar y evaluar acciones que provocan las fuerzas productivas y la naturaleza sobre la producción agropecuaria. Estas incluyen a los sistemas geodésicos de referencia, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la cartografía, la fotogrametría, la teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las mismas se sustentan en los sistemas de conocimientos, teorías y conceptos de las ciencias matemáticas, física, química, la astronomía, la geodesia física y la tecnología espacial; así como en el uso y manejo de bases de datos, computación gráfica y la inteligencia artificial (Konecny, 2003).

La tendencia contemporánea en países desarrollados y en muchos países en vías de desarrollo es introducir y aplicar en un grado cada vez mayor estas tecnologías en los distintos procesos de la agricultura, contribuyendo con ellas a realizar una gestión agraria más eficiente. Es lo algunos llaman la “geomatización de la agricultura”. En el caso particular de Cuba, la introducción de estas técnicas ha sido muy lenta por varios factores, entre los que cabe citar, en primer lugar, la falta de competencias y capacidades por parte del capital humano de las entidades agropecuarias. También ha influido el costo relativo de estas tecnologías, productos derivados y servicios en el mercado internacional y la inexistencia de una política adecuada que permita la introducción paulatina de las tecnologías y la formación de capacidades en los futuros técnicos, directivos y especialistas del sector. Aún con estas limitantes, en algunas entidades se aprecia el interés por su introducción y algunos resultados modestos.

Entre las aplicaciones tradicionales claves en áreas especiales de interés económico y profesional, una de las herramientas de geoinformación que ha adquirido un desarrollo significativo en los últimos veinte años ha sido la cartografía, en especial la cartografía catastral y su principal desarrollo: el catastro y en cierta medida el catastro agrícola. Como herramienta cartográfica base para la gestión agraria a nivel de parcelas, adquiere una importancia apreciable para el manejo de los procesos agrarios, medioambientales y la gestión de riesgos de desastres y, consecuentemente, en la toma de decisiones sobre estos aspectos, sobre todo a escala local, que es la básica en las entidades agropecuarias (fincas, granjas,

complejos agroindustriales, etc.) y en las pequeñas y medianas empresas agropecuarias (pymes).

Por ello, es imprescindible que en los directivos, especialistas, técnicos y trabajadores agropecuarios, cada uno a su nivel, manejen los conceptos y herramientas que le proporcionan los sistemas de catastros creados en sus respectivas entidades, para lo cual son necesarias un conjunto de condiciones técnicas y organizativas que facilitarían la implementación de los procesos catastrales.

## **2. EL SISTEMA CATASTRAL EN CUBA. PERSPECTIVA HISTÓRICA**

### **2.1 El catastro en Cuba. Breve bosquejo histórico**

El desarrollo del Catastro Nacional en Cuba desde su creación misma (aproximadamente en el año 1990), ha estado orientado a realizar una serie de transformaciones para una gestión catastral más eficiente, en aras de lograr un catastro multi utilitario con un impacto loable en el ordenamiento jurídico, económico, social y territorial del país.

En esta búsqueda, ha transitado por diferentes etapas de desarrollo en que se cuenta con un sistema informativo para el manejo de los datos referidos al catastro rural y otro similar para los datos referidos a los territorios urbanos. Con la característica común de que ambos sistemas obtienen los datos de una única base de datos geoespacial, denominada mapa base de datos catastrales (desarrollada aproximadamente en el año 2009), la cual ha sido diseñada sobre un servidor de datos que permite el acceso a cada uno de los usuarios del sistema, de forma simultánea y remota, aunque es oportuno aclarar que este resultado se encuentra implementado sólo en aquellos territorios donde se ha logrado la digitización del mapa catastral.

Como antecedentes del MBDC, cabe indicar que el Mapa Catastral de la República de Cuba en formato impreso está concluido a la escala 1:10 000 para el territorio rural (Mapa 1) y, asociada a esta información existe una base de datos alfanumérica digital que establece un conjunto de informaciones literales acerca del uso y tenencia de la tierra a nivel municipal. Dicho mapa cubre los 109 886.19 km<sup>2</sup> de tierra firme y cayos del territorio nacional.



Mapa 1: Esquema de representación de la mapificación catastral en Cuba a la escala 1:10 000



Fuente: Elaboración propia

Por su parte los territorios urbanos se representan en el sistema informativo nacional de manera muy general y actualmente se realizan los levantamientos topográficos requeridos a escalas que oscilan entre 1: 500 a 1: 2000 según las características del territorio, para la incorporación al catastro nacional de los datos relacionados con las manzanas y las parcelas.

Sin embargo, el carácter multiutilitario deseado del catastro se ha visto limitado, entre otros factores, por la generalización impuesta por la escala de trabajo (1: 10 000), en la cual no es posible la representación de elementos de pequeñas dimensiones, como se requiere para la inscripción de los bienes inmuebles en el registro de la propiedad. De ahí que tanto para el catastro urbano como el rural sea necesario definir y desarrollar la estructura de los datos asociados al mismo, con vista a satisfacer las demandas de los diferentes usuarios potenciales, incluyendo las funciones jurídicas (relacionadas con su vinculación al Registro de la Propiedad) y Fiscal (relacionadas con el Cálculo del Valor Catastral).

En los momentos actuales el catastro en Cuba se consolida como un sistema catastral moderno luego de haber transitado por una etapa inicial de menor desarrollo, denominada "catastro tradicional". Este término se introdujo para referirse al catastro nacional que se concibió en la Época Colonial (1745), desarrollándose en varias etapas sucesivas hasta el año 2005, cuando se comienzan a introducir

una serie de modificaciones que lo han llevado a un catastro más actual.

La característica fundamental del catastro tradicional es que se realiza mediante técnicas combinadas de levantamiento aerofotográfico y trabajos de campo, teniendo como resultado principal la representación cartográfica del medio rural (o urbano) a una escala grande, que permita apreciar los objetos inmobiliarios con suficiente nivel de detalles.

Como se mencionó antes, el país cuenta con el catastro nacional de las zonas rurales mapificado fundamentalmente a la escala 1:10.000, que constituye el Mapa Oficial del Catastro Nacional de la República de Cuba, del cual existe la totalidad de las hojas cartográficas de 500 x 500 mm sobre una superficie plana e indeformable de acetato, que garantiza su perdurabilidad; así como toda la información literal digital de las parcelas y sus poseedores, al tiempo que se continúa trabajando en la implementación de la información catastral rural en el Sistema Informativo (SI) del Catastro Nacional. Su contenido abarca todos aquellos objetos (parcelas) con superficies superiores a 2500 m<sup>2</sup>, incluyendo los objetos lineales como carreteras y cursos de agua con un ancho mayor a 6 m. Aquellos objetos lineales con un ancho menor de 6 m, no constituyen parcelas y por lo tanto no se representan, exceptuando las guardarrayas y ríos que se representan mediante un símbolo convencional.

Las informaciones principales del catastro rural son las siguientes: *i) Técnicas*: numeración de las parcelas, delimitación y ubicación de las parcelas, superficies de las parcelas; *ii) Usos de la tierra*: usos agrícolas, usos no agrícolas y *iii) Tenencia*: nombre o denominación oficial, dirección oficial, sector rama y sub-rama de la economía según el Código de Actividad Económica Fundamental (CAE), regímenes de tenencias y numeración de los tenentes o poseedores (Figura 1).

En Cuba, la cartografía catastral rural se representa en las siguientes escalas: 1:5.000: Para los lugares de extensión limitada donde existe una elevada densidad de parcelas por km<sup>2</sup>; 1:10.000: En general, para todos los territorios rurales; y 1:25.000: Para zonas extensas con coberturas bastante homogéneas y con elementos planimétricos de interés catastral como son las zonas pantanosas y forestales.

Figura 1: Tipología del catastro en Cuba y sus atributos fundamentales



Fuente: Elaboración propia

El catastro moderno se fundamenta en el acervo organizativo, técnico y experiencias acumuladas en los años precedentes, pero con un basamento más efectivo en los avances tecnológicos y científicos más actuales, entre ellos, las tecnologías geomáticas y en especial la teledetección, los SIG y los GPS. Además, se aprovechan los avances en las TIC, las telecomunicaciones y el manejo de las bases de datos geográficas, entre otros. Todo ello sentó las bases para la creación a partir del año 2006 del nuevo Sistema de Información del Catastro Nacional sobre plataforma SIG, iniciándose los trabajos para su implantación en todo el país, comenzando además, la ejecución del catastro urbano, aunque de manera lenta y experimental en 19 municipios del país.

## 2.2 Definiciones clave para comprender la esencia del catastro

En Cuba, la Norma Cubana NC 57-18 de 1983 establece algunas definiciones que son clave para la comprensión y funcionamiento del catastro en el escenario nacional.

*Catastro Nacional:* Expresión gráfica y literal de los bienes inmuebles del país, que abarca la posesión inmobiliaria de las personas naturales y jurídicas, mediante la cual se obtiene el conocimiento real del territorio nacional. Es un registro en el que se inscribe la delimitación precisa de las unidades fundamentales en que

a los efectos del catastro se divide el territorio nacional.

*Parcela:* Unidad técnica básica del catastro nacional, constituida por una extensión definida y delimitada por elementos físicos identificables y reconocibles por su posesión, uso del suelo y configuración. En ella se representa gráficamente la forma del uso del suelo, expresada generalmente por un símbolo convencional y un número de registro dentro de la zona catastral a la cual pertenece. Además, literalmente se ubica en la provincia, municipio, zona catastral y hoja del mapa catastral en la cual se encuentra total o parcialmente en su mayor proporción; también de forma codificada en el listado parcelario aparecen el poseedor a la cual pertenece o por quién está siendo explotada, su superficie expresada hasta la centésima de hectárea, tipo de superficie y tipo de uso, sector, rama y sub-rama de la economía nacional a la cual pertenece su poseedor.

*Mapificación catastral:* Conjunto de procedimientos laborales con el objetivo de realizar el catastro nacional.

*Escala del mapa catastral:* La escala fundamental para la mapificación catastral es 1:10.000, teniendo como complementaria la escala 1:25.000 para los territorios extensos con pocos contornos o elementos planimétricos de interés catastral. También existe la escala complementaria 1:5.000, que se emplea en territorios de extensión limitada, donde se estima existe una elevada densidad de parcelas por km<sup>2</sup>, dando origen a un mapa excesivamente cargado. La mapificación a esta escala dentro de un municipio dado se realiza en bloques compactos teniendo en cuenta la superficie completa de las hojas de mapas a escala 1:10.000.

En el catastro nacional de acuerdo al uso del suelo de las parcelas se ha establecido una clasificación, que es la vigente en la actualidad, aunque la misma requiere ser perfeccionada y actualizada de acuerdo a los conceptos y criterios que se manejan a escala internacional, sobre todo en el contexto regional donde Cuba se inserta, con relación a los tipos de usos actuales y potenciales. Una de los tipos de superficie, y de los más importantes para los efectos del presente trabajo, es la *superficie agrícola*. Como ella, en la Norma NC 57-18, se establecen otros 8 tipos de superficies, algunas de ellas con varias sub-clases. La *superficie agrícola*, en dicha norma, ha recibido el código 20 y los tipos de usos que se han considerado en ella aparecen reflejados en la Tabla 1.

En consecuencia, ¿cuál sería el aporte del catastro a las políticas de desarrollo rural? En primer lugar, el catastro provee información de primera mano para la toma de decisiones sobre la estructura de la tierra, sobre su uso, su valor, y sobre

Tabla 1: Tipos de usos de la superficie “agrícola” y sus parcelas correspondientes

Tipo de Superficie: AGRÍCOLA		Código: 20
Cod.	Tipo de Uso	Subtipos de parcelas
20.01	CANA	Parcelas dedicadas de forma permanente al cultivo de la caña de azúcar Parcelas en preparación cultural actual para la plantación de la caña de azúcar
20.02	CITRICOS	Limón Naranja Toronja Mandarina Lima y otras
20.03	CAFE	Solo Acompañado con especies forestales Acompañado con especies frutales Acompañado de ambas especies Acompañado de cacao y otra categoría Acompañado por cultivos temporales
20.04	CACAO	Solo Acompañado con especies forestales Acompañado con especies frutales Acompañado de ambas especies Acompañado de café y otra categoría Acompañado por cultivos temporales
20.05	FIBRAS	Kenaf Henequén u otras
20.06	ARROZ	Parcelas dedicadas o en preparación cultural para el cultivo del arroz (Se incluyen las zanjias interiores dedicadas al riego y al drenaje. Se excluyen los caminos interiores con anchura superior a 0.6 mm a la escala del mapa con o sin material árido de mejoramiento).
20.07	TABACO	Parcelas dedicadas o en preparación cultural para la plantación del cultivo. Parcelas dedicadas a semilleros de tabaco
20.08	OTROS FRUTALES	Piña, Plátano (fruta y vianda), fruta bomba Coco Mango, aguacate, guayaba, anonáceas, caimito, mamey, ciruela, bija, granada y otros. Arboledas
20.09	CULTIVOS VARIOS (GRANOS, HORTALIZAS, TUBERCULOS Y RAICES)	Parcelas dedicadas o en preparación cultural para la siembra o plantación de los cultivos, de granos: maíz, frijoles, maní, ajonjolí y otros. Parcelas dedicadas o en preparación cultural para la siembra de hortalizas: tomate, cebolla, ají, pepino, col, berro, berenjena, lechuga, habichuela, chayote, remolacha, zanahoria, nabo, perejil, ajo, otros. Parcelas dedicadas o en preparación cultural para la siembra de raíces y tubérculos: papa, malanga, yuca, boniato, ñame y otros (melón y calabaza).
20.11	PASTO NO CULTIVADO	Parcelas ocupadas por gramíneas de crecimiento espontáneo que pueden ser utilizadas directamente del suelo para su alimentación por cualquier tipo de ganadería y que no recibe atención cultural sistemáticamente. Se incluyen aquellas parcelas invadidas por especies indeseables hasta tanto exista una superficie aprovechable del 50% o más, de lo contrario se clasifica en otra categoría de uso del suelo.
20.12	PASTO CULTIVADO	Parcelas dedicadas y en explotación actual de especies vegetales que pueden servir como pasto directo por cualquier tipo de ganadería o como forraje, que han sido sembradas o plantadas por el hombre y recibe sistemáticamente su atención cultural. Se incluyen a todas las parcelas ocupadas especies dedicadas a pastos tales como gramíneas, leguminosas, etc.
20.13	OTROS CULTIVOS NO CLASIFICADOS	Se incluyen a las parcelas dedicadas a las plantaciones de flores, plantas medicinales, plantas esenciales, y otras de características similares.
20.14	SUPERFICIE OCIOSA	Parcelas que estando aptas para ser cultivadas, no tienen utilización agrícola alguna en las fechas de la investigación desde un tiempo prudencial anterior y que por sus características es posible proceder a su preparación y siembra. Se incluyen aquellas parcelas cubiertas en su mayor parte por algún tipo de arbusto o yerba de poca utilidad directa conocida como manigua.

la dinámica y evolución de la tierra y bienes inmobiliarios rurales.

En segundo lugar, permite evaluar las tierras en términos de su productividad y de su vocación, su uso actual y potencial, conformando una base de información sobre las limitantes y restricciones de uso de la oferta agroecológica.

En tercer término proporciona información relativa a factores sociales, económicos, ambientales y de desarrollo territorial relativo, facilitando a través del modelamiento de las zonas homogéneas geoeconómicas rurales o áreas homogéneas de tierra, un punto de referencia para la planificación de las inversiones, el desarrollo agroindustrial, la organización de complejos productivos y, en general, la planificación del desarrollo rural integrado. Finalmente la información generada por el catastro y expresada en bases de datos catastrales sobre el uso y tenencia de la tierra, su dinámica y evolución, proporciona valiosas evidencias como materia prima del análisis de los estudios de la problemática agraria y rural (Gómez, et al., 2008).

### **2.3 El modelo catastral cubano contemporáneo y sus características**

La definición de un modelo teórico es especialmente importante para aquellos países que como Cuba se plantean la modernización del catastro y que muchas veces tratan de importar erróneamente modelos establecidos desde hace mucho tiempo por países con otras condiciones sociales, legales y económicas, o por empresas privadas que velan por sus propios intereses. En nuestro caso, la base fundamental del modelo debe estar encaminada a lograr que los objetos y sujetos del sistema catastral, así como sus funciones, estén correctamente definidos y no sujetos a interpretaciones locales o individuales. Es igualmente importante observar la ontología del sistema; los conceptos, las relaciones entre sus elementos, y sus jerarquías bien definidas y estructuradas para que tengan funcionalidad y puedan interactuar adecuadamente.

Para lograrlo, se ha tomado en cuenta la norma ISO TC 211 -19152 que plantea que, para permitir la flexibilidad de adaptación a los distintos modelos de catastro existentes, hay que partir de la definición de un esquema conceptual compuesto de cuatro elementos, denominados "paquetes independientes" que son los siguientes: 1) Personas; 2) Objetos inmuebles; 3) Derechos/responsabilidades/restricciones; y 4) Geometría/topología. Esos paquetes integran de una manera ordenada, todos los elementos de un sistema de catastro ideal, sus atributos, sus fuentes, sus unidades, sus relaciones (temporales y espaciales), sus jerarquías y sus representaciones en una forma esquemática y estandarizada.

De aquí que la definición del modelo para la gestión catastral en Cuba, deba cumplir con el esquema conceptual general planteado en la norma, integrando todas las variables que componen la gestión catastral de acuerdo a las particularidades, tradiciones y necesidades del catastro en el país y cuyo planteamiento funcional y relacional se muestra en el esquema de la Figura 2.

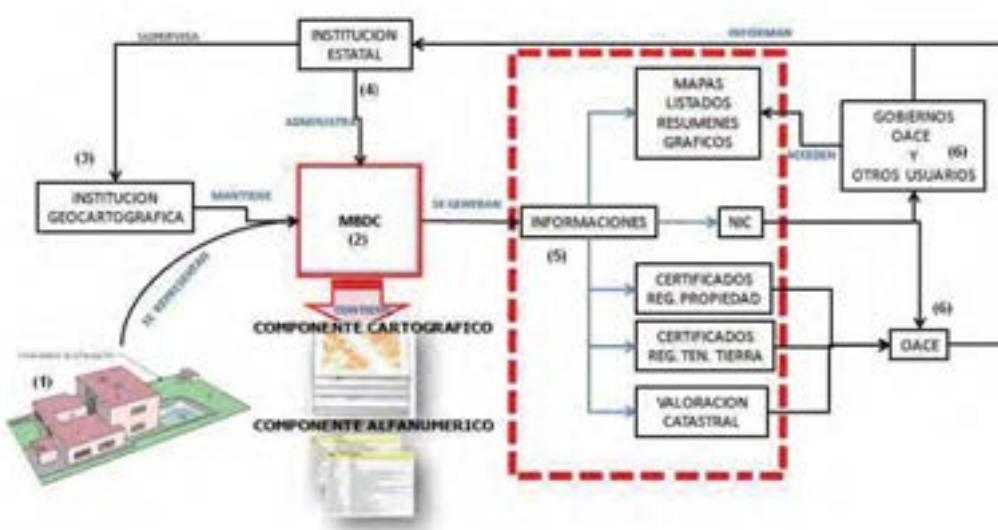
El modelo parte de la representación de los “objetos inmobiliarios” (1) que son cada uno de los bienes inmuebles del territorio nacional. En el caso del Catastro Nacional de Cuba, los bienes inmuebles constituyen parcelas (rurales o urbanas), que a su vez son la unidad básica de información territorial. El núcleo de este modelo lo constituye el Mapa Base de Datos Catastrales (MBDC) (2), en el cual cada objeto inmobiliario se representa como un elemento que tiene un componente cartográfico y un componente alfanumérico. Para la representación de los objetos inmobiliarios se utiliza un sistema de codificación que identifica las características de cada objeto y a su vez se utiliza para el mantenimiento actualizado de los mismos de forma automatizada. El MBDC es mantenido y actualizado por la “institución geo cartográfica correspondiente” (3), mientras que su administración corre a cargo de la “institución estatal correspondiente” (4). A partir de este MBDC, se generan diferentes tipos de “informaciones” (5). Estas constituyen un paquete adicional incorporado al modelo en las condiciones concretas de Cuba, siendo las principales los listados, resúmenes, gráficos y diferentes tipos de mapas que se obtienen a diferentes escalas según su objetivo. Algunas de estas informaciones son demandadas y/o exigidas por diferentes organismos de la administración central del Estado y otros usuarios (6).

### 3. EL CATASTRO AGRÍCOLA EN CUBA

#### 3.1 El catastro agrícola. Tipología y características

El catastro agrícola es un catastro diseñado para satisfacer las necesidades de la gestión agraria. Con la realización del Catastro Nacional en Cuba, se cuenta por primera vez con un registro gráfico y literal sobre el uso, tenencia y extensión de la tierra que permite establecer con el rigor técnico y sistematicidad, el adecuado control e información sobre los cambios que se producen en este recurso tan importante, sirviendo a su vez como base para el cumplimiento de múltiples objetivos.

Figura 2: Diseño de un modelo de gestión catastral para el caso de Cuba teniendo como núcleo el Mapa Base de Datos Catastrales (MBDC)



Fuente: Elaboración propia

Uno de los logros del catastro en Cuba, fue la confección de los registros especializados, durante los años noventa, empleándose como información base el mapa catastral realizado a escala 1:10.000, para generar este tipo de productos. El primero de ellos fue el Registro Especializado Cañero (REC), realizado para servir de herramienta cartográfica a escala intraparcelaria en la gestión de los recursos de la agroindustria azucarera: plantaciones; producción cañera, planificación del uso de la tierra, control de la cobertura, planificación de la cosecha, aplicación de insumos, estimación del rendimiento, etc. En un principio, se realizaron a partir de los recursos disponibles en cada territorio (provincia y municipio) y en muchos casos, se realizó con la tecnología existente en el momento (tradicional, manual), por lo que los resultados se entregaron en formato impreso, sin que existiera una política definida en cuanto a la actualización de los datos. Aunque esta actividad decayó desde la última década del siglo XX, hasta la actualidad, se logró aun con estos altibajos, generalizar este tipo de producto catastral en todo el territorio nacional con resultados satisfactorios.

Otros registros especializados realizados en ese tiempo fueron el Registro Especializado para el Cafeto y el Registro Especializado para los Cítricos, en lo fundamental, siguiendo las mismas pautas que para el caso del REC, sin que sus



resultados alcanzaran el mismo grado de prioridad y de generalización. No obstante, estas producciones catastrales se inscriben dentro del modesto desarrollo del Catastro Nacional, acumulándose un cúmulo de experiencias en lo tecnológico y metodológico que sin dudas contribuirían al perfeccionamiento de esta actividad en el marco del nuevo modelo de gestión catastral que se comienza a implementar en el país. Destacan también los catastros con interés agropecuario, desarrollados por Samuel y Salas (2008), conocidos como el Inventario Catastral Pecuario (FS\_GEOPEC) y el Sistema Informativo Territorial (FS\_AGROSIG) que tuvieron su aplicación práctica en el ordenamiento territorial de la Empresa Pecuaría "Niña Bonita" y la Empresa de Cultivos Varios de La Habana respectivamente.

Hoy, con el desarrollo de un sistema informativo automatizado para el Catastro Nacional, la situación se torna diferente, pues se garantiza la necesaria vinculación entre los datos gráficos y literales, facilitando el manejo y la actualización de los mismos. No obstante, los datos catastrales no llegan a satisfacer las necesidades particulares de disímiles usuarios y es por ello que el desarrollo del catastro especializado cobra un interés adicional. De aquí, que el catastro especializado en nuestro país tiene como tarea fundamental, la de crear un registro gráfico y literal de inmuebles con información específica en función de las características de cada inmueble.

Considerando estos antecedentes, se desarrollan las bases cartográficas catastrales que servirán de apoyo a la gestión agraria, medioambiental y de riesgo de desastres tomando como referencia los trabajos realizados del REC, de lo cual se muestra un ejemplo a continuación.

### 3.2 Ejemplos de aplicaciones catastrales

Para ilustrar los aspectos funcionales y metodológicos tenidos en cuenta en la elaboración de un catastro agrícola, se presenta como caso de estudio el del "Catastro Especializado para el Cultivo de la Caña de Azúcar en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Chapeo", de la Empresa Azucarera "Antonio Sánchez", provincia Cienfuegos.

*Ubicación:* La UBPC "Chapeo", pertenece a la empresa "Antonio Sánchez" del Grupo Empresarial CUBAZUCAR. Está ubicada en las inmediaciones del municipio "Aguada de Pasajeros", provincia "Cienfuegos" (ver el Mapa 2), teniendo como coordenadas centrales X 511.445,98 m Y 276.021,17 m.

*Objetivo:* Apoyar los procesos de toma de decisiones por parte de los em-

presarios y especialistas de la entidad empresarial de base. Sus características principales son:

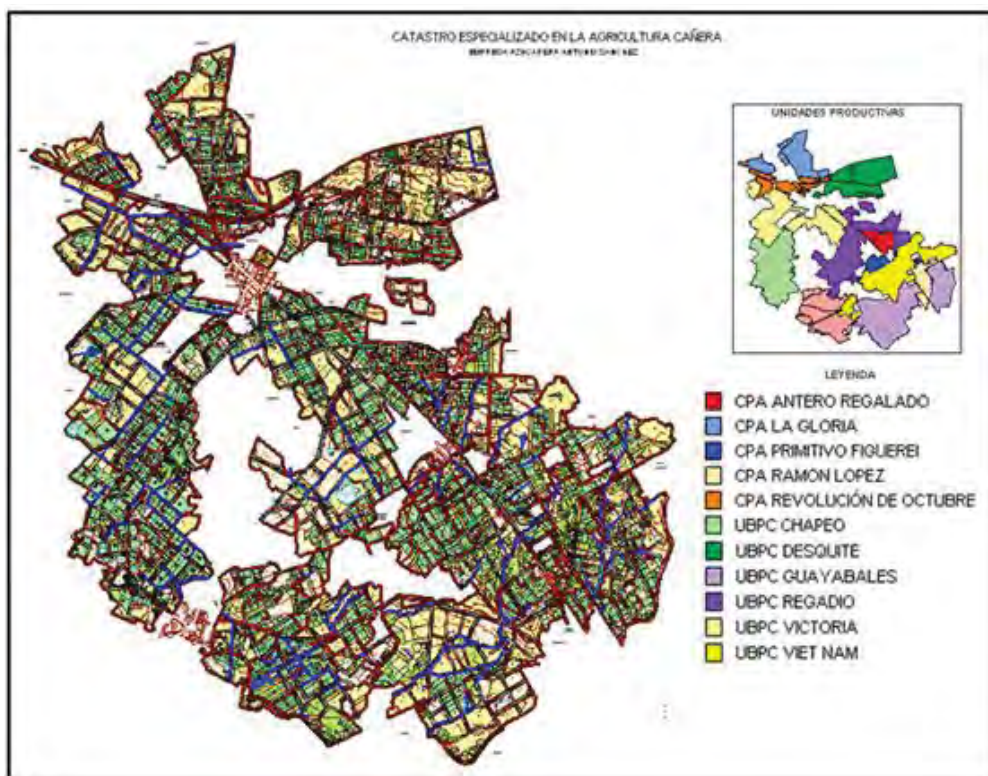
*Base cartográfica:* La base cartográfica utilizada es el Mapa Oficial del Catastro Nacional (mapa catastral) a escala 1:10.000, confeccionado mediante métodos aerocartográficos (confección de fotoplanos y restitución fotogramétrica) completados con levantamientos topográficos de campo. Este está confeccionado para todo el país, habiéndose tomado el fragmento que contiene los límites administrativos de la UBPC, estando su ejecución inicial a cargo de la empresa territorial correspondiente, perteneciente al Grupo Empresarial GEOCUBA.

*Bases de datos alfanuméricas:* Paralelamente a la creación de las capas temáticas en formato digital vectorial y con el fin de unificar criterios para los análisis espaciales ulteriores, a cada parcela de cada capa se le asignó un conjunto de atributos alfanuméricos para caracterizarlas cualitativa y cuantitativamente (nombres y códigos) de acuerdo a la Norma NC-57-18 ya mencionada. En la Figura 1, se aprecian algunos de los elementos de la base de datos alfanumérica.

Como resultado de la integración en una base de datos geoespacial de la base cartográfica, los datos alfanuméricos y otros datos de carácter territorial, surge el Mapa Base de Datos Catastrales mostrado en la Fig. 2, del cual se generan un conjunto de informaciones catastrales como es el caso del Mapa Catastral Especializado de la UBPC que se muestra en el Mapa 2.

*Mapa catastral especializado:* para confeccionar el Mapa Catastral Especializado para el Cultivo de la Caña de Azúcar de la UBPC "Chapeo", se utilizaron las BD gráficas y alfanuméricas integradas en el Mapa Base de Datos Catastrales (MBDC), basándose en la selección y especialización de objetos cartográficos. La generación del documento cartográfico es posible mediante un grupo de acciones ejecutadas gracias a la implementación de una rutina informática programada en el Sistema Informativo del Catastro Nacional. Para este caso concreto, los procesos que permitieron sintetizar la información de las bases de datos y generar la cartografía catastral a la escala 1:10.000 fueron: 1) Identificación y selección de las parcelas de la unidad productiva; 2) Crear la estructura del registro especializado del cultivo de la caña; 3) Crear la estructura de las tablas, 4) Cálculo de superficie; 5) Asignación de atributos; 6) Compilación cartográfica.

Mapa 2: Ubicación geográfica de la empresa azucarera “Antonio Sánchez”



Fuente: Adaptado del REC de la empresa azucarera “Antonio Sánchez”, realizado por la empresa GEOCUBA Cienfuegos, en el año 2007.

En el Mapa 3 se muestra una versión del Mapa Catastral Especializado para el Cultivo la Caña de Azúcar de la UBPC “Chapeo”, realizado de acuerdo a los procedimientos descritos.

Características de empleo: Mapa Catastral Especializado para el Cultivo la Caña de Azúcar de la UBPC “Chapeo”, es una herramienta para apoyar la gestión agraria, medio ambiental y de riesgo de desastres, durante la toma de decisiones de los directivos, técnicos y especialistas de la entidad empresarial. El mismo facilita la apreciación y evaluación de un conjunto de acciones relativas a: 1) La estructura de la tierra: para ejercer la planificación y organización de los recursos naturales existentes; 2) El uso de la tierra: para la asignación de este en función de su vocación agro productiva y la planificación de insumos; 3) Al valor catastral: para calcular las variables impositivas de los inmuebles; 4) La dinámica y evolución de la

tierra: para conocer la fluctuación del valor inmobiliario, registrar estas variaciones y conocer sus causas; 5) El uso actual y potencial: para establecer políticas y estrategias de sostenibilidad conociendo los factores limitantes; 6) Las inversiones más apropiadas y su ubicación; 7) Análisis de la problemática agraria y rural: familias, bienes y servicios ambientales, recursos y medios de vida, capacidades; y 8) Las condiciones de riesgo de desastre: para conocer los factores de vulnerabilidad y su localización.

Mapa 3. Mapa catastral especializado para el cultivo la caña de azúcar de la UBPC "Chapeo"



Fuente: Adaptado del REC de la Empresa Azucarera "Antonio Sánchez", realizado por la Empresa GEOCUBA Cienfuegos, en el año 2007.

#### 4. CONCLUSIONES

- 1) Que se incrementa la necesidad de utilizar los mapas catastrales y en especial los especializados, para apoyar la toma de decisiones en el sector agrario, sobre todo en lo que tiene que ver con procesos que ocurren a escala parcelaria e intraparcularia.
- 2) Que tal necesidad está determinada por razones objetivas impuestas por las políticas de desarrollo en el sector, influenciadas por la dinámica de los cambios en

el uso y ocupación de la Tierra, acaecidos a partir de la aplicación del Decreto-Ley No. 259 (300), que refrenda la entrega en usufructo de tierras ociosas a pequeños productores agropecuarios, y del impulso que se está dando a la aplicación de la agricultura de precisión en una serie de escenarios agrarios.

La pertinencia del modelo de gestión catastral que utiliza como centro el Mapa Base de Datos Catastrales (MBDC), el que permite de manera automatizada la generación de diferentes tipos de mapas temáticos a diferentes escalas y de manera especial los catastros especializados, lo cual constituye un avance tecnológico significativo en las condiciones de Cuba.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Águila, M., D.A. Erba (2006): “El rol del catastro en el registro del territorio”. Educación a Distancia. Curso de Impuestos a la Propiedad Inmobiliaria y Valuación de inmuebles. P.2, Lincoln Institute and Land Policy.
- Enemark, S., “La construcción de políticas de información territorial. Dinamarca”. [consulta: 04-05-2012]. Disponible en [http://www.fig.net/pub/mexicopapers\\_span/tS2\\_enemark](http://www.fig.net/pub/mexicopapers_span/tS2_enemark).
- Felipe Kelly, S. (2011): “Capítulo 1: Generalidades. Conceptos fundamentales y características generales del Catastro Nacional e internacional”. Documento de texto para la Maestría en Geomática. Geocuba-IC, La Habana, Cuba.
- Gómez, I. D, L. Bustamante y J.H. Granados (2008): “El Catastro Nacional: su quehacer y contribución a las políticas públicas”. *Análisis Geográfico*. Revista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. No. 34. Pp. 1-264. Bogotá, D.C., Colombia.
- IGAC (1988). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Resolución 2555 de 1988.
- Konecny, G. (2003): “Recent Global Changes in Geomatics Education”, The International Archives of the Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV. Part. 8, CVI.
- Norma Cubana NC 57-18 (1983): “Catastro Nacional, geodesia y cartografía”, Comité Estatal de Normalización, Nivel Central, La Habana, Cuba.
- Norma ISO TC 211 -19152, Guía de Normas ISO/TC 211, Guía de Normas Edición en español Comité ISO/TC 211 Información Geográfica. Grupo Consultivo

de Geomática del IPGH. [consulta: 09-05-2012]. Disponible en: [www.isotc211.org/.../ISO\\_TC\\_211\\_Standards\\_Guide\\_Spanish.pdf](http://www.isotc211.org/.../ISO_TC_211_Standards_Guide_Spanish.pdf)

- Samuel Kelly, F. y F.D Salas (2008): “Algunas aplicaciones del Catastro Nacional con interés agropecuario”, *Mapping*, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, No. 130, ISSN: 1.131-9.100, Madrid, España.

# *Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa, Argentina*

Beatriz Dillon, Daila G. Pombo,  
Ma. Celeste Martínez Uncal

## **Resumen**

Disponer de información actualizada, acompañada de una expresión gráfica apropiada, permite conocer y analizar la compleja y dinámica realidad de cualquier espacio; conocimiento indispensable para concretar distintos proyectos de ordenamiento territorial. Por este motivo, para el desarrollo económico y social del país se requiere información cartográfica, catastral y geográfica de precisión.

Los atlas son un conjunto de cartas temáticas integradas que permiten, a los distintos usuarios, conocer y comprender el espacio y su complejidad, despertando el interés de los usuarios en diferentes actividades.

En esta comunicación se enfatizan los aspectos metodológicos del proyecto de investigación "Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa, Argentina". Presenta los avances de los primeros meses de trabajo y cómo se pretende continuar con la elaboración de la cartografía.

Esta investigación intenta dar respuesta a la necesidad de disponer de información confiable, actualizada y de fácil acceso para diferentes usuarios. Por este motivo se pretende gestionar el conocimiento geográfico y satelital de esta provincia diseñando y construyendo una herramienta interactiva y permanente que permita analizar, explicar e interpretar la realidad socio territorial de la provincia y sus desigualdades, a partir del empleo de cartografía estática y de un visualizador de datos geoespaciales, sustentado en un Sistema de Información Espacial.

Actualmente, por la necesidad de confeccionar mapas que se puedan actualizar fácilmente y que además sean precisos y claros, es casi indispensable la adopción de medios que respondan a estas exigencias y permitan el desarrollo de operaciones que, de otra manera resultan largas y onerosas. En este caso, la cartografía digital y otras tecnologías de la información, poseen un gran número de funciones y facilidades para la producción de mapas, incorporadas en el diseño asistido por computadora, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la percepción remota, entre otras.

**Palabras claves:** Cartografía digital. SIG. Datos geoespaciales. Percepción remota.

## Abstract

To have information updated, accompanied of a graphical appropriate expression, it allows to know and to analyze the complex and dynamic reality of any space; indispensable knowledge to make concrete different projects of territorial classification. For this motive, for the economic and social development of the country there is needed cartographic, property and geographical information of precision.

The Atlas are a set of thematic integrated letters that allow, to the different users, to know and to understand the space and his complexity, carrying away to waking the interest of the users up in different activities. In this communication there are emphasized the methodological aspects of the project of investigation Geographical Atlas and Satelital of the Province of La Pampa, Argentina. He presents the advances of the first months of work and since it is tried to continue by the production of the cartography.

This investigation tries to give response to the need to have reliable, updated information and easy access for different users. For this motive one tries to manage the geographical knowledge and satelital of this Province designing and constructing an interactive and permanent tool that it allows to analyze, to make clear and to interpret the reality socioterritorial of the Province and his inequalities, from the employment of static cartography and of a display screen of geospatial data, sustained in a Spatial Information System.

Nowadays, for the need to make maps that could be updated easily, and that in addition are precise and clear, there is almost indispensable the adoption of means that answer to these requirements and allow the development of operations that, otherwise they turn out to be long and onerous. In this case, the digital cartography and other technologies of the information, they possess a great number of functions and facilities for the production of maps, incorporated in the computer aided design, the Geographical Information Systems (GIS) and the Remote Sensing, between others.

**Key words:** Cartography digital. GIS. Geospatial data. Remote sensing.

---

**DILLON, Beatriz** (dillonbeatriz@gmail.com); **POMBO, Daila G.** (dailapombo@gmail.com); **MARTÍNEZ UNCAL, Ma. Celeste** (mcelemu@yahoo.com.ar). Facultad de Ciencias Humanas, Instituto de Geografía, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de La Pampa.



## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo económico y social del país se requiere información cartográfica, catastral y geográfica de precisión. Esta información es utilizada para propósitos de desarrollo legislativo y de política, en la administración de tierras y de los recursos naturales, para la defensa y seguridad pública, como soporte de actividades reguladoras y en la promoción del entendimiento de la geografía física, económica y social del país.

Es así, “la cartografía se constituye una herramienta fundamental para el establecimiento de políticas de desarrollo nacional, regional y municipal. Por tal motivo, es necesario contar con cartografía actualizada de todo el territorio nacional, lo que implica disponer de aerofotografías recientes, imágenes de satélites y las más modernas técnicas de producción cartográfica” (Rey Martínez; 2007).

Por esto el propósito de los atlas temáticos, tanto en su modalidad clásica —atlas en papel— como en su modalidad informatizada —atlas digitales— es que constituyan una herramienta cartográfica útil para la comprensión de la situación ambiental actual, su evolución y tendencias.

De esta manera, “disponer de información pormenorizada, acompañada de una expresión gráfica apropiada, permite conocer y analizar la compleja y dinámica realidad ambiental de cualquier espacio; este conocimiento es indispensable para concretar con éxito distintos proyectos de ordenamiento ambiental, urbano y territorial” (Cardus y Ruiz; 2012).

En el conocimiento y desarrollo de un territorio, los mapas y cartas son instrumentos irremplazables como soporte para múltiples actividades. El mapa es la visualización de algo que existe en un lugar determinado (Brunet, 1987), dentro de la lógica espacial de la distribución de los fenómenos concretos y abstractos.

En los últimos treinta años, la importancia de los mapas como vía de comunicación ha sido incrementada por su uso en los distintos medios, que a su vez dependen de los avances de la tecnología. En ese sentido Kolácný (cit. por Anson & Ormeling, 1996) fue uno de los primeros en plantear que la construcción y el uso del mapa deben tratarse como un todo, no sólo como un soporte de datos, sino también como “un medio de comunicación de información territorial”.

Con los aportes de la fotografía aérea, la fotogrametría, la exploración espacial y la tecnología satelital, los procesos de impresión y el continuo desarrollo de las técnicas electrónicas, las telecomunicaciones, la automatización y la informáti-

ca, la cartografía ha visto facilitada la solución de viejos problemas.

Las transformaciones aceleradas que experimentan los paisajes urbanos y rurales, distintos procesos territoriales, los componentes ambientales, actividades socio-industriales y socio-culturales pueden ser estudiados con grandes ventajas, usando las tecnologías disponibles actualmente que facilitan su seguimiento, análisis y diagnóstico. Un mapa puede ayudar con eficacia a estudiar una época, a comprender determinadas situaciones, y proporcionar información acerca de las distribuciones espaciales. Es un medio eficiente de investigación y de expresión de los más variados aspectos, en la escala deseada. Conceptualmente debe tener en cuenta primero, la intención para la cual se elabora, acompañada del conocimiento científico de la temática que lo ocupa, de tal manera que los fenómenos visibles o los intangibles de un territorio natural u organizado se representen eficazmente; en segundo lugar, la satisfacción que debe comunicarse al usuario al poder descubrir la lógica de la organización del espacio que se representa.

Actualmente, por la necesidad de confeccionar mapas que se puedan actualizar fácilmente y que además sean precisos y claros, es casi indispensable la adopción de medios que respondan a estas exigencias y permitan el desarrollo de operaciones que, de otra manera resultan largas y onerosas. En este caso, la cartografía digital y otras tecnologías de la información, poseen un gran número de funciones y facilidades para la producción de mapas, incorporadas en el diseño asistido por computadora, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la percepción remota, entre otras.

Un recurso de la naturaleza de los SIG posibilita, en primer término, asociar a las unidades gráficas que recrean el espacio, sus atributos descriptores. La constante vinculación entre el ambiente gráfico y las bases alfanuméricas generan las condiciones para dinamizar las representaciones y asignarles un alto grado de verosimilitud en lo que a los cambios se refiere.

Un SIG "es un sistema de gestión de bases de datos que permite mapear, integrar y analizar información geográfica para resolver problemas en investigación, planificación, ordenamiento y gestión geográfica. Permite integrar distintos tipos de información proveniente de fotografías aéreas, imágenes de satélites, mapas, y según sea el nivel de definición en el que se trabaje, es posible convocar los datos en niveles local, regional o nacional, en todos los casos sobre la base de una extensión geográfica común y a su vez posibilitando la comunicación de resultados mediante mapas" (Cardús y Ruiz; 2012).

Se puede inferir entonces que para cumplir con esas acciones, es de fundamental importancia la integración multidisciplinar, que debe ser acompañada por la delimitación precisa del espacio de aplicación y la definición clara de los objetivos.

Para concretar distintas estrategias y acciones, los docentes, investigadores, decisores y administradores deben disponer de materiales, medios y/o recursos adecuados, tal es el caso de un atlas digital, de esta forma, se entiende que estos medios son materiales elaborados con la intención de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje, proveer información acerca de oportunidades existentes, problemas a ser resueltos, políticas a seguir y otras opciones; esos medios deben cumplir con criterios de calidad y responder a las necesidades e intereses de los usuarios.

Posteriormente, y siempre con criterios flexibles que permitan intervenir y actuar en los distintos momentos, debe realizarse su evaluación y divulgación. El seguimiento para comprobar su efectividad permitirá su fortalecimiento, control de calidad, relevancia y vigencia, con el fin de verificar su utilidad.

Muchos estudios y trabajos realizados en torno a la elaboración y creación de atlas geográficos y digitales se basan en la publicación excesiva de mapas temáticos, sin abordar suficientemente su problemática, por lo que obtienen resultados mediocres y poco significativos. Por este motivo, no se consiguen algunas exigencias que debe contener un mapa, como por ejemplo: que sea claro y fácilmente legible; dar una representación expresiva y estética; conseguir que el mapa contenga la mayor información posible; realizar el trabajo de forma que sea fácil y económica, una actualización periódica, ya que no es una obra final.

Según Núñez de las Cuevas (1993): “Los atlas (...) se consideran como un instrumento práctico para evaluar con precisión y confianza las condiciones naturales y los recursos de una región con el fin de resolver los problemas asociados al desarrollo y la gestión económica. (...) El valor del atlas adquiere gran significado gracias a la posibilidad de la utilización conjunta de los mapas. Esto permite estudiar y establecer interrelaciones de fenómenos que ocurren en el medio físico”.

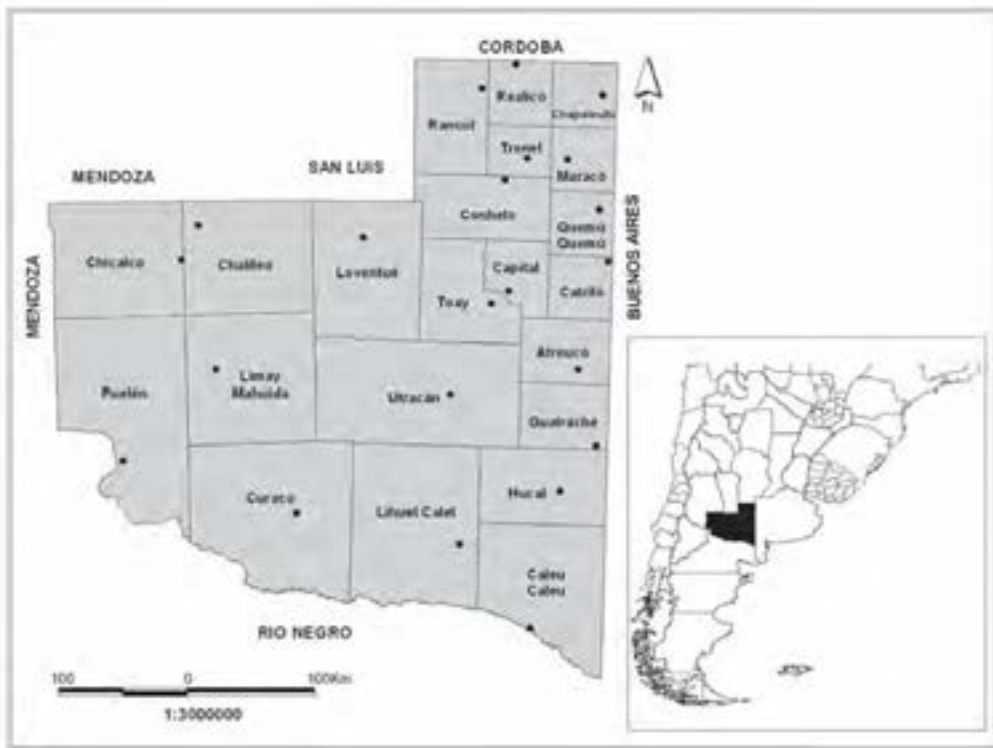
En este sentido, la problemática a investigar será la búsqueda de una buena redacción cartográfica, la cual viene determinada por un número de variables esenciales como la elección de proyección, escala, concordancia o identidad de leyendas, características y métodos de representación, unificación de los principios de generalización, etc.

En definitiva el problema se orienta a coordinar una operación compleja que exige conocimientos profundos de la región a estudiar y de los fenómenos que deseamos representar, con el fin de poder generar un listado completo de mapas, gráficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales y otra información que se crea conveniente que deba contener un atlas.

El área de estudio es la provincia de La Pampa situada en el centro de la República Argentina (Figura 1) que, como su nombre lo indica, gran parte del territorio forma parte de la extensa llanura pampeana, sin embargo, existen importantes variaciones de relieve.

En el centro-oeste se ubican antiguas montañas bajas, entre las que se destacan la sierra de Lihué Calel, las sierras Carapachá Grande y Carapachá Chica, entre otras. En todas estas sierras aisladas y además en una zona de valles poco profundos se extiende una zona amesetada.

Figura 1: Localización de la provincia de La Pampa, Argentina



Elaboración propia (2013)

La parte más llana es la inmediata a las provincias de Córdoba y Buenos Aires, con una zona de hundimiento anegadiza alimentados por los desbordes del río Quinto, la región centro-oriental presenta amplios valles. El centro oeste de la provincia está atravesado por el río Chadileuvú-Curacó.

## MÉTODOS

Los objetivos generales del proyecto son, gestionar el conocimiento geográfico y satelital de la provincia de La Pampa mediante la elaboración de un atlas; diseñar y construir una herramienta interactiva y permanente que permita analizar, explicar e interpretar la realidad socio territorial de la provincia y sus desigualdades, a partir del empleo de cartografía estática y de un visualizador de datos geoespaciales, sustentado en un Sistema de Información Espacial.

En el presente trabajo se emplearán los estándares de metadatos 15836/2003 metadatos Dublin Core que promociona y difunde normas sobre interoperabilidad semántica de metadatos, poniendo énfasis en la información y documentación, que describe el dato haciendo uso de una serie de elementos que se dividen en tres grandes grupos:

- Contenido: título, tema, descripción, fuente, idioma, cobertura
- Propiedad intelectual: autor, editor, colaborador, derechos
- Instanciación: fecha, tipo, formato, identificador, etc., (Tabla 1)

“El concepto de metadatos se está convirtiendo en una herramienta familiar para aquellas personas que trabajan con información espacial. Así la leyenda de un mapa es un ejemplo de aplicación de los metadatos que nos proporciona información sobre el autor, la fecha de publicación, la escala y otras características propias del mapa” (Sánchez Maganto; 2008).

Tabla 1: Elementos del estándar de metadatos Dublin Core DCE (1998)

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Título	Nombre del Proyecto.
Autor	Persona responsable del contenido intelectual del objeto.
Tema y Palabra clave	Tópico Tratado por el Trabajo.
Descripción	Descripción textual del contenido del objeto.
Editor	Entidad responsable de poner a disposición el objeto en su formato actual.
Colaborador	Personas tales como editores o correctores que hicieron contribuciones intelectuales significativas al trabajo.
Fecha	Fecha asociada con la creación o publicación del objeto.
Tipo de Objeto	Categoría del Objeto tal como narraciones, diccionario o reporte técnico.
Formato	Formato de los Datos. Se utiliza para identificar el Software y posible hardware necesarios para su uso.
Identificador	Cadena o número utilizado para identificar el objeto de manera único.
Fuente	Objetos, impresos o electrónicos a partir de los cuales se derivó el objeto.
Idioma	Idioma del contenido intelectual.
Relación	Relación del presente objeto con otros.
Cobertura	Características espaciales y/o temporales del contenido intelectual del objeto.
Derechos	Enunciado de los derechos sobre el objeto.

En definitiva, la Dublin Core Metadata Initiative (DCMI), pretende desarrollar estándares de metadatos para la recuperación de información en Internet a través de distintos dominios, definir el marco para la interoperabilidad entre conjuntos de metadatos y por último facilitar el desarrollo de conjuntos de metadatos específicos de una disciplina o comunidad que trabaja dentro del marco de la recuperación de información.

Para la elaboración de los mapas temáticos que componen el sistema de información geográfica y con el objeto de normalizar la IG contenida en el atlas, se definió en una primer instancia la cartografía base que determina las escalas a utilizar, el sistema de proyección cartográfico, punto Datum y se definió para cada uno de los layers o shape una tabla de metadatos que describe la identificación de la

información, el propósito del mapa y lenguaje cartográfico (sistema único de signos convencionales, tipos de letra y/o variables visuales o retinianas, Tabla 2).

Tabla 2: Metadatos para mapas

<b>1. Identificación de la información</b>			
Fuente:			
Fecha de publicación:			
Título:			
Edición:			
Forma de presentación de datos geoespaciales:			
Información de publicación			
<b>1.1. Resumen</b>			
1. Información de referencia espacial			
Nombre de la proyección:			
Parámetros:			
Unidades:			
Esferoide:			
Datum:			
Paralelo de referencia:			
Meridiano de referencia:			
Falso este:			
Falso norte:			
<b>1.1. Información adicional</b>			
Coordenadas límite máximo			
Límite norte:			
Límite oeste:			
Límite este:			
Límite sur:			
División política administrativa:			
<b>2. Información técnica del shape o de la imagen</b>			
Nombre:			
Cantidad de Id:			
Tipo:			
Campos:			
Name:	Tipo	Tamaño	Precisión
ID:			
Área			
<b>2.1. Leyenda</b>			
<b>3. Información de referencia del metadato</b>			
Fecha del metadato:			
Contacto del metadato:			
Organización:			
Generado por:			
Restricciones de acceso:			
Restricciones de uso:			

Las imágenes utilizadas se bajarán de páginas web gratuitas como: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> perteneciente al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Brasil; y también del link de la Universidad de Maryland <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

El procesamiento de las imágenes se llevará a cabo con el software *Erdas Imagine*, disponible en la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de La Pampa y la cartografía utilizando el software libre *gvSIG*; el cual es un proyecto que surge por iniciativa de la Generalitat Valenciana, a través de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte.

El software *gvSIG* es de uso libre y gratuito (la aplicación es de código abierto, con licencia GPL —General Public License o licencia pública general— y gratuita) orientado al manejo de información geográfica. El mismo se caracteriza por una interfaz amigable y sencilla, con capacidad para acceder ágilmente a los formatos más usuales (ráster y vectoriales), además es capaz de integrar datos en una vista, tanto locales como remotos. *gvSIG* tiene una interfaz gráfica intuitiva y fácil de manejar al alcance del usuario.

## DISCUSIÓN

En cuanto a la utilización de las normas ISO / TC 211- “familia ISO 19100” que son las Normas Internacionales relacionadas con objetos o fenómenos que se asocian a localizaciones sobre la superficie terrestre; según ISO la información geográfica está referida a fenómenos asociados implícita o explícitamente con una posición relativa a la Tierra. (ISO 19101:2002). La norma define un fenómeno abstracto con atributos y operaciones. Los atributos contienen toda la información estática de un fenómeno como puede ser la calidad del fenómeno o sus propiedades geométricas (punto, curva, superficie, sólido). Las operaciones contienen información sobre los cambios de un fenómeno debido a influencias externas, como puede ser: el mostrar una carretera para unos intervalos de escalas determinados.

Esto es así ya que la normalización geográfica enfrenta grandes retos internos y externos. Internamente, la comunidad geográfica debe superar la percepción que prevalece en ésta y en la comunidad no geográfica respecto a las aplicaciones usuales de la información geográfica, siendo que en realidad esta ha rebasado sus usos tradicionales para convertirse en parte integral de las innovaciones tecnológicas recientes y futuras.

Externamente, los negocios y empresas modernos están reconociendo el



valor de incorporar información basada en la localización a sus productos, servicios y soluciones para distinguirse en los mercados existentes y potenciales. Se espera que el mercado basado en localización sea una industria multimillonaria en unos cuantos años. Los rumbos estratégicos de la normalización geográfica deben responder a estos nuevos retos de manera oportuna; de lo contrario, la comunidad geográfica nuevamente será culpable de ceder su trabajo a terceros que sólo conocen superficialmente el valor y extensión de la información geográfica, pero que están en capacidad de explotarla comercialmente.

“Respecto a las normas de información geográfica, su valor radica en la interoperabilidad de bases de datos y aplicaciones, y su labor actual es permitir el acceso a estas bases de datos y aplicaciones desde distintos dispositivos móviles y permitirlo, en gran medida, sin recibir los impactos de la industria de las telecomunicaciones. Actualmente está surgiendo un nuevo rumbo definitivo: proporcionar el marco a normas de dominios específicos que unifiquen e integren a las comunidades de la información. En consecuencia, la información geográfica ya está siendo reconocida rápidamente como importante más allá del terreno tradicional de la geografía y pronto se generalizará y se masificará” (Grupo Consultivo de Desarrollo; 2010).

## CONCLUSIONES

En el marco del proyecto se identifican distintos tipos de usuarios de la información geográfica. El usuario principal es la propia organización para la cual se decidió seguir metodologías basadas en los estándares internacional ISO/TC211. Otro usuario específico son los diferentes niveles educativos de la provincia de La Pampa. El recurso multimedial que presentará el atlas constituye un insumo para el trabajo áulico de las áreas de ciencias sociales y problemática ambiental. La Ley de *Educación Nacional*<sup>1</sup> N° 26206 promueve la incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y *propone el desarrollo de contenidos digitales que puedan utilizarse en propuestas didácticas las cuales apuntan a transformar los modelos de enseñanza y a dinamizar nuevos procesos de aprendizaje*. Las TIC son entendidas como sistemas tecnológicos mediante los que se recibe, manipula y procesa información, y que facilitan la comunicación entre dos o más interlocutores. Por lo tanto el objetivo del trabajo es la digitalización de las diferentes regiones de la provincia, en el marco del “Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa”.

<sup>1</sup> Título I Cap. II Art. 11 m) Desarrollar las competencias necesarias para el manejo de los nuevos lenguajes producidos por las tecnologías de la información y la comunicación.

Con la presente investigación se pretende contribuir al conocimiento general de la disciplina geográfica, sobre todo en lo inherente a la gestión del conocimiento geográfico y satelital de la provincia de La Pampa para la confección de un atlas digital de la misma.

La divulgación y extensión serán contribuciones permanentes tanto en los ámbitos académicos como en el resto de la comunidad, considerándolas tareas imprescindibles para la co-construcción de propuestas, soluciones y aplicaciones pedagógicas de la cartografía en particular, y por supuesto del atlas, así como también de la utilización pedagógica de los SIG en los diferentes niveles educativos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anson R. y Ormeling F., (1996). Basic Cartography. Gran Bretaña: Ed. Butterworth Heinemann.
- Brunet R. (1987). La carte, mode d 'emploi. París: Ed.: Fayard Reclus.
- Cardus Monserrat, A. y Ruiz, Ma. del C. (2012). "Atlas digital del medio ambiente de la ciudad de San Juan, República Argentina" Sexto Congreso de la Ciencia Cartográfica. Buenos Aires, 25 al 29 de junio.
- Grupo Consultivo de Desarrollo (2010). Guía de Normas. Edición en Español. Comité ISO/TC 211 Información Geográfica/Geomática. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. ISBN 978-607-7842-03-3. México, DF.
- Nuñez de las Cuevas, R. (1993). Atlas regional: lenguaje cartográfico y nuevas orientaciones. Serie Geográfica, vol. 3. Universidad de Alcalá de Henares. España. [Consulta: 18-11-2012]. Disponible en: <http://dspace.uah.es/jspui/bitstream/10017/1016/1/Atlas%20Regional.%20Lenguaje%20Cartogr%C3%A1fico%20y%20Nuevas%20Orientaciones.pdf>
- Rey Martínez, Dora Inés (2007). Informe de gestión. ICAG - Instituto Geográfico Agustín Codazzi, República de Colombia.
- Sánchez Maganto A., Nogueras Iso J. y D. Ballari (2008). "Normas sobre metadatos". Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. (ISO19115, ISO19115-2, ISO19139, ISO 15836) Mapping Interactivo. ISSN: 1.131-9.100.

# *Patrimonio Cultural y SIG: escalas de visualización y preservación*

Otávio M. Peres, Mauricio C. Polidori y  
Fernanda Tomiello

## **Resumen**

La ciudad ha sido reconocida como la mayor y más duradera realización de la cultura, donde ciertos artefactos pasan a asumir a lo largo del tiempo decisiva importancia, principalmente cuando están localizados con algún nexo de proximidad espacial que agregue y diferencie del conjunto, pudiendo ser reconocidos a través de zonas de preservación cultural. Es consenso la necesaria preservación del patrimonio histórico cultural urbano, pero también son conocidas experiencias de descaso con las preexistencias, principalmente por la cierta escasez de métodos aplicables a la concepción de proyectos de arquitectura y urbanismo que mantengan la unidad del entorno histórico valorizado. De este modo, el objetivo principal del trabajo es avanzar sobre mecanismos de visualización, disponibilidad y popularización de los **datos del ambiente urbano de interés histórico-cultural, donde análisis espaciales** son posibles para una mejor lectura de sus zonas de interés a la valorización y preservación patrimonial. El trabajo está dedicado a elaborar un Sistema de Información Geográfica (SIG) del patrimonio cultural, arquitectónico-urbano para la ciudad de Pelotas, Brasil, disponibilidad de informaciones en Internet sobre más de dos mil inmuebles de interés para la preservación, concentrados en la vertiente eclética del final del siglo XIX e inicio del siglo XX. Están siendo implementadas **tres escalas** de visualización, incluyendo toda el área urbana, las zonas de preservación y un área de interés en el interior de una zona, con niveles crecientes de resolución. Al mismo tiempo, aún en carácter exploratorio, están siendo realizadas análisis de agrupamiento, asociando factores locales y tipológicos, identificando focos de concentración y rarefacción de edificios y valores, resultando en diferenciación espacial dadas por tipologías y morfologías variadas. El trabajo agrupa investigación con extensión, generando conocimiento y apoyando las políticas públicas de la Intendencia Municipal, Secretaría de Cultura, aproximando prácticas de preservación y valorización patrimonial a la comunidad.

**Palabras clave:** Patrimonio cultural-urbano. Visualización de la información. Cul-

tura digital.

## Abstract

The city has been recognized as the biggest and more lasting realization of culture, where certain artifacts become over a period of time as of decisive importance, mainly when located with some spatial proximity nexus which can incorporate and differentiate themselves from the set, these ones can be recognized through cultural preservation zones. It is a consensus the necessary preservation of historical urban cultural patrimony, but experiences of negligence are also known with the pre-existing ones, mainly for certain lack of methods applicable to the conceptions and architecture and urban projects capable of maintaining the unity of the valuable historical surroundings. Thus, this study aims at advancing about visualization mechanisms, availability and popularization of data of urban environment of historical and cultural interest, where spatial analysis are possible for a better reading of its interest zones related to valorization and preservation of patrimony. This study aims at elaborating a GIS of the cultural patrimony, architectural and urban, of the city of Pelotas, Brazil, availability of information on the Internet about more than 2 thousands properties of interest for the preservation, concentrated in the eclectic segment of the end of the XIX century and beginning of the XX century. It is has been implemented three visualization scales, including all urban area, the preservation zones and one interest area in the interior of one zone, with increasing levels of resolution. At the same time, still an exploratory profile, it has been carried out grouping analysis, associating local and typological factors, identifying focus of concentration and rarefaction of buildings and values, resulting in spatial differentiation given by typologies and varied morphologies. It has also been explored resources of availability of GIS on the Internet, through Google Earth API resources. This study groups investigation with extension, generating knowledge and supporting public policies of the local Municipality, Secretary of Culture, bringing together preservation practices and valorization of patrimony to the community.

**Keywords:** cultural and urban patrimony / visualization of information / digital culture.

---

**Otávio M. Peres** (otmperes@gmail.com), Professor Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Brasil. **Maurício C. Polidori** (mauricio.polidori@terra.com.br), Professor Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Brasil. **Fernanda Tomiello** (fertomiello@gmail.com), estranda PROGRAU Faculdade de Arquitetura e Urbanismo UFPel, Brasil.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad ha sido reconocida como la mayor y más duradera realización de la cultura, no habiendo indicios de su sustitución por otro artefacto humano en el planeta. En su recorrido histórico ciertos artefactos pasan a asumir decisiva importancia, sea en el campo de la representación, de la comunicación, de la economía, de la política o de las prácticas sociales. Esos artefactos, que se pueden constituir de bienes materiales e inmateriales, de la naturaleza y del saber hacer, cuando localizados con algún nexo de proximidad espacial que los agregue y los diferencie del conjunto, pueden ser reconocidos a través de zonas de preservación cultural.

Es consenso la necesaria preservación del patrimonio histórico cultural, pero también son conocidas experiencias de descaso con las pre-existencias, por presión del mercado inmobiliario; como también, cierta ineficiencia en los procesos meramente educativos volcados para la preservación del arte histórica, entre ellas, la arquitectura de edificios, sitios y monumentos históricos. Se suma además la escasez de métodos aplicables a la concepción de proyectos de arquitectura y urbanismo que mantengan la unidad del entorno histórico valorizado. Para tanto, se hace necesario mejor comprender el fenómeno urbano, trabajar con sus dinámicas, comprender los procesos que a provocan, los factores que la condicionan y los patrones espaciales recurrentes. Esfuerzos para la mejor comprensión de los procesos de evolución urbana y la forma que ocurriera el crecimiento urbano, han sido posibles a través del manejo adecuado de los datos disponibles, su mayor popularización, bien como análisis espaciales avanzadas, asociando múltiples variables y atributos urbanos (Peres y Polidori, 20011). De esta forma, la ciencia urbana ha alcanzado avances en los campos teóricos e instrumentales, para un mejor entendimiento de los conjuntos históricos edificados y la valoración de las zonas urbanas de interés del patrimonio cultural.

En este sentido, el trabajo está asociado a conceptos y prácticas contemporáneas de la ciencia espacial, del modelaje urbana y de los sistemas computacionales, donde el fenómeno urbano pasa a ser encarado bajo su perspectiva sistémica. O sea, el ambiente urbano es reproducido en ambientes digitales, lo que ha posibilitado tanto la elaboración de planos y proyectos utilizándose de recursos de simulación de escenarios futuros, bien como iniciativas para la valoración de la memoria y de la identidad urbana, mediante reproducciones de ambientes urbanos que no existen más.

En otros términos, el trabajo también está asociado al campo de la historiografía urbana sistémica (Jansen, 2001), la cual se ha desarrollado como un campo

teórico que visa nuevas formas de recuperar y/o reconstruir los procesos urbanos históricos, donde se incluyen estudios de la historiografía a partir de la práctica del modelaje de sistemas. El emergente campo de la historiografía urbana sistémica se ha desarrollado para enfrentar las grandes limitaciones de los estudios de la historiografía urbana tradicional, tanto por las dificultades impuestas por el distanciamiento temporal y la inconsistencia en las series temporales de los datos, cuanto por el nivel de agregación espacial en que generalmente ocurren la documentación histórica, imposibilitando así un mejor entendimiento sobre el proceso de cambio urbano.

De esta forma, el objetivo principal del trabajo es avanzar sobre mecanismos de visualización, disponibilidad y popularización de los datos del ambiente urbano de interés histórico-cultural, donde análisis espaciales son posibles para una mejor lectura de las zonas de interés a la valorización y preservación patrimonial.

El trabajo explora un conjunto de instrumentos para abordar el ambiente urbano de modo digital, posibilidades a partir de recursos de las geotecnologías, que envuelven recursos de sistemas de informaciones geográficas, prácticas de modelaje urbana, estadísticas espaciales y avances sobre la representación gráfica digital de las ciudades. Además, procura explorar recursos de disponibilidad, colaboración y experimentación de estas informaciones en Internet, mediante los llamados planetas digitales, como el software Google Earth, que son portales online para la inmersión en ambientes urbanos virtuales.

Para ello, el trabajo está dedicado a la ciudad de Pelotas-RS, dada la concentración de inmuebles de interés histórico, el porte mediano de la ciudad, bien como por la disponibilidad de datos y esfuerzos anteriores para el desarrollo de bases inventariadas asociadas a los recursos de geo computación. Actualmente, la ciudad de Pelotas cuenta con inmuebles de interés histórico a nivel federal, estadual y municipal, bien como un inventario con cerca de 2000 unidades listadas como de interés del patrimonio cultural urbano.

De esta forma, es esperado que a partir de iniciativas de esta naturaleza, sean mejor direccionadas a la concepción de proyectos de preservación y valoración de las edificaciones de interés histórico, confiriendo unidad al ambiente urbano de modo a promover la efectiva preservación, educación e integración de la comunidad a su patrimonio histórico-cultural.

## 2. ANTECEDENTES Y DESAFÍOS PERMANENTES

Los inventarios son fundamentales instrumentos para el conocimiento, la clasificación y la preservación del patrimonio cultural (Delanoy, 1997). Conforme relatado desde el Congreso de Nairóbi (1976), el inventario-documento por el cual es hecha la aprehensión de informaciones físicas e históricas de un bien, es una forma indicada para la salvaguardia del patrimonio cultural, permitiendo o posibilitando propuestas de políticas de preservación. Su importancia es vinculada al proceso de preservación de la memoria cultural de una sociedad, frente a la realidad del desarrollo y crecimiento urbanos. El inventario contribuye como herramienta de resguardo del patrimonio, bien como colabora con procesos de educación patrimonial, facilitando el autoconocimiento de una comunidad y el fortalecimiento de su identidad. Los inventarios también pueden desempeñar relevante papel en la orientación de planos urbanos, pues describen el ambiente a través de las formas, funciones, tecnologías y relaciones ambientales, participando para diagnosticar necesidades físicas y sociales (Polidori e Roig, 1999).

En trabajos anteriores Polidori (1987) y Delanoy, Roig y Frattini (1999-2000) realizaron las primeras etapas del inventario sistemático de los inmuebles urbanos de Pelotas, integrantes de su patrimonio cultural. Destacadamente, en el año 2000 Pelotas fue reconocida como Patrimonio del Estado de Río Grande del Sur, a través de Ley Estadual nº 11.499 de julio de 2000, la cual: "Declara integrantes del patrimonio cultural del Estado áreas históricas de la ciudad de Pelotas", lo que se dio en función del trabajo denominado "Patrimonio Cultural Ciudad e Inventario" (Polidori y Roig, 1999). El mismo equipo fundamentó los trabajos del Legislativo de la Ciudad, mediante instrumento municipal nº 4.568/00, que "declara área de la ciudad como zonas de preservación del Patrimonio Cultural de Pelotas - ZPPCs, lista sus bienes integrantes y de las otras providencias", que reconoce el inventario como fiel portador del patrimonio local, cerrando el ciclo con el reconocimiento estadual.

En la elaboración del Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas, los datos referentes a los objetos edificados de interés histórico-cultural fueron levantados, sistematizados y clasificados; después convertidos en pesos, números y ponderaciones, de modo a posibilitar el proceso objetivo y criterioso al clasificar el modo de preservación. Para tanto, los inmuebles fueron definidos, cuanto al grado de interés a la preservación, según algunos parámetros divididos en tres instancias de análisis evaluación intra-lote; lectura del paisaje; y evaluación del grado de desfiguración. Así, cada inmueble, además de su conjunto de informaciones espe-

cíficas, fue encuadrado en una escala de niveles de preservación, que varía de 1 a 4, y establecen diferentes instancias de protección, definiendo los grados de intervenciones posibles para los edificios inventariados, y sus alrededores, procurando no desfigurar su lectura o alterar su contexto en el paisaje urbano. Son cuatro los niveles de preservación, y descriptos a seguir, según documento de la Secretaría de Cultura del Municipio:

- **Nivel 1:** Se incluyen en este nivel los inmuebles que mantienen la integridad de sus características físicas internas y externas. Muchas veces su relevancia se debe a su connotación histórica. Los bienes encuadrados en este nivel no podrán, en hipótesis alguna, ser destruidos, desfigurados o inutilizados, pudiendo venir a ser tumbados. Su preservación se de extrema importancia para el rescate de la memoria de la ciudad. Preservación de las características arquitectónicas, artísticas y decorativas internas y externas.
- **Nivel 2:** Se incluyen en este nivel los inmuebles que mantienen las características arquitectónicas de composición de fachada que posibilitan la lectura tipológica del edificio y aún, aquellos que tengan algunas desfiguradas que no impida esta lectura. Preservación de sus características arquitectónicas, artísticas y decorativas externas, o sea, la preservación integral de su(s) fachada(s) pública(s) y volumetría.
- **Nivel 3:** Se incluyen en este nivel los inmuebles que sufrieron desfiguración en la composición de su fachada alterando significativamente su lectura, debiendo en su mayoría de las veces sufrir alguna intervención para mejorar su composición. Preservación debido a las características de acompañamiento y complementaridad paisagística de los inmuebles clasificados como de nivel 1 o 2.
- **Nivel 4:** Se incluyen en este nivel los inmuebles que sufrieron desfiguraciones tales que imposibilitan la lectura de su tipología o que se encuentran descontextualizaciones espacial o temporalmente. Pueden ser sustituidas sin causar mayores pérdidas al patrimonio histórico y cultural de la ciudad. Su preservación ocurre por registro en el Inventario del Patrimonio Cultural, y la sustitución por otra edificación reglamentada por los instrumentos urbanísticos específicos para ese fin.

La realización de un Inventario del Patrimonio Cultural Urbano, que resulta en la aprobación por ley municipal en el año de 2000; además de un movimiento de vanguardia en el contexto brasileño, iniciado aún en la década de los ochenta y un trabajo colectivo envolviendo miembros de la intendencia municipal, Secretaría de Cultura e investigadores de la academia. Esta movilización también se destaca por enfrentar otros dos desafíos tecnológicos, metodológicos, de la época: el uso de recursos de Sistemas de Informaciones Geográficas (SIG) y la disponibilidad de



estas informaciones en Internet, a través de mapas e informaciones interactivas. Ambos recursos que surgían aunque poco populares, se presentaban como potenciales a la eficiencia de los objetivos de inventario de patrimonio cultural, colectivo.

Con las informaciones en un ambiente SIG, posibilitarían a los gestores del inventario su mejor control y facilidad de actualización de los datos, además de la inclusión de nuevos ejemplares y conjuntos de interés. Aún, con el SIG disponible en Internet (disponible hasta hoy en <http://faurb.ufpel.edu.br/siphpel>), permitiría al usuario interactuar remotamente con los datos almacenados en SIG, realizando la consulta deseada, inclusive posibilitando correlaciones entre los datos. La Figura 1 presenta la interface del SIG del Inventario Histórico de Pelotas, simultáneamente datos disponibles bidimensionales en el formato de mapas, datos tabulares y visualización de imagen asociada.

Figura 1. Interface del SIG, web del Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas.



Disponível em: <http://faurb.ufpel.edu.br/siphpel>, (acesso em 27 de abril de 2012).

### 3. RECURSOS TEÓRICOS E INSTRUMENTALES

Definido el objeto de este trabajo y sus antecedentes, para enfrentar sus desafíos permanentes y análisis pendientes el trabajo está dedicado a hacer una revisión teórica, actualizada, sobre conceptos y prácticas contemporáneas, que forman parte del trabajo. Siguen tres subtítulos que tratan de las posibilidades y recursos de las geotecnologías, del modelaje urbano y el fenómeno de las ciudades visuales.

### 3.1 Geografía urbana y la computación

Geotecnologías pueden ser entendidas como un conjunto de recursos dedicados a la comprensión del territorio, cuyas herramientas y abordajes multidisciplinares permiten una forma de redescubrir el mundo, lo que puede ser particularmente hecho en relación a la ciudad (Batty, 2007). Las geotecnologías son tomadas menos como un conjunto de herramientas computacionales y más como un paradigma que da fundamentación a estudios espaciales, como sugiere Buzai (2003), al encadenar las acciones de inventario, diferenciación, interacción, significancia y temporalidad.

Entre las posibilidades de las geotecnologías, los Sistemas de Información Geográfica-SIG (*GIS-Geographic Information Systems*) se destacan en el campo técnico y operacional, facilitando la adquisición, el tratamiento, las análisis y el archivamiento de las informaciones espaciales (Cámara, 2001). En los últimos años, es evidente la creciente del uso de los recursos de los SIG, en los más diversos campos de la ciencia, por las más variadas personas y organizaciones del mundo. En el contexto urbano sus aplicaciones van desde la simples base de datos para consulta, pasando por aplicaciones en la ciencia espacial urbana, hasta el desarrollo involucramiento de sistemas de soporte a la tomada de decisiones: *GISystems*, *GIScience* y *GIService*, respectivamente (Longley et al, 2001).

La vertiente de los *GISystems* puede ser definida a partir de tres perspectivas: de sus componentes (*hardware*, *software*, datos, personas, sensores, etc.); sus procesos (colecta, almacenamiento, análisis, disponibilidad, interacción, etc.); y sus motivaciones o finalidades (consulta, generar conocimiento, auxiliar en la tomada de decisiones, etc.). La vertiente *GIScience* envuelve un sistemático tratamiento de los datos y del propio instrumento para testar o generar conocimiento, relacionando atributos espaciales, la variable temporal y las inter-relaciones que ocurren entre los diferentes subsistemas. Ya los servicios posibilitados por los *GIService* envuelven desde los más complejos sistemas de soporte a la tomada de decisiones que funcionan en supercomputadores, hasta el desarrollo de aplicativos geográficos (*geographic applications* o *GeoApp*) que funcionan en los dispositivos móviles, individuales, interactivos y con acceso a la web.

### 3.2 Modelaje urbano

Por su turno, la ciencia urbana, en su vertiente morfológica, espacial (Echenique, 1975; Batty, 2007; entre otros), ha construido a lo largo de cada período de

su corta historia diferentes formas de representación y evaluación de las ciudades. Modelos urbanos son representaciones del ambiente de la ciudad, donde por la captura de una determinada realidad, el fenómeno urbano puede ser reproducido, controlado y explorado. La ciencia del modelaje urbano ha presentado significativos avances en las últimas décadas, principalmente a partir del desarrollo y popularización de los sistemas computacionales (Echenique, 1975, Batty, 2009).

A partir de los años sesenta, la idea de modelar la ciudad pasa a estar íntimamente relacionada con el desarrollo de plataformas computacionales, la popularización de los computadores personales y la reciente operación de la red mundial de Internet. Para la ciencia espacial urbana, estos avances significan la posibilidad de representación abstracta por medio del lenguaje matemático, lo que permite que modelos pasen a tener un significado complementares a la teoría urbana (Batty, 2007). O sea, buenos modelos y buenas teorías convergen como diferentes maneras de representar determinadas concepciones de los sistemas urbanos (Echenique, 1975). Contemporáneamente, modelos son esenciales para articular el presente y el futuro de las ciudades, son representaciones de las funciones y procesos que configuran la estructura espacial urbana, generalmente relacionados a programas computacionales que permiten alocar teorías a ser testadas frente a los datos y explorar finalidades predictivas de patrones de localización emergentes (Batty, 2009).

### 3.2 Ciudades visuales

En el campo de la visualización urbana, a lo largo de la historia han sido buscados diferentes formas de representaciones de la realidad, con diferentes propósitos, para diferentes audiencias y a través de diferentes medios. La posibilidad de representar la realidad a través de medios digitales o virtuales, debido a los grandes avances computacionales de las últimas décadas y la posibilidad de una amplia disponibilidad de estos por Internet, nos permite hoy replicar las experiencias visuales de los diferentes ambientes de las ciudades y fácilmente disponible a otros usuarios, en un fenómeno caracterizado por ciudades visuales (Hudson-Smith, 2007).

Ciudad visual se refiere al fenómeno actualmente posible a partir del cual hay representaciones del ambiente construido de la ciudad, a través de los equivalentes de ladrillos y argamasas en ambientes virtuales, que nada más son que líneas, polígonos, texturas y datos. Envuelven a las nuevas posibilidades de representar el espacio de la ciudad de forma cada vez más rápida, cada vez con más precisión. Cuando tratamos de ciudades visuales, estamos concentrados en

la búsqueda por formas de representaciones que nos permitan generar una mejor comprensión del ambiente construido. Esta mejor comprensión de las ciudades visuales pasa también por la representación y distribución a través de los llamados “mundos digitales” y de la neo geografía, donde computadores personales on-line en la Internet posibilitan usuarios explorar el globo terrestre a través de *softwares* como *Google Maps*, *Google Earth*, *Microsoft Virtual Earth*, *ESRI ArcExplorer*, y *NASA World Wind*, entre otros (Hudson-Smith, 2007).

Estos “planetas digitales”, que disponen informaciones geográficas de diferentes maneras, viene a suplir una alta demanda de representación de los ambientes geográficos y avanzan en las posibilidades de la representación tridimensional.

#### 4. CULTURA DIGITAL: GIS del Inventario del Patrimonio Cultural

Para retomada, continuidad y avances sobre trabajos anteriores con el Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas, el grupo del Laboratorio de Urbanismo de la FAUrb - UFPel es motivado por la participación en el proyecto “Cultura digital: representación y simulación del patrimonio construido”, desarrollado en conjunto con grupos de la UFRGS y de la UNICAMP. El objetivo del proyecto, financiado por la CAPES/Ministerio de la Cultura (Edital 07/2008), es incorporar en el estudio y preservación del patrimonio histórico cultural, los métodos y técnicas de múltiples tecnologías digitales, como CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*), fotogrametrías avanzadas, y los sistemas de informaciones geográficas, donde este trabajo se inserta.

En este contexto, entre las innúmeras posibilidades de los recursos GIS y geo procesamiento, le tocó al proyecto Cultura Digital, avanzar sobre mecanismos de visualización, disponibilidad y popularización de los datos del patrimonio cultural urbano, trabajando aplicadamente a la realidad de la ciudad de Pelotas, dados los esfuerzos anteriores, la disponibilidad de datos, el conjunto de su patrimonio cultural y ambiental, bien como la posibilidad de enfrentar los desafíos y continuidades, indicados desde los trabajos iniciales y otros que surgían, desde la realización del Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas.

Para tanto, se proyectó la estructura del GIS en tres niveles de abordaje que corresponden a tres escalas y recursos de visualización, diferentes resoluciones y diferentes conjuntos de datos asociados. El actual GIS del patrimonio urbano de la ciudad de Pelotas se dará mediante articulación de dos plataformas: ArcGIS Desktop y Google Earth. Mediante integración de los formatos *Shapefile* (\*.shp),

nativos de los software GIS de la ESRI, y *Keyhole Markup Language* (\*kml), formato de los marcadores geográficos de los planetas digitales web-based, se dará la disponibilidad en la Internet mediante la plataforma Google Earth.

El uso de la plataforma ArcGIS estará dedicado a la entrada y procesamientos de los datos, considerando que los software propietarios de la marca ESRI han liderado los avances tecnológicos del lenguaje GIS y vienen siendo utilizados en las actividades de enseñanza, investigación y extensión en el LabUrb UFPel, desde las versiones del ArcView (software en desuso, aplicado para la construcción del Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas, durante el año 2000. De otra parte, se entiende que el *Google Earth* ha liderado los avances y las posibilidades de representación geográfica en Internet, en la actualidad es el más utilizado y ha posibilitado la popularización de los datos geoespaciales a la gran mayoría de los usuarios de la internet, ampliando horizontes que anteriormente eran limitados a usuarios de los lenguajes CAD y GIS.

En la secuencia del trabajo están relatadas las formas de abordaje de cada uno de los niveles, los procedimientos para manejo de los datos, herramientas computacionales utilizadas y los productos asociadas a cada una de las escalas.

#### **4. 1 Nivel 1.- Macro escala; Patrimonio cultural por sistema urbano; Bidimensional**

La primera escala de trabajo abarca el conjunto de inmuebles inventariados y sistema urbano, como un todo, localizando los ejemplares individuales en relación al sistema, donde los datos están asociados al plano bidimensional y se visualizan en la macro escala. Envuelve la colecta de datos existentes, actualización del mapa base y de los datos del inventario del patrimonio cultural; bien como ajustes de diseño, manejo de las bases tabulares y actualización de plataformas de *softwares*; la construcción de un único ambiente SIG.

La colecta de los datos de origen existentes se dio en tres fuentes distintas: Mapa Base Municipal (o Mapa Urbano Básico de Pelotas - MUBPel); datos del Inventario del Patrimonio Cultural; y datos del levantamiento realizado en las Zonas de Preservación del Patrimonio Cultural (ZPPC).

Cerca de diez años después de su implementación, los datos del Inventario del Patrimonio Cultural se encontraban parcialmente actualizados y organizados de modo disperso, en cinco archivos *shapefile* diferentes. Tras procesamiento, el inventario cuenta con 1823 unidades inventariadas, con informaciones sobre los lotes, y 102 atributos con informaciones que describen el inmueble inventariado cuando a nivel de preservación, caracterización compositiva de fachada, integra-

ción con el paisaje, desfiguración caracterizaciones y acompañamiento de los pedidos de exención del Impuesto Predial y Territorial Urbano (IPTU). La Figura 2 destaca los lotes inventariados sobre el mapa de ejes de la ciudad, diferenciados por colores cuanto al nivel de preservación.

Figura 2: Plataforma del software ArcGIS, con lotes de los inmuebles del Inventario del Patrimonio Cultural de Pelotas, en escala de azul por el nivel de preservación.



Aún en esta primera escala de abordaje, los datos hospedados en ambiente GIS, en la plataforma ArcGIS, fueron exportados para el formato \*.kml, compatible con la plataforma Google Earth. Para ejecutar el comando de conversión del formato shapefile fue utilizado el plug-in “Export to KML Extensión Versión 2.5”, disponible gratuitamente por la ESRI. La opción de este plug-in, en detrimento de la herramienta disponible en el paquete de conversores del ArcGIS, se dio por las mayores y mejores posibilidades de incluir informaciones, además de los atributos geométricos. De esta forma, en la Figura 3 hay una imagen del resultado de la conversión, con los datos vectoriales de las edificaciones de la ciudad sobre la imagen de satélite, con destaque en rojo para los inmuebles integrantes del inventario del patrimonio cultural. Además, cuando pulsando sobre una determinada edificación, son disponibles informaciones específicas de fotografía de la edificación, visible como caja de texto.

Figura 3: Plataforma de Google Earth con edificaciones inventariadas destacadas en rojo, destaque a la caja de texto con informaciones de texto de un ejemplar.



#### 4.2 Nivel 2- Meso escala; Patrimonio cultural x sistema espacios; Tridimensional

Posterior a la elaboración del Inventario del Patrimonio Cultural, motivado por su implementación y posibilitado por los análisis espaciales iniciales, los locales con mayor concentración de ejemplares de inmuebles inventariados, asociados a las etapas del crecimiento urbano, fueron delimitados como ZPPC. El levantamiento hecho para las 5 ZPPC: 1<sup>a</sup>. Parcelación, 2<sup>a</sup>. Parcelación, Caieira, Porte y Zona Norte; está dedicado a la totalidad de las edificaciones localizadas en estas áreas de interés patrimonial. Fueron levantados datos antes inexistentes en la base del inventario, como iniciativa para la preservación/valorización del ambiente urbano de estas zonas, principalmente a lo que se refiere a la volumetría y en las relaciones espaciales de la tridimensionalidad de los objetos edificados.

Los datos del número de pavimentos e informaciones sobre la existencia de retrocesos, estaban organizados en shapfiles individuales, para cada una de las ZPPC. Fueron ajustados para una única *shapfile*, con informaciones para 8.777 lotes. Aún, esta base de datos fue unificada con la base de datos del inventario del patrimonio, de modo a evitar pérdidas de informaciones. La Figura 4<sup>a</sup> ilustra los lotes destacados en colores diferentes, para las diferentes ZPPC. En verde la ZPPC de la 1<sup>a</sup> Parcelación; en rosado a ZPPC de la 2<sup>a</sup> Parcelación; en azul a ZPPC de la Caieira; en salmón la ZPPC del Puerto; y verde-agua la zona norte de la ciudad.

Figura 4: Área de interés del inventario del patrimonio cultural.  
 a) ZPPC, en diferentes colores; b) lotes diferenciados por los IA,  
 del azul al rojo en escala creciente.



Con los datos que originalmente inciden sobre los lotes, manejados para también incidir sobre los polígonos de las edificaciones. Para transferir los datos tabulares fue utilizado el comando *Spatial Join*, lo que demanda que los atributos de los polígonos de los lotes fuesen convertidos para puntos, por sus centroides, posteriormente apartados manualmente para incidir sobre los polígonos de las edificaciones, y entonces dado el comando *Spatial Join*. Con informaciones de los polígonos de las edificaciones, el número de pavimentos y áreas de los lotes, es posible calcular un valor aproximado (*proxy*) para áreas construidas de las edificaciones, índice de ocupación (TO) e índice de aprovechamiento (IA), de las edificaciones internas a la ZPPC. Las imágenes de la Figura 4b presenta los lotes diferenciados por los índices de aprovechamiento, en escala creciente de los azules para rojo.

Del mismo modo que el primer nivel de abordaje, las informaciones de esta segunda escala también fueron convertidos para formato compatible con el Google Earth, con destaque para la posibilidad de extrusión de los volúmenes de los polígonos edificados, por el atributo tabular de las alturas y del número de pavimentos. La extensión *Export to KML* permite, en el menú de opciones de configuración del comando, indicar un determinado atributo tabular del archivo *shapefile* para representar las alturas de las geometrías, lo que antes estaba visible apenas en el plano bidimensional. En la Figura 5 está el resultado gráfico de visualización de las informaciones de esta escala 2 en el Google Earth, con la imagen de satélite desactivada, para facilitar la visualización. Los polígonos en gris son los inmuebles no inventariados, mientras los inventariados están destacados por colores, siendo



en escala de rojo, los inmuebles tumbados en nivel federal, estadual y municipal; en escala de azul los inmuebles de los Inventariados del Patrimonio Cultural.

Figura 5: Conjunto edificado de la ciudad de Pelotas, visualizado en ambiente tridimensional en el Google Earth.



#### 4.3 Nivel 3 - Micro-escala; Patrimonio cultural por alrededores edificados; observador

La tercera escala del proyecto está dedicada a la inclusión de la fotografía, asociada a las geometrías de las edificaciones. Hasta el momento de la elaboración del trabajo, esta escala aún se encuentra en desarrollo, con resultados y reflexiones parciales. Aunque en desarrollo, con algunos testes exploratorios es posible indicar que esta escala estará dedicada a la visualización próxima a nivel del observador, y dedicada a recortes espaciales reducidos, de especial interés por el conjunto o concentración del patrimonio cultural.

- Fotografías panorámicas (Figura 6a): con destaque a las panorámicas esféricas, 360x180°, que bien complementan representaciones geométricas tridimensionales, una vez que pueden ser proyectadas y volúmenes esféricos y disponibles en el Google Earth, donde el visualizador "entra" en el centro de la esfera y mueve el punto de vista de un punto central fijo.
- Modelaje tridimensional visual (Figura 6B): se refiere a la aplicación de fotografías ortogonales como texturas, sobre volumetrías tridimensionales de las edificaciones.
- Fotogrametría de las fachadas: explorar técnicas de adquisición volumétricas

a partir de la fotografía, recurso que se ha popularizado cada vez más, con avances operacionales significativos, con destaque para el software de la Autodesk 123D de distribución gratuita, operando en computadores personales y dispositivos portátiles (<http://www.123dapp.com/>).

Figura 6: Continuidades del trabajo en el tercer nivel de abordaje, del observador.

a) Fotografías panorámicas esféricas b) Modelaje tridimensional visual.



a)

b)

## 5. Consideraciones y continuidades

Aunque no esté finalizado, del presente trabajo pueden ser extraídas algunas consideraciones cuando de la aproximación entre prácticas con la preservación del patrimonio cultural y el uso de geotecnologías, las cuales siguen:

- GIS y preservación patrimonial: la unión de los recursos de un GIS con las demandas de la realización de un inventario parece ser adecuada y oportuna, con valorización de las dos instancias; es de la naturaleza de un GIS tratar de la dimensión espacial de las cosas y es eso justamente lo que los inventarios tradicionales precisan para dar un salto de calidad; en ese sentido, el trabajo parece haberse encaminado para el éxito. Por otro lado, recursos de los GIS deben ser buscados, actualizados y perfeccionados para tratar con bienes culturales, siendo evidentes las posibilidades de organización, control, construcción de nexos y políticas para preservar ese patrimonio, comunicación y educación patrimonial.
- Elaboración de políticas públicas: la construcción y disponibilidad de un SIG que se dedica al inventario de bienes culturales representa una especial política pública, una vez que su realización multiplica sus efectos, por generar otras

acciones y posibilidades a través de su implementación; o sea, es una acción capaz de generar otras acciones.

- Construcción y lectura del entorno: la práctica con el SIG permite percibir el entorno mediante una nueva visión de conjunto, donde todo puede ser visto integradamente y detalladamente, cambiando de escala con rapidez y eficacia; siendo así, nociones de conjunto pueden ser formadas de modo inédito y poderoso, superando la percepción terrestre y el aérea, puesto que incluye ambas en ambiente cognitivo manoseado por los usuarios del sistema; en síntesis, el GIS construye el entendimiento entorno.

También, cabe destacar los principales puntos para continuidad de los trabajos, que persisten y demandan esfuerzos para finalización del trabajo; para una mejor aplicación del inventario, del GIS en este contexto, y la efectiva preservación y valorización del Patrimonio Cultural Urbano.

- Análisis espaciales avanzadas: las análisis iniciales y meramente ilustrativas; es con la continuidad del trabajo con el GIS se ampliarán las necesidades de análisis espaciales donde el sistema puede contribuir.
- Construcción de nexos espaciales: a partir de la disponibilidad de las informaciones de forma integrada con la base espacial del municipio, bien como la posibilidad de cruzamiento con otros datos, permite la realización de análisis espaciales avanzados; dedicados a una mejor comprensión del sistema de bienes de interés para la preservación, permitiendo construir nexos espaciales antes imposibles; para eso, se pretende el uso del paquete de estadísticas espaciales, aplicando criterios matemáticos y espaciales en la delimitación de ambientes urbanas de significativo valor a las determinadas características de la edificación.
- Aumento del abarque de los objetos a inventariar y de las zonas de realización de inventarios: el trabajo continuado con el inventario con sede en ambiente de GIS puede facilitar su aumento del abarque, con aumento de cualidad y practicidad.
- Ampliación de los documentos gráficos: la inclusión de nuevos documentos referentes a los bienes del inventario debe ser perseguida, mediante digitalización y conexión con el ambiente de GIS.
- Publicación en Internet: se pretende que el conjunto de informaciones producidas en el trabajo estén disponibles mediante construcción de un ambiente de visualización e interactividad de los datos SIG-web, mediante uso Google Earth API en página HTML dedicada, donde los datos del SIG estarán disponibles sobre el Google Earth, donde el usuario puede interactuar con los datos almacenados en servidor dedicado, como será el caso del SIG del patrimonio

urbano de Pelotas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Batty, M. (2007) Complexity in City Systems: Understanding, Evolution, and Design. CASA Working Paper 117.
- Batty, M. (2009) "Urban Modeling". In: Internat. Encyclopedia of Human Geography.
- Buzai, G. (2003) Mapas sociales urbanos. Buenos Aires: Lugar Editorial 384.p.
- Delanoy, S. (1997) Inventário do Ambiente Urbano. Monografia de conclusão do Curso de Pós-Graduação em Artes, especialização em Patrimônio Cultural, Conservação de Artefatos. Pelotas: ILA, UFPel.
- Delanoy, S.; Roig, C.; Frattini, G. (2000) Inventário do Patrimônio Cultural da Área Central de Pelotas. Pelotas: Prefeitura Municipal.
- Echenique, M. (1975) Modelos: una discusión. In. Martin, L.; March, L.; Echenique, M. La Estructura del Espacio Urbano. Barcelona: Ed. GG.
- Hudson-Smith, A. (2007). Digital Urban - The Visual City. CASA Working Paper 124.
- Jansen, H. (2001) The Construction of an Urban Past: Narrative and System in Urban History. Oxford New York. 383 p.
- Longley, P.; et al (2001) Geographic information systems and science. Chichester: John Wiley and Sons.
- Peres, O.; Polidori, M. (2011) "Práticas contemporâneas de geocomputação aplicadas ao ambiente urbano digital". Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.3, n.2, p. 255-267
- Polidori, M. (1987) Inventário do Patrimônio Construído da Área Central de Pelotas. Pelotas: Prefeitura Municipal.

# *Pautas para la medición de la estructura de la ciudad actual, en el marco del modelo urbano disperso, utilizando el catastro de urbana. Aplicación al municipio suburbano de Getafe, Madrid*

José Miguel Santos Preciado

## **Resumen**

La realidad de nuestras grandes urbes muestra cómo la ciudad compacta se está transformando en una ciudad cada vez más dispersa y fragmentada, con periferias más extensas y límites más difusos. La dispersión de la ciudad por el territorio ha estado acompañada, en general, de cierta pérdida de su tradicional complejidad, debido a la similitud funcional y separación espacial de las diversas partes que conforman su estructura urbana.

En este contexto, el uso del catastro de urbana, como repositorio de datos espaciales, resulta de gran interés en la investigación funcional de la ciudad. El trabajo que presentamos tiene como objetivo definir una metodología aproximativa a la identificación tipológica de unidades estructurales básicas de la ciudad actual, en el municipio suburbano de Getafe (Madrid), a partir de la combinación potencial de los usos del suelo existentes en cada parcela catastral.

**Palabras clave:** Cartografía catastral. Sistemas de Información Geográfica. Estructura urbana. Desarrollo urbano.

## **Abstract**

The reality of our big cities shows how the compact city is being transformed into a city always more disperse and fragmented, with more extensive outskirts, and more diffuse limits. The scattering of the city through the territory has been accompanied, in general, with a certain loss of its traditional complexity, due to the functional similarity and the spatial separation of the different parts which comprise its urban structure.

In this context, the use of the urban land registry as a repository of spatial data, is

of great interest in the functional investigation of the city. The work that we present aims to define a methodology that approximates to the typological identification of basic structural units of the modern city, in the suburban municipality of Getafe (Madrid), starting from the potential combination of existing uses of each plot of land in the land registry.

**Keywords:** Cartography of the registry. Geographical Information Systems. Urban structure. Urban development.

---

**José Miguel Santos Preciado** (jsantos@geo.uned.es), Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid (España).

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, estamos asistiendo a un nuevo fenómeno que tiende a transformar la realidad de las ciudades del mundo desarrollado. “A escala municipal, metropolitana o regional es evidente que existe una dispersión de la urbanización sin precedentes, y que las dinámicas urbanas integran, funcionalmente, espacios construidos que no tienen continuidad física entre ellos y, a menudo, se encuentran, incluso, a muchos kilómetros de distancia” (Nel.lo, 1998), lo que ha llevado a referirse al mismo con el término de “ciudad dispersa”.

Sin embargo, algunas de estas transformaciones se están realizando en la ciudad europea según patrones particulares, que tienen más que ver con sus propias coordenadas históricas y culturales. En el caso de España, entre las características más visibles de los nuevos tiempos habría que destacar que la configuración de la periferia de nuestras ciudades, tradicionalmente afín al modelo compacto de ciudad, se estaría produciendo, en buena parte, con la proliferación de un tejido residencial extensivo de viviendas unifamiliares, aunque no de forma generalizada, apreciándose estándares de edificabilidad y densidad de ocupación muy contrastados, según los sectores de la ciudad. A ello habría que añadir, la localización periférica del comercio y las oficinas, antes centralizados. Este proceso descentralizador de la actividad urbana no habría sido posible sin el desarrollo de un sistema de transportes reticular, que permite la interrelación de zonas cada vez más separadas entre sí, así como por la utilización masiva del automóvil privado por la población residente en la ciudad.

Este proceso de cambio se ha producido desde una profunda transformación funcional de los elementos que componen la estructura de las grandes regiones urbanas. La organización territorial de la ciudad tradicional, caracterizada por la complejidad morfo tipológica y la mezcla de usos del suelo, está dando paso a un nuevo territorio urbano donde “las formas espaciales emergentes, en que se materializan los nuevos nodos de acumulación, comparten una serie de rasgos comunes, donde destaca el carácter especializado y frecuentemente mono funcional o monotemático” de los fragmentos que componen el nuevo mosaico de la ciudad actual (De Santiago, 2008).

Esta realidad dual se percibe en el profundo cambio sufrido por las áreas periféricas de las grandes ciudades españolas. En este sentido, pretendemos mostrar alguna de las transformaciones funcionales experimentadas en Madrid, una de nuestras urbes más emblemáticas, para lo que hemos seleccionado Getafe, municipio suburbano de la primera corona metropolitana. En este sentido, nos proponemos, como apoyo a la aplicación de la metodología que vamos a exponer, el aná-

lisis comparativo de algunas áreas surgidas en el citado municipio, en momentos diferenciados en el tiempo. Para ello, utilizaremos la información georreferenciada de los datos del catastro de urbana, relativa a las coberturas de distintas variables de ocupación del suelo.

Esta labor la hemos llevado a cabo, metodológicamente, en dos etapas. En la primera, se ha tratado de *definir una tipología de unidades estructurales básicas*, a partir de la combinación potencial de los usos del suelo existentes en cada parcela catastral. El objetivo fundamental se ha concretado en diseñar un procedimiento taxonómico, dirigido a manipular y organizar un variado conjunto de variables, relacionadas con los usos del suelo, capaces de generar una cartografía que ofrezca respuesta a la problemática de la localización de actividades u ocupaciones en el territorio. La segunda etapa ha estado dirigida a la *reconstrucción del patrón de unidades estructurales* derivadas, a partir de las anteriores, mediante la integración contigua de unidades territoriales de similar contenido temático, de acuerdo a los patrones definidos anteriormente.

## 2. LAS BASES DE DATOS CATASTRALES Y SU APLICACIÓN AL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA URBANA DE GETAFE (MADRID)

El éxito o fracaso de una investigación está relacionado, en buena parte, con la disponibilidad o no de una base de datos precisa, fiable y de calidad, lo suficientemente flexible como para alcanzar los objetivos propuestos en una escala espacial operativa. Así, hace relativamente poco tiempo, se ha puesto a disposición pública un volumen considerable de información georreferenciada, de especial interés para llevar a cabo diferentes tareas relacionadas con la aplicación de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en el análisis y evaluación de diferentes aspectos relacionados con el actual modelo territorial. En este sentido, el catastro de urbana, elaborado por la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España, dispone de una información de suficiente nivel de detalle y cualificación<sup>1</sup> como para alcanzar un objetivo como el que nos proponemos. Dicho repositorio y sus unidades espaciales de referencia (principalmente la parcela catastral) ha resultado fundamental en nuestra investigación, ya que contiene información muy variada de las unidades fiscales que integran (usos del suelo, complementado por las variables de superficie ocupada, superficie edificada, momento de la construcción, etc.).

La utilización de la parcela catastral en los estudios urbanos encuentra su justifi-

<sup>1</sup> En nuestra investigación, hemos empleado la base de datos del catastro de urbana de la Comunidad de Madrid, disponible en 2009, cedido por la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda.



cación en constituir un ente geográfico homogéneo, cuya naturaleza intrínseca se deriva de su particular relación con la propiedad, así como de su contenido, relativo a sus características morfológicas, temporales y funcionales. Los datos temáticos que contienen dichas unidades espaciales se refieren, tanto a *variables de tipo físico*, que atienden a las dimensiones de las parcelas, superficie del solar y tipo de parcela, como a *variables morfológicas*, relacionadas con las características particulares de la trama urbana, *variables temporales*, que reflejan los momentos de comienzo y finalización en la construcción de los edificios que integran cada parcela, y, finalmente, *variables de tipo funcional*, que responden al uso y destino de la edificación, de forma diferenciada para cada tipo de construcción<sup>2</sup>.

Figura 1. Parcelas catastrales del municipio de Getafe (Madrid).



En nuestro caso, la parcela catastral se ha convertido en un elemento importante para el estudio e interpretación de la ciudad, al permitir relacionar su crecimiento con la estructura y morfología urbanas connaturales con el mismo. Con el fin de alcanzar el objetivo propuesto, hemos utilizado la cartografía catastral urbana del municipio de Getafe, perteneciente al sector suroeste de la Comunidad de Madrid. La representación cartográfica del mismo puede apreciarse en la Figura 1, enmar-

<sup>2</sup> Las categorías identificadas son las siguientes: almacén-estacionamiento; residencial; industrial; oficinas; comercial; deportivo; espectáculos; ocio y hostelería; sanidad y beneficencia; cultural; religioso; obras de urbanización y jardinería; suelos sin edificar; edificio singular; almacén agrario; industrial agrario; agrario.

cada su situación respecto a las principales vías de comunicación por carretera de la región.

### 3. DEFINICIÓN DE UNIDADES FUNCIONALES BÁSICAS EN LA ESTRUCTURA DE LA CIUDAD DE GETAFE (MADRID)

Las transformaciones funcionales, resultado de la modificación acaecida en la organización espacial de la producción y el consumo, han sido determinantes para concebir un cambio intenso y definitivo en la estructura actual de la ciudad. Entre los aspectos centrales a considerar al estudiar la reorganización de los usos del suelo, cabe mencionar diversos enfoques, según los fines y propósitos de cada investigación particular. A partir de Rhind y Hudson (1980), se han planteado, al respecto, tres perspectivas metodológicas diferentes: a) un *enfoque funcional*, según el cual, el uso del suelo se define en función de la actividad que se desarrolle en él; b) un *enfoque formal*, que identifica el uso del suelo con determinadas características derivadas del aspecto visual de su representación: el tono, la textura, la densidad, la forma, el color, etc.; y c) un *enfoque multidimensional*, que supone la combinación de la funcionalidad de los usos y de las características visuales de los mismos.

En el análisis que planteamos, nos hemos decantado por la primera de las tres opciones. Pero, ¿cómo plantear el estudio de la estructura de la ciudad, a partir del contenido funcional de unidades espaciales elementales? Hemos partido de la parcela catastral como unidad básica de referencia espacial. La parcela catastral tiene unas características diferentes en el aspecto funcional y/o en el aspecto físico, tanto desde el punto de vista cualitativo como desde el punto de vista cuantitativo. La particularidad de la misma se deriva de la posibilidad de constituir espacios multifuncionales; es decir, de integrar actividades y mezcla de usos del suelo complementarios.

Disponer de los datos geográficos (espaciales y temáticos), almacenados estructuralmente en el seno de una base de datos, aporta una gran flexibilidad en el uso que pueda hacerse de ellos. Este uso va más allá de la producción cartográfica e incluye determinadas labores de análisis, de gran interés en la toma de decisiones espaciales. En este sentido, dichas bases de datos, vinculadas a su manejo por los Sistemas de Información Geográfica (SIG), nos ha permitido la posibilidad de extraer información derivada por reelaboración de la ya existente. Esta nueva información ha estado relacionada con las combinaciones tipológicas dominantes de los usos del suelo, así como en la medición precisa del número de parcelas y suelo ocupado y edificado en cada una de las composiciones resultantes.

De acuerdo con el objetivo del trabajo, la primera de las tareas ha consistido en la clasificación o taxonomía de los usos, mediante la desagregación y asociación de categorías resultantes de las parcelas en el territorio analizado. No todos los usos del suelo urbano tienen la misma representación en la ciudad. Atendiendo a su grado de implantación, hemos estimado como más representativos, por la especial vinculación que tienen con el desarrollo del planeamiento urbano, los siguientes:

- El *uso del suelo residencial*, correspondiente al alojamiento, con carácter permanente o no, de personas y sus familias. La gran superficie de suelo ocupado por esta función urbana, además de su variedad y papel desempeñado en la estructura de la ciudad, ha sido la causa de que apreciáramos nuevas categorías más pormenorizadas dentro del mismo, como la vivienda unifamiliar y la vivienda multifamiliar.
- El *uso del suelo comercial*, que comprende aquellas actividades destinadas a suministrar mercancías al público, o a prestar determinados servicios a los particulares.
- El *uso del suelo industrial*, que tiene por finalidad llevar a cabo las operaciones de elaboración, transformación, reparación, almacenaje, y distribución de productos manufacturados.
- El *uso del suelo de oficinas*, que corresponde a aquellas actividades terciarias que se dirigen, como función principal, a prestar servicios de carácter administrativo, técnico, financiero, de información u otra naturaleza, realizados a partir del manejo y transmisión de información y conocimientos, bien dirigidos a las empresas y/o los particulares.

En conjunto, resultan un total de cinco categorías a considerar (uso residencial de vivienda unifamiliar, uso residencial de vivienda multifamiliar, uso comercial, uso industrial y uso de oficinas), lo que supone una notable variedad en cuanto a la desagregación de categorías se refiere, con el propósito de realizar la clasificación de las parcelas catastrales por composición múltiple de los usos del suelo en ellas representados. El número de posibles agrupaciones de dichas categorías, de acuerdo a la teoría combinatoria, y a su existencia en la realidad en el caso que nos ocupa, ha resultado ser de 24. Los resultados obtenidos mediante la realización de operaciones taxonómicas en un SIG<sup>3</sup>, relativos exclusivamente a las parcelas catastrales edificadas se pueden observar en la Tabla 1.

Las conclusiones más interesantes que pueden deducirse de un análisis de la tabla de distribución de las parcelas, de acuerdo a las diferentes categorías multifuncionales, son las siguientes:

<sup>3</sup> Para ello se ha utilizado el SIG ArcGIS, en su versión 10.1

1. El número de parcelas catastrales edificadas, de uso exclusivo (con un único uso del suelo), relativas a las cinco categorías de usos del suelo consideradas, suponen, para el municipio considerado, el 77,7% del total existente. La distribución parcial de los mismos muestra un desigual reparto, siendo el uso residencial unifamiliar el que prevalece sobremanera respecto a los demás (62,3% del total). A gran distancia, le seguiría el uso industrial (7,5%), el residencial multifamiliar (6,9%), y, en menor medida, el comercial (0,5%) y de oficinas (0,5%).
2. Esta realidad queda matizada si atendemos a la superficie de suelo ocupada y al total de superficie edificada. En este sentido, el suelo industrial puro (muy importante en el municipio) alcanza el lugar preeminente de suelo ocupado superficialmente (396,2 ha), que podría verse incrementada si consideráramos las parcelas mixtas en las que aparece (12,1 ha adicionales). En segundo lugar, se hallaría el uso residencial unifamiliar (160,6 ha) y a mayor distancia el uso residencial multifamiliar (96,2 ha) y el comercial (52,5 ha). Respecto al suelo edificado, la función residencial alcanza las 676,4 ha de superficie, muy alejada del uso industrial (228,1 ha), el comercial (110,1 ha) y el de oficinas (51,5 ha).
3. El resultado de las posibles combinaciones de los usos del suelo muestra la existencia de parcelas con "usos del suelo mixto", que evidencian el nivel de complementariedad o rechazo de los mismos entre sí. Relativo al tejido residencial, podemos destacar que el uso destinado a la vivienda unifamiliar posee un carácter más puro, ya que apenas se asocia con el resto de usos (el 99,8% del total de las parcelas son de uso exclusivo residencial). En este caso, las unidades territoriales destacan por su reducida extensión superficial relativa y su condición de escasa complementariedad respecto a otros usos del suelo. Como tendremos ocasión de mostrar, su comportamiento territorial resalta la tendencia al agrupamiento con otras unidades espaciales semejantes, de tamaño muy parecido, en unidades estructurales más amplias, de morfología edificatoria similar (aislada, pareada, adosada, etc.), fruto de operaciones urbanísticas unitarias.
4. No ocurre lo mismo con el suelo residencial multifamiliar, que se agrega con gran facilidad al uso comercial (el 43 % de las parcelas comparten, en número, ambos usos del suelo, mientras que apenas un escaso 2,9 % lo hacen, de forma exclusiva, con el uso industrial y/o de oficinas). Esta asociación residencia/comercio es clásica, en el territorio analizado, de los cascos anti-

guos y ensanches residenciales que tuvieron lugar en el primer momento de la conformación metropolitana de Madrid, en los municipios más próximos a la capital.

5. El comercio constituye el uso del suelo más promiscuo y de mayor capacidad de asociación con otros usos. Su relación natural con el tejido residencial multifamiliar forma parte de nuestra cultura, estando ligado, íntimamente, a la existencia de locales artesanales o mixtos en las plantas bajas de edificios multi vivienda. Sin embargo, frente al modelo comercial tradicional han surgido, en el marco del modelo de la ciudad dispersa, grandes centros comerciales de la periferia, desligados de la calle y localizados en la proximidad a las autopistas urbanas. La nueva estructura comercial agrupa no solo hipermercados, sino galerías comerciales anexas, donde se concentran boutiques y tiendas de especialidad y servicios diversos (López Lucio, 2006). Esta realidad se pone de manifiesto en las parcelas de uso comercial exclusivo. Aunque poco representativas en número, se caracterizan por su mayor superficie relativa de suelo ocupado y edificado. En menor medida, este suelo comercial periférico no residencial se asocia a las oficinas y la industria.
6. La función industrial destaca por su carácter exclusivo y su débil capacidad de mezcla con otros usos, como corresponde a los polígonos industriales o espacios especializados del territorio donde se concentra un cierto número de empresas dedicadas a este tipo de actividad. Así, en el 88,4% del total de las parcelas edificadas, dedicadas al sector de la industria, predomina este uso exclusivo, como corresponde a la tradición manufacturera de este municipio de la periferia madrileña.
7. Finalmente, podemos destacar la tendencia del uso del suelo destinado a oficinas a mezclarse con otros usos. En el conjunto de ambos sectores espaciales, únicamente el 19,2% de las parcelas es de uso exclusivo, destacando la asociación con el resto de los usos.

Tabla 1. Características de la distribución de los usos del suelo urbano en el municipio de Getafe (Madrid)

Usos del suelo	Numero de parcelas edificadas	Porcentaje de parcelas edificadas	Superficie ocupada (Ha)	Superficie total edificada vivienda (Ha)	Superficie total edificada comercio (Ha)	Superficie total edificada industria (Ha)	Superficie total edificada oficinas (Ha)
1. Residencia unifamiliar	8.610	62,3	160,6	182,4	-	-	-
2. Residencia multifamiliar	952	6,9	43,7	145,4	-	-	-
3. Comercio	70	0,5	52,5	-	70,1	-	-
4. Industria	1.033	7,5	396,2	-	-	222,6	-
5. Oficinas	62	0,5	61,5	-	-	-	35,7
6. Residencia unifamiliar y comercio	3	0,02	0,1	0,11	0,1	-	-
7. Residencia multifamiliar y comercio	956	6,9	68,1	241,6	23,9	-	-
8. Residencia unifamiliar e industria	2	0,01	0,03	0,04	-	0,01	-
9. Residencia multifamiliar e industria	38	0,28	2,2	6,2	-	0,52	-
10. Residencia unifamiliar y oficinas	4	0,03	0,06	0,05	-	-	0,06
11. Residencia multifamiliar y oficinas	61	0,44	2,5	8,6	-	-	1,64
12. Residencia unifamiliar, comercio e industria	1	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	-
13. Residencia multifamiliar, comercio e industria	57	0,41	4,7	15,6	2,2	0,52	-
14. Residencia unifamiliar, comercio y oficinas	1	0,01	0,01	0,01	0,007	-	0,01
15. Residencia multifamiliar, comercio y oficinas	176	1,27	20,1	70,7	6,5	-	2,94
16. Residencia unifamiliar, industria y oficinas	0	0	0	0	-	0	0
17. Residencia multifamiliar, industria y oficinas	2	0,01	0,09	0,28	-	0,03	0,03
18. Residencia unifamiliar, comercio, industria y oficinas	2	0,01	0,13	0,1	0,20	0,05	0,2
19. Residencia multifamiliar, comercio, industria y oficinas	15	0,11	1,66	5,3	1,49	0,12	0,27
20. Comercio e industria	5	0,04	4,9	-	3,95	2,47	-
21. Comercio y oficinas	17	0,12	10,9	-	1,33	-	6,11
22. Comercio, industria y oficinas	6	0,04	1,4	-	0,34	0,23	1,0
23. Industria y oficinas	8	0,06	5,8	-	-	1,51	3,58
24. Resto	1.731	12,5	1.069,9	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>13.812</b>	<b>100,0</b>	<b>1.907,1</b>	<b>676,4</b>	<b>110,1</b>	<b>228,1</b>	<b>51,5</b>

#### 4. DEFINICIÓN DEL PATRÓN DE OCUPACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE GETAFE (MADRID), DE ACUERDO AL MODELO DE LA CIUDAD DISPERSA

La propuesta de usos del suelo base, con vistas a la obtención de patrones reales de ocupación del territorio, la vamos a realizar, a partir de los dos elementos utilizados en el apartado anterior: unidad territorial de análisis y categoría de uso del suelo. La unidad espacial ha sido, en nuestro caso, la parcela catastral, mientras que para las categorías de ocupación del suelo hemos seleccionado, exclusivamente, los usos más representativos. De acuerdo a este planteamiento simplificador, proponemos la siguiente categorización (Tabla 2), por agrupación de clases, en la perspectiva de obtener los denominados “espacios de vocación” (Bozzano *et al.*, 2008).

Tabla 2. Nuevas clases del uso del suelo urbano por agrupamiento de las categorías más simples

Nuevas categorías	Categorías agrupadas
<b>1. Residencial unifamiliar exclusivo</b>	<b>1</b>
<b>2. Residencial unifamiliar dominante</b>	<b>6, 8, 10, 12, 14, 16 y 18</b>
<b>3. Residencial multifamiliar exclusivo</b>	<b>2</b>
<b>4. Residencial multifamiliar dominante</b>	<b>7, 9, 11, 13, 15, 17 y 19</b>
<b>5. Comercial exclusivo</b>	<b>3</b>
<b>6. Industrial exclusivo</b>	<b>4</b>
<b>7. Uso de oficinas exclusivo</b>	<b>5</b>
<b>8. Uso mixto (comercio, industria y oficinas)</b>	<b>20, 21, 22 y 23</b>

Los espacios vocacionales pueden ser definidos como lugares en términos de patrones de ocupación y apropiación territorial, donde se identifican matices y variantes en cada vocación. Aunque no corresponden a un único uso del suelo, predomina en ellos una actividad sobre las demás. Así, por vocación residencial multifamiliar dominante se entendería el lugar donde predominarían usos y funciones destinadas a la vivienda de uso permanente o temporal de varias familias, sobre otras vocaciones, como el comercio, la industria artesanal o cualquier otra actividad que pudiera considerarse complementaria.

La reconstrucción de las unidades territoriales formales o piezas del mosaico urbano, a partir de las unidades elementales funcionales o parcelas, requiere del conocimiento preciso de los procesos acaecidos en la ciudad, ya que son éstos los que permiten interpretar los espacios conformados como una consecuencia de la dinámica del desarrollo urbano, en concordancia con las necesidades del sistema productivo, los gustos demandados por los consumidores y los avances de las

nuevas tecnologías.

El desarrollo urbano de las grandes ciudades de nuestro país y la configuración de su estructura más reciente no ha tenido lugar de forma brusca, sino progresiva, desde los primeros momentos de conformación del modelo metropolitano clásico hasta el modelo disperso actual. Font *et al.* (1999) diferencian, al respecto, varios patrones de cambio clave en la presente disposición de "la estructura poli-nuclear discontinua" de nuestras metrópolis, que han dejado su impronta sobre el territorio:

- a) *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.), resultado de procesos de extensión y densificación de las mallas existentes, que fueron característicos hasta principios de los años setenta del pasado siglo. Estos ensanches de los núcleos urbanos de la primera y segunda coronas metropolitanas aún están presentes en los principales municipios de las aglomeraciones urbanas españolas.
- b) *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 viaria y del transporte público. Las grandes superficies comerciales, los grandes equipamientos y dotaciones (hospitales, universidades, instalaciones deportivas, etc.) formarían parte de estas nuevas geografías urbanas.
- c) Finalmente, *las formas del crecimiento disperso*, tradicionalmente la edificación aislada de la segunda residencia, que además de seguir consumiendo importantes superficies del territorio metropolitano, se han convertido, en parte, en residencia permanente en los territorios próximos.

Sirviéndonos de esta referencia teórica, nos proponemos la comprobación, en el territorio del municipio de Getafe, de la existencia de alguna de estas unidades básicas, que, a modo de ensayo, nos ofrezcan la línea a seguir en el intento de reconstruir el entramado global de la estructura de toda la urbe.

#### **4.1 Delimitación de algunos patrones de ocupación territorial, en el municipio de Getafe (Madrid)**

Como ya hemos indicado, el conocimiento de los procesos de transformación urbana ayuda sobremanera a identificar las unidades morfo funcionales de



la estructura de la ciudad, que deben ser analizadas, de manera evolutiva en el tiempo, desde la expansión u ocupación cada vez más periférica del espacio. En esta perspectiva evolutiva del análisis de la estructura de la ciudad actual, debemos concentrarnos en dos momentos clave que diferencian unidades territoriales específicas. En general, las transformaciones acaecidas durante los años sesenta y setenta del pasado siglo, en el momento de conformación del área metropolitana madrileña, tuvieron como consecuencia la creación de zonas funcionalmente mixtas, en los cascos antiguos y áreas de expansión de los municipios cercanos a la ciudad central, y de áreas homogéneas en la periferia de los mismos (residenciales de alta densidad e industriales). Por otra parte, los procesos de dispersión de la ciudad, connaturales con el crecimiento urbano del momento presente, se identifican más con la existencia de áreas homogéneas residenciales de baja densidad (tanto unifamiliares como multifamiliares), nodos o enclaves del terciario o de la industria de innovación (parques tecnológicos), asentamientos industriales dispersos, grandes equipamientos y dotaciones (hospitales, universidades, parques regionales), etc.

En este intento de identificar y delimitar patrones de ocupación del suelo en el municipio de Getafe (Madrid), a modo de entramados urbanos homogéneos, siguiendo la terminología explícita de la obra antes reseñada, hemos seleccionado tres espacios geográficos perfectamente diferenciados, que muestran la profunda transformación funcional de la ciudad actual acorde con el nuevo modelo de ciudad: el barrio de Juan de la Cierva, cuya configuración urbana tuvo lugar durante los años setenta del pasado siglo; el polígono industrial de Los Ángeles, surgido en el mismo periodo de tiempo, y la urbanización Sector 3, de origen más reciente, una de las urbanizaciones residenciales de baja densidad más extensa de dicho municipio (Figura 2).

Figura 2. Situación geográfica de los tres espacios geográficos seleccionados para el análisis en el municipio de Getafe (Madrid).



*El barrio de Juan de la Cierva: zona residencial de la primera corona metropolitana madrileña*

El barrio de Juan de la Cierva constituye parte esencial de la expansión del municipio de Getafe durante los años setenta del pasado siglo (Figura 3). Su desarrollo urbano ha estado ligado, por tanto, al momento del crecimiento de los municipios de la primera corona metropolitana madrileña, como consecuencia de la profunda crisis de la agricultura tradicional, motivada por la introducción de nuevas técnicas y procesos productivos, que convirtieron las áreas rurales en espacios de paro estructural. En estas condiciones, el fuerte contingente inmigratorio, que atraído por la oferta laboral de un mercado de trabajo expansivo llegaba a la ciudad de Madrid, tuvo que ser realojado en un tiempo récord, desencadenando procesos intensivos de ocupación del espacio que originaron cambios cualitativos en las formas y modos de producción urbana. El nuevo ensanche urbano fue construido en bloques de pisos no demasiado elevados (por la proximidad del aeródromo), generalmente de cuatro alturas, alcanzando densidades de ocupación del suelo muy altas, que superaban, en ocasiones, las 250 viviendas por hectárea.

Los resultados obtenidos de la medición de la estructura funcional de esta

área<sup>4</sup> vienen reflejados en la Tabla 3 y corroboran que el barrio de Juan de la Cierva presente las características propias de los primitivos ensanches residenciales que compactaron el espacio próximo a los cascos antiguos de los municipios de la primera corona metropolitana del Sur de Madrid. En su estructura urbana, destaca el predominio funcional residencial, típico de las ciudades dormitorio de la periferia metropolitana de Madrid, con una fuerte relación con el comercio, ya que en más del 60% de las parcelas urbanas se integran los edificios multi vivienda con los establecimientos comerciales (Figura 3). Se codifica así el modelo de tejido residencial multifuncional, con predominio de la vivienda como elemento más representativo, soporte de la estructura comercial tradicional basada en la calle. Asimismo, aunque en un segundo plano, apreciamos otras formas de integración de la función residencial con otras actividades a ella asociadas, como el pequeño terciario de oficinas o servicios personales, los talleres de reparación o los pequeños equipamientos, aunque, como puede observarse por la superficie edificada, escasamente representadas.

Figura 3. Distribución espacial de los usos del suelo del barrio de Juan de la Cierva



<sup>4</sup> Con esta intención, se ha seleccionado, a partir de la base de datos municipal, la correspondiente al barrio de Juan de la Cierva, exportando la base de datos temática dBase del SIG al programa Statgraphics Centurión, donde se ha realizado un tratamiento estadístico de la información. Esta operación ha consistido en reagrupar las categorías iniciales de los usos del suelo, midiendo el número de parcelas, superficie de suelo ocupada, superficie edificada por las nuevas categorías y promedio del número de viviendas y establecimientos productivos por parcela.

Tabla 3. Características funcionales del barrio de Juan de la Cierva (Getafe)

Uso suelo	Parcelas		Uso suelo edificado (ha)			
	número	porcentaje	residencial	comercial	industrial	oficinas
<b>1</b>	1	0,2	0,12	-	-	-
<b>3</b>	148	28,1	22,2	-	-	-
<b>4</b>	346	65,8	62,6	7,0	-	0,75
<b>5</b>	7	1,3	-	1,0	-	-
<b>6</b>	3	0,6	-	-	0,26	-
<b>7</b>	4	0,8	-	-	-	0,06
<b>8</b>	1	0,2	-	0,9	0,008	0,14
<b>9</b>	16	3,0	-	-	-	-

1. Residencial unifamiliar exclusivo 2. Residencial unifamiliar dominante 3. Residencial multifamiliar exclusivo 4. Residencial multifamiliar dominante 5. Comercial exclusivo 6. Industrial exclusivo 7. Uso de oficinas exclusivo 8. Usos mixtos (comercio, industria y oficinas) 9. Otros servicios.

### *El polígono industrial de Los Ángeles*

El polígono de Los Ángeles es uno de los polígonos industriales más antiguos, grandes e importantes de la ciudad. Se encuentra al este del centro urbano, al borde de la autovía A4 (Madrid-Andalucía), a 13 km del centro de Madrid. El surgimiento de este polígono industrial tuvo lugar gracias a la aprobación del plan parcial de Los Ángeles, como desarrollo del Plan General de Ordenación Urbana de 1968, debido a la necesidad de suelo industrial en la periferia madrileña. La nueva orientación hacia un modelo más descentralizado de la industria se apoyaba en varios factores. En primer lugar, el precio del suelo, mucho más reducido en esta zona periférica de la ciudad de Madrid. En segundo lugar, las nuevas exigencias tecnológicas de la fabricación resultaron fundamentales, ante la necesidad de un mayor tamaño por planta y una mayor potencia instalada, no disponible en el centro de la capital. Finalmente, fue decisivo el desarrollo experimentado por el sector del transporte, sobre todo del transporte por carretera, que facilitaba una relación más fluida y versátil con otras zonas urbanas metropolitanas, merced a la existencia de carreteras radiales y de circunvalación.

Desde sus inicios, el polígono industrial de Los Ángeles (Figura 4) fue construido con parcelas pensadas para alojar grandes fábricas y almacenes, principalmente del sector metalmecánico, sin apenas otras preocupaciones urbanísticas y ambientales que la proximidad a la autovía A4 y unos precios del suelo moderados. Para ello, contaba con algunas de las mayores empresas del municipio (Uralita, Arcelor, Radisa,

etc.). Esta situación ha cambiado en la actualidad debido a un proceso de tercerización económica y de progresiva especialización industrial a favor de sectores más intensivos en saber, una mayor cualificación laboral y una diversificación de la estructura social del municipio. Los datos de la tabla 4, deducidos de la información catastral, muestran actualmente al polígono como una zona fundamentalmente industrial, cuyo suelo urbano destinado al sector fabril ocupa 67,8 ha, la mayor parte de la superficie existente. De la misma, se ha segregado, prácticamente en su totalidad, la función residencial, que apenas se encuentra representada. No así otras funciones como el comercio y sobre todo las oficinas, cuyo crecimiento se ha visto acompañado por una paralela renovación de la oferta inmobiliaria para las empresas, que intenta ahora atraer actividades de mayor rango y escaso impacto ambiental en espacios de cierta calidad urbanística. De esta manera, se explica que se ubique, aquí, el Centro Municipal de Empresas, que actúa como vivero empresarial, y un Centro de Teletrabajo, que ha albergado hasta el momento a 81 empresas, generadoras de más de 400 empleos directos.

Tabla 4. Características funcionales del polígono industrial de Los Ángeles

Uso suelo	Parcelas		Uso suelo edificado (ha)			
	número	porcentaje	residencial	comercial	industrial	oficinas
<b>3</b>	1	0,3	0,04	-	-	-
<b>5</b>	1	0,3	-	0,14	-	-
<b>6</b>	255	76,8	-	-	67,8	-
<b>7</b>	10	3,0	-	-	-	2,0
<b>8</b>	3	0,9	-	0,05	0,8	1,0
<b>9</b>	62	18,7	-	-	-	-

1. Residencial unifamiliar exclusivo 2. Residencial unifamiliar dominante 3. Residencial multifamiliar exclusivo 4. Residencial multifamiliar dominante 5. Comercial exclusivo 6. Industrial exclusivo 7. Uso de oficinas exclusivo 8. Usos mixtos (comercio, industria y oficinas) 9. Otros servicios.

Figura 4. Distribución espacial de los usos del suelo del polígono industrial de Los Ángeles en el municipio de Getafe (Madrid).



### *La urbanización residencial extensiva del Sector 3*

La urbanización residencial del Sector 3 se inició como un proyecto singular por su concepción, puesto que rompía la tradicional vinculación entre tipología edificatoria y condición social. Sus promotores fueron grupos sindicalistas, decididos a poner al servicio de la clase obrera, mediante régimen de cooperativa, viviendas unifamiliares con jardín, en una forma de vida ligada, hasta ese momento, a clases de mayor nivel de renta. La ejecución del proyecto del Sector 3, desarrollado a lo largo de los años ochenta y noventa del pasado siglo, enlaza con el modelo de ciudad dispersa, ya que la idea igualitaria primitiva cedió paso con el tiempo a la especulación urbanística y a la ocupación del espacio por clases medias más acomodadas.

El espacio ocupado por el barrio está separado del resto urbanizado del municipio por la autovía A 42 (carretera de Madrid-Toledo). Las características funcionales de la urbanización (Tabla 5) muestran el predominio, casi exclusivo, de la función residencial de baja densidad, con viviendas unifamiliares, cuya participación supera el 97% del número de parcelas existentes. Así mismo, la vivienda unifamiliar consume más del

70% de la superficie edificada, respecto a los otros usos del suelo allí representados, debido a las mayores necesidades de suelo que este tipo de vivienda representa en relación con la plurifamiliar o en bloque. Esta realidad manifiesta una de las propiedades del espacio residencial extensivo, en el que progresivamente se ha ido clausurando la mezcla con otros usos. El tejido residencial multifamiliar también aparece, aunque en mucha menor proporción. La zona más representativa del mismo ocupa el denominado Arroyo Culebro, situado en el extremo sur del Sector 3, limitando con la autovía M-50, en una zona mixta, integrada por urbanizaciones de chalets adosados y bloques de pisos.

El área residencial se complementa con zonas comerciales y de otros servicios (sobre todo sanitarios, educativos), como corresponde a un barrio bien equipado de nivel social medio alto. Las áreas comerciales son, en su mayor parte, de uso exclusivo, como el Centro Comercial Getafe 3, que dispone de aproximadamente 8 ha comerciales, destinadas a hipermercado, y tiendas de moda y complementos del hogar, bricolaje y electrodomésticos, establecimientos de restauración y ocio, y actividades diversas, con escasa diversificación de usos de suelo, acorde con el nuevo modelo disperso de ciudad.

Tabla 5. Características funcionales de la zona residencial Sector 3 de Getafe (Madrid)

Uso suelo	Parcelas		Uso suelo edificado (ha)			
	número	porcentaje	residencial	comercial	industrial	oficinas
<b>1</b>	6.411	97,3	123,8	-	-	-
<b>2</b>	16	0,24	8,90	-	-	-
<b>3</b>	4	0,06	3,78	-	-	-
<b>4</b>	15	0,23	-	0,17	-	-
<b>5</b>	46	0,70	-	16,2	-	-
<b>6</b>	4	0,06	-	-	0,30	-
<b>7</b>	5	0,08	-	-	-	0,66
<b>8</b>	39	0,60	-	0,60	0,07	0,13
<b>9</b>	51	0,77	-	-	-	-

1. Residencial unifamiliar exclusivo 2. Residencial unifamiliar dominante 3. Residencial multifamiliar exclusivo 4. Residencial multifamiliar dominante 5. Comercial exclusivo 6. Industrial exclusivo 7. Uso de oficinas exclusivo 8. Usos mixtos (comercio, industria y oficinas) 9. Otros servicios.

Figura 5. Distribución espacial de los usos del suelo de la zona residencial Sector 3 de Getafe (Madrid)



## 5. CONCLUSIONES

La utilización del catastro de urbana en el estudio del territorio ofrece nuevas perspectivas de gran interés, en fines tan diversos como la valoración de su problemática, la cartografía o representación del mismo, y, finalmente, la ordenación y planificación territorial. Su trascendencia como tal se deriva de la capacidad de la parcela urbana, para integrar, en un espacio físico reducido, un conjunto de elementos clave para interpretar la ciudad, desde la perspectiva de identificar la lógica de los fenómenos del crecimiento urbano. En nuestro caso, la metodología desarrollada a partir de usos del suelo urbano, incluidos con carácter multifuncional, muestra la posibilidad de analizar, cuantitativamente, la estructura de nuestras urbes, de manera evolutiva en el tiempo, permitiendo realzar los profundos contrastes existentes entre la ciudad compacta del pasado y la ciudad dispersa actual, a partir del mosaico urbano y las piezas funcionales asociadas a cada una de los espacios de actividad, consumo y ocio que lo integran.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, G. C. y Arrivillaga, N. (2008). "Usos del suelo y lugares: criterios teórico-metodológicos. Aplicación a un caso en Guatemala", *Revista Universitaria de Geografía (on line)*, nº 17, pp. 189-231.
- De Santiago Rodríguez, E. (2008). "Nuevas formas y procesos espaciales en el territorio contemporáneo: la 'ciudad única'", *Polis*. Vol. 7, nº 20. Editorial de la Universidad Bolivariana, Chile, pp. 53-71.
- Dematteis G. (1998). "Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas", *La ciudad dispersa: suburbanización y nuevas periferias*, F. J. Monclús (Ed). Centro de Cultura Contemporánea. Barcelona, pp. 5-15.
- Feria Toribio, J. M. (1999). "Nuevas periferias urbanas y planificación pública", *La ciudad: tamaño y crecimiento. III Coloquio de Geografía Urbana*. Antequera (Málaga), pp. 309-316.
- Ferrás Sexto, C. (2000). "Ciudad dispersa, aldea virtual y revolución tecnológica. Reflexión acerca de sus relaciones y significado social", *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/sn-69-68.htm>. Universidad de Barcelona.
- Font, A. (1997). "Anatomía de una metrópoli discontinua: la Barcelona metropolitana", *Papers, Región Metropolitana de Barcelona*, nº 26, pp. 9-19, Barcelona.
- Font, A., Llop, C. y Vilanova, J. M. (1999). *La construcción del territorio metropolitano. Morfogénesis de la región urbana de Barcelona*. Barcelona: Mancomunitat Metropolitana de Municipis.
- López Lucio, L. (2006). "Espacio público e implantación comercial en la ciudad de Madrid", *Cuadernos de investigación urbanística*, nº 23, Madrid, pp. 1-48.
- Nel.lo, O. (1998). "Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa", en Monclús. J. (Ed) *La ciudad dispersa*. Barcelona: Centro de Cultura Contemporània de Barcelona.
- Rhind, D. y Hudson, R (1980). *Land Use*. Methuen, Nueva York.

# *Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras.*

## *Fase 2. La cartografía multimedia y su uso para el patrimonio histórico*

Lilliam Sofía Gómez Solórzano

### **Resumen**

Como partida inicial de este artículo se tomará el Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras (ACHDC) (Gómez, Pineda, 2010), un hiperdocumento elaborado en una primera fase, que muestra la dimensión espacio-temporal del Centro Histórico del Distrito Central, sintetizando de manera digital la información y permitiendo visualizar los fenómenos histórico-patrimoniales, utilizando las Tecnologías de la Información Geográfica. Este hiperdocumento consta de pantallas digitales que resumen cada uno de los períodos históricos en que se conformaron las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela, que juntas forman el Distrito Central de Honduras, haciendo énfasis en las edificaciones de valor histórico y su traza urbana (plazas, calles, edificios), que definen el centro histórico de la ciudad. Este producto muestra a través de elementos multimedia: mapas, texto, fotografías e imágenes, que junto con el hipertexto y la referencia espacial de un mapa, dan como resultado productos de cartografía multimedia, en soportes no convencionales que van desde un CD hasta los mapas publicados en la web. En esta fase, el hiperdocumento pretende ser comprobado, frente a productos menos interactivos, con soportes convencionales como el papel. El uso se comprueba por medio de aplicaciones a posibles usuarios, tanto del producto de cartografía multimedia ACHDC, como un producto menos interactivo en soporte convencional, en donde ambos contienen la misma información, y así comprobar si la cartografía multimedia, con alto nivel de interactividad, es útil como medio de comunicación del patrimonio histórico cultural de una ciudad o si los soportes convencionales son más ventajosos, con el fin de comunicar al usuario el valor que tiene el centro histórico dentro de una ciudad. Posteriormente, pensar en diseñarlo centrándose en el usuario.

**Palabras clave:** Cartografía multimedia. Centro Histórico. Distrito Central de Honduras. Patrimonio histórico cultural.

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías computacionales de las últimas décadas ofrecen nuevas formas de soportes y de representación para la cartografía, haciendo de esta un elemento mucho más vivo e interactivo que los soportes convencionales como el papel. Para el caso de la representación de elementos que representan el patrimonio cultural de un lugar específico, el uso de la cartografía multimedia ha sido muy beneficioso, ya que provee componentes (video, audio, objetos en 3D, narraciones, etc.), que hacen despertar la creatividad del usuario a niveles superiores y que además son muy útiles para representar los fenómenos histórico patri- moniales de forma espacial (Gómez, 2010). En este artículo se pretende mostrar el uso de la cartografía para la representación de estos fenómenos en dos momentos, ambos pretenden mostrar la evolución espacial del centro histórico de Tegucigalpa y sus edificaciones de mayor importancia, pero en distintos soportes: uno en papel o tradicional, y otro en forma digital o multimedia. Estos dos atlas se han desarrolla- do a manera de prototipos y la investigación pretende mostrar cuál de los dos tipos ofrece una mejor visualización de estos fenómenos, aplicando pruebas a posibles usuarios del atlas.

## MARCO CONCEPTUAL

### La cartografía multimedia

El comienzo de la multimedia interactiva se le atribuye al Profesor Vana- veer Bush del MIT en 1930s, quien pretendía crear una máquina que sirviera para guardar y devolver información. El concepto de multimedia fue primeramente utili- zado para referirse al despliegue de imágenes descritas por una voz grabada. Pos- teriormente, se introducen los conceptos de multimedia interactiva e hipermedia para referirse a los elementos de la media combinados con estructuras interactivas (Cartwright, 2010). Como elementos de la multimedia encontramos los siguientes: texto, audio, gráficos, animación y video. Esta se puede definir como la interacción con múltiples formas de comunicación utilizando como medio una computadora, es en realidad una forma de comunicación. Gracias al avance tecnológico de las últimas décadas es posible romper muchas barreras en la comunicación y en el acceso a la información, incluyendo en esta a la información geográfica. Es por ello que en la actualidad el acceso a la información geográfica o espacial no está solamente limitado a los profesionales dedicados a ese campo, esta se abre al usuario común, por medio de la creación de productos geográficos y cartográficos que se difunden de diversas formas (web, DVD, etc.), y que por ser diseñados para

este usuario buscan ser más intuitivos y menos complicados que los programas específicos para profesionales.

La cartografía multimedia es la combinación de mapas con multimedia (Peterson, 1999). La multimedia es quien ofrece la habilidad para crear mapas distintos a los que ya estamos acostumbrados a ver, con nuevos niveles de interacción (Cartwright, 1994). Esto se refiere a botones y puntos dentro del espacio geográfico virtual (plano de la realidad geográfica) que dan acceso a nueva información, esa información geográfica se adapta también a nuevos aparatos de uso común: teléfonos, computadoras, televisión, películas, etc.

La multimedia surge de dos conceptos iniciales, el hipertexto y la hipermedia. El hipertexto es término introducido en 1965 por Ted Nelson, gurú de las computadoras. Inicialmente fue la forma más usada de hipermedia. Es un texto que permite a los lectores escoger y moverse dentro de la publicación siguiendo su propio patrón, no es lineal, los libros electrónicos son un ejemplo de esto (Raper, 1991). La hipermedia es una extensión del hipertexto a través del uso de la multimedia. Gráficos, sonido, animación y video (Jiang et al., 1995).

El uso de la multimedia se comienza a explotar con el apareamiento del CD-ROM en 1982. Después de su apareamiento comienzan a elaborarse los primeros productos cartográficos, así como también juegos geográficos. En la actualidad la multimedia es un fenómeno predominantemente online. Con esto nace un nuevo concepto, el hipermapa.

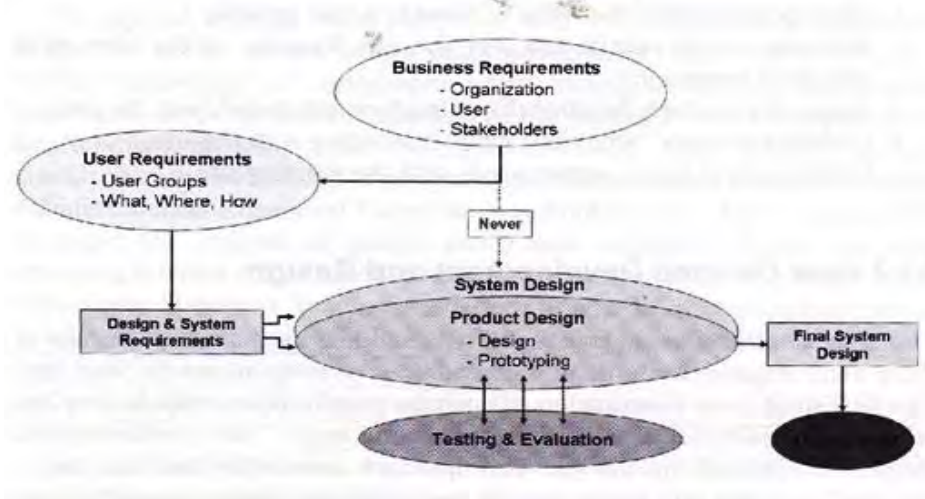
El hipermapa es un concepto que se introduce en 1990 por Laurini y Millert-Raffort, es visto como una manera de combinar multimedia con la geografía. Este concepto es el que da como nacimiento a la cartografía multimedia como una combinación de mapas con elementos media como texto, imágenes, fotos, video, etc. Algunos autores opinan que este concepto ha traído conceptos análogos a una revolución para el mundo de la cartografía, en el cual hace 500 años atrás era imposible duplicar mapas en papel y ahora con el internet eso es algo muy fácil (Cartwright, 2010).

Este tipo de cartografía es muy útil para los procesos democráticos donde todos deben de participar y debe de ser un producto de uso sencillo. Por esta razón, a la hora de realizar un mapa multimedia es preciso realizar pruebas a los posibles usuarios. Primeramente se desarrolla un prototipo y luego se aplican pruebas, posteriormente el diseño se mejora de acuerdo a las pruebas realizadas.

Entre los ejemplos más importantes de cartografía multimedia podemos encontrar: el atlas de Canadá, el atlas de Suiza, el atlas de Antártica.

El primero fue uno de los que se realizó realizando un modelo hipermedia, que consiste en un esquema o flujograma que muestra como el atlas funcionaría, y que fue el primero en utilizar el proceso User Centred Design (UCD), que es un diseño centrado en el usuario, en el que a través de pruebas se optimiza el producto. Este UCD, ayuda a definir el público, el presupuesto, la funcionalidad, y a eliminar lo que no es útil en un producto de cartografía multimedia, presentando una metodología UCD (Cartwright, 2010).

Figura 1. Proceso User Centred Design (UCD), utilizado para el atlas de Canadá. Multimedia Cartography, 2010



Este atlas también ha tenido muchas versiones, ya que se viene mejorando desde 1906, en que su soporte era papel.

La metodología anteriormente mencionada se aplica como investigación, buscando el atributo de satisfacción en el usuario, en donde se califica el porcentaje de satisfacción del producto en sus distintas ediciones: satisfacción interactiva, la información que tiene, el porcentaje de recomendación a terceros, y el porcentaje de usuarios que se animan a probar por primera vez el producto multimedia. El UCD abarca el diseño de la interface del usuario y las herramientas de la interface.

Con lo que respecta al atlas de Suiza, también fue diseñado pensando en el usuario, introduciendo un nuevo término Graphical User Interface (GUI) o inter-

face gráfica del usuario, la cual es diseñada para el usuario, además que introduce nuevos elementos multimedia: 3D y vistas panorámicas, líneas del tiempo y alta calidad gráfica.

En el caso del atlas de antártica da inicio al geotagging, un proceso en el cual se asignan coordenadas geográficas a un sitio web, también utiliza el UCD, e introduce el Users Needs Analysis (UNA). Incorpora sonido, música, y la tecnología multi sensorial.

Como podemos ver la cartografía multimedia ofrece mayor interacción y medios que la tradicional, que es estática y aislada. Además de que ofrece una mayor representación de elementos cronológicos, por su capacidad de presentar elementos animados. Es por ello que se ha utilizado mucho, en los últimos años, para la representación del patrimonio histórico/ cultural de una región, donde organizaciones públicas como museos, gobiernos y comunidades la explotan para preservar digitalmente su patrimonio cultural (Adabala, 2010). Por la cantidad de medios que tiene para representar claramente esto: video, imagen, narración, etc.

Figura 2. Vista de un elemento multimedia utilizado para representar el patrimonio cultural de la zona de Andal en India. (Abadala, 2010)



Figure 2: Screenshot from the Andal Narrative

Los elementos más importantes en cartografía son: arte, ciencia y tecnología (Cartwright, 2010). En donde la ciencia se ocupa de corregir y perfeccionar los productos, la tecnología los produce y los distribuye, y el arte es la cara pública de la cartografía.

## Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras

El Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras es un producto multimedia realizado para mostrar la dimensión espacio-temporal del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras y que sintetiza de manera digital la información permitiendo visualizar los fenómenos histórico-patrimoniales de forma espacial utilizando las Tecnologías de la Información Geográfica. Este fue creado utilizando una metodología basada en los modelos hipermedia, que incorporan el hipertexto y la multimedia, las cuales crean un hiperdocumento, al cual si le agregamos la referencia espacial creamos un hipermapa.

### METODOLOGÍA PARA LA CREACIÓN DEL ACHDC

La metodología utilizada consistió en las siguientes cinco fases, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 3. Metodología utilizada para la creación del atlas del CHDC



En la Fase I se presentan los cuatro modelos hipermedia que se utilizaron para crear la estructura del atlas del CHDC: Modelo de información, modelo de presentación, modelo de sincronización, modelo de navegación.

Figura 4. Fase I de la metodología para el atlas CHDC



Figura 5. Modelo de información ACHDC

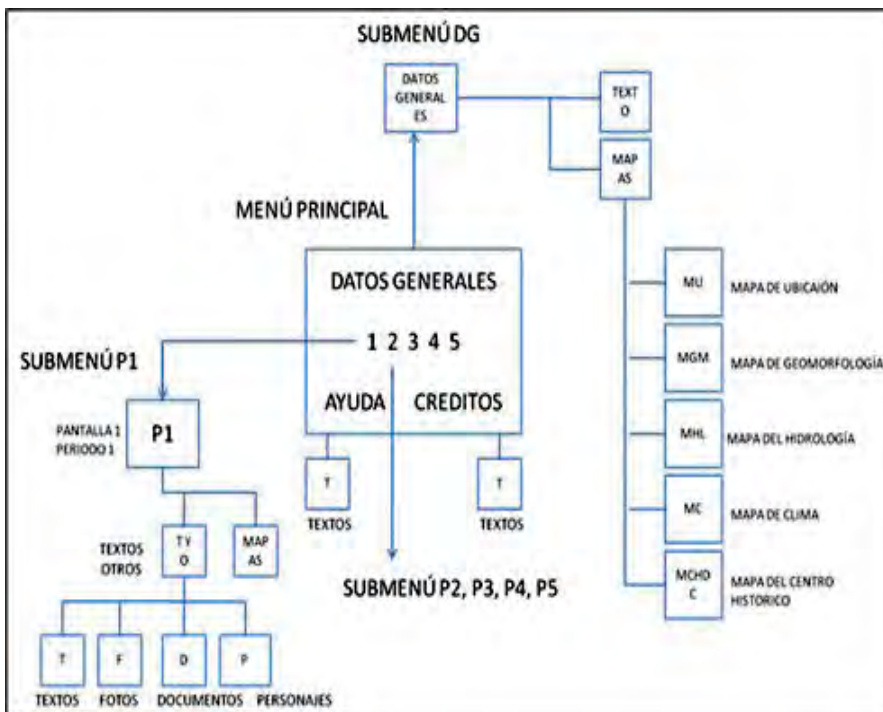
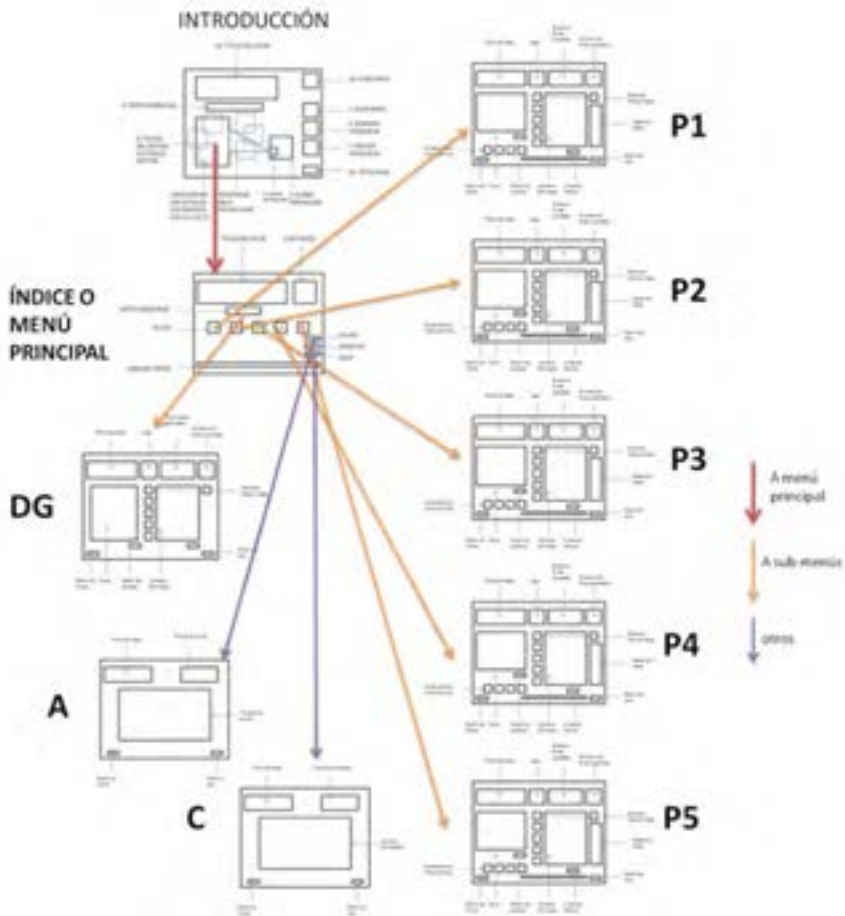




Figura 6. Modelos de presentación de todas las pantallas del atlas en conjunto



En la fase II se presenta el atlas, sus objetivos y propuesta, así como el público al cual se dirige. En esta fase se pretendió definir qué es lo que se quiere lograr.

Figura 7. Fase II de la metodología para el atlas CHDC



En la fase III se aplicaron los modelos hipermedia al atlas del CHDC dando como resultado un diagrama y grafos.

En la fase IV se elaboraron esquemas de mapas de cada período basándose en los archivos, mapas y demás información estudiada.

Figura 8. Fase IV de la metodología para el atlas CHDC



En la fase V se refiere a los programas y medios de almacenaje, en los que los modelos hipermedia se ejecutaron para crear el producto o atlas del CHDC. Programas que permiten realizar los objetivos del atlas.

Figura 9. Fase V de la metodología para el atlas del CHDC

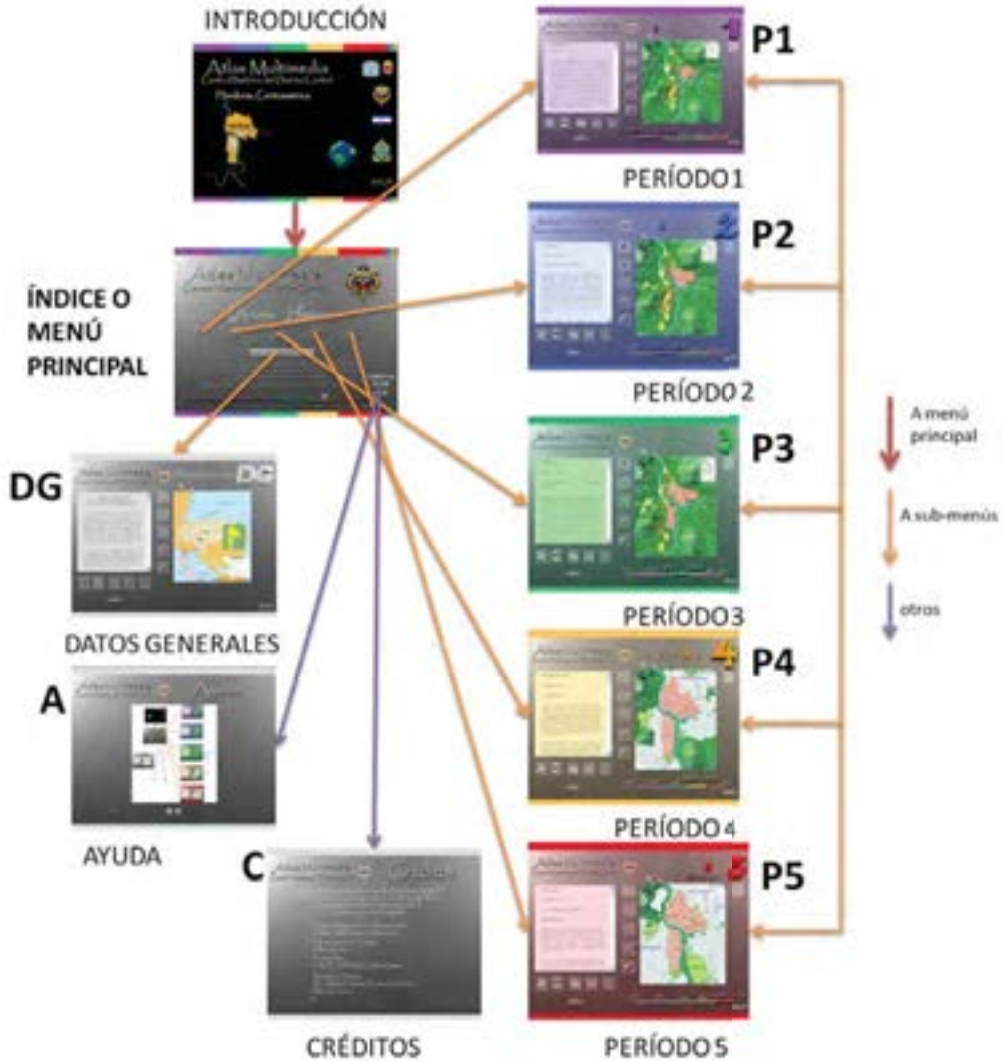


En cada una de estas fases se desarrollaron las actividades y se obtuvieron resultados.

### Productos finales del ACHDC de manera digital

Los productos finales del atlas electrónico se muestran a continuación. El diseño está compuesto por diez pantallas, de las cuales hay cinco que están dedicadas a los períodos históricos, una de introducción, otra de índice, otra de datos generales, una de ayuda y una de créditos.

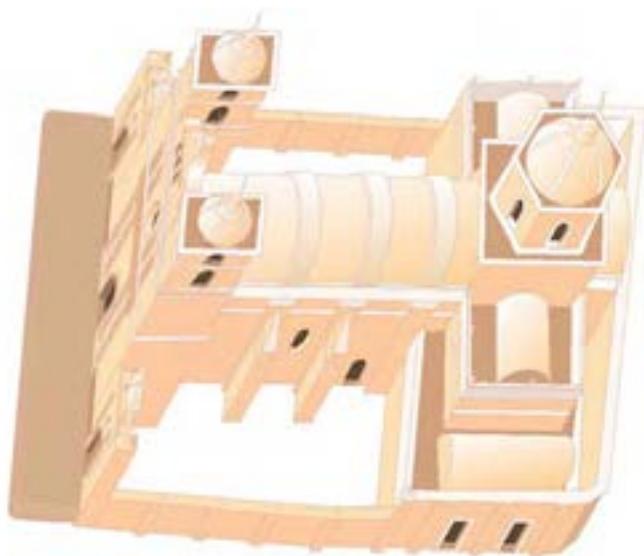
Figura 10. Estructura general del atlas con las imágenes de los productos de las pantallas de los períodos históricos



## Edificios históricos de importancia

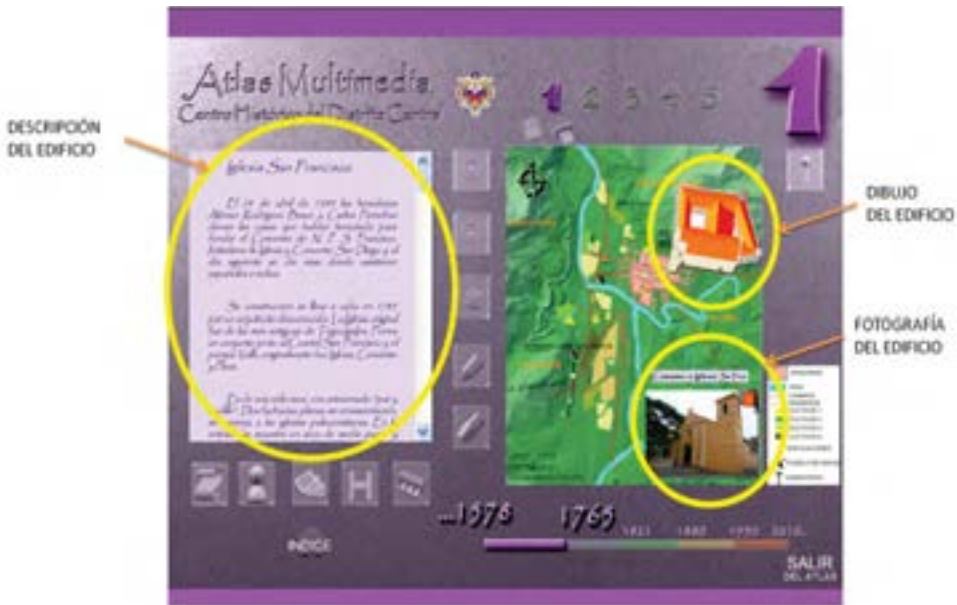
Algunos de los edificios más importantes del Centro Histórico se dibujaron en perspectiva axonométrica con un programa tipo vector, basándose en fotografías y planos del IHAH, para posteriormente colocarlos sobre el mapa del CHDC. En este caso ponemos como ejemplo a la catedral San Miguel Arcángel, construida en 1765 para sustituir a la primera parroquia que se incendió en 1746 (era de madera). La catedral San Miguel Arcángel fue la iglesia parroquial por varios siglos, es de importancia porque su construcción marca el período 2.

Figura 11. Catedral San Miguel Arcángel



Fuente: Elaboración propia

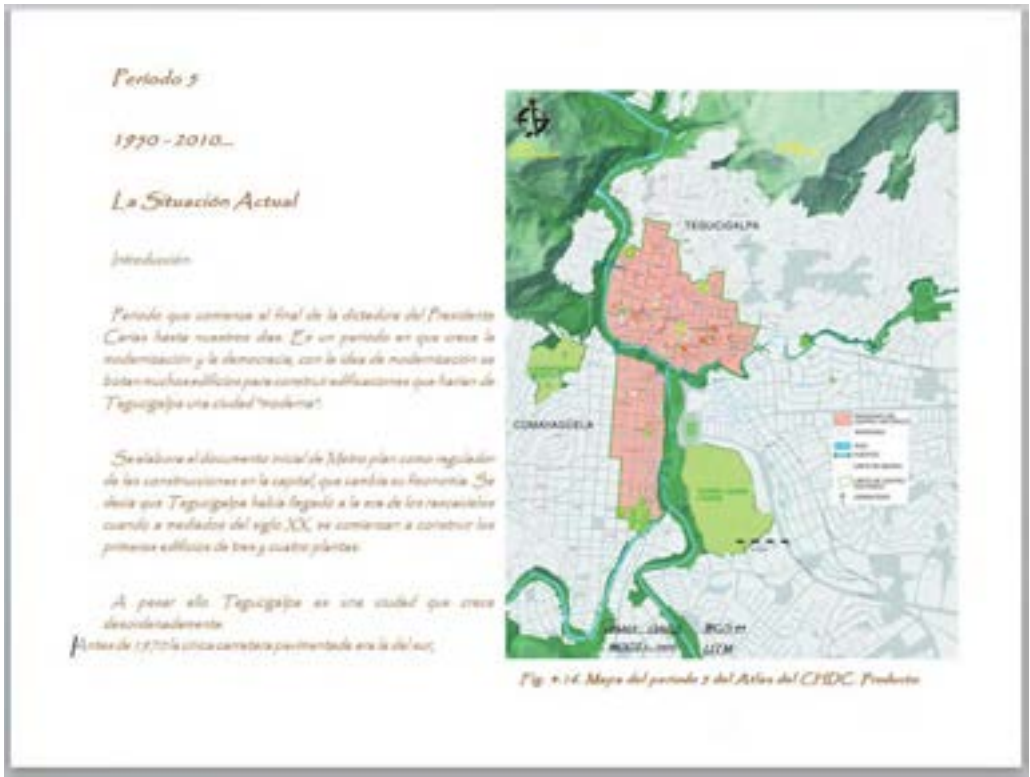
Figura 12. Pantalla y sus diferentes elementos y medios interactivos



## El atlas del Centro Histórico versión papel

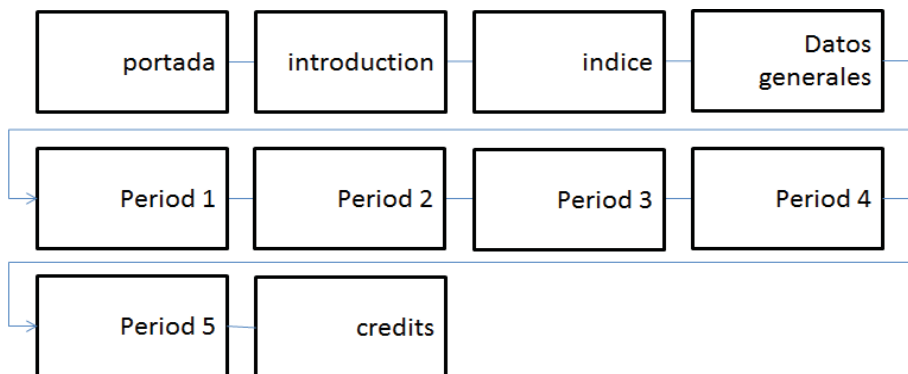
El atlas en versión papel se realizó siguiendo un modelo de información parecido al del digital. Este contiene las siguientes partes: una portada, un índice, páginas que explican los datos generales del territorio, un bloque de páginas por período histórico (son cinco en total), referencias bibliográficas. Tiene un total aproximado de 200 páginas y está elaborado a manera de prototipo.

Figura 13. Ejemplo de una de las páginas del ACHDC soporte papel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Modelo para la creación del ACHDC papel



Fuente: Elaboración propia.

## METODOLOGÍA

Como se mencionó la metodología a utilizar es la aplicación de ambos instrumentos a posibles usuarios (en este caso, un público amplio). Durante la prueba se analizarán cuestiones con primera impresión de la persona, si comprende o le es fácil comenzar a explorar la información, posteriormente se aplicará una entrevista en la que el propio usuario responde el grado de satisfacción que ha tenido con cada uno de los productos.

Figura 15. Modelo de entrevista

### ENTREVISTA AL USUARIO



nombre:

fecha:

1. ¿qué es lo que miras en pantalla?
2. ¿qué es lo que más llama tu atención?
3. ¿qué está a la derecha? ¿y a la izquierda?
4. describe para qué piensas que sirve cada uno de los botones que están en la pantalla.

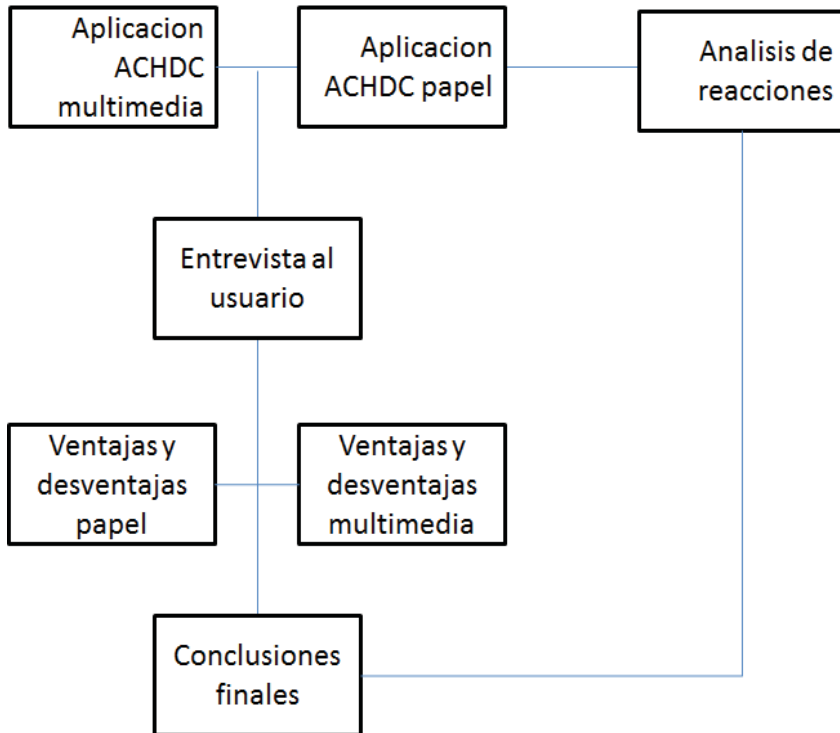
Se dejará que el usuario utilice el atlas hasta que se muestre que no lo desea utilizar más, entonces se le harán preguntas.

tiempo de uso:

5. ¿por qué dejaste de utilizarlo?
6. ¿qué es lo que más recuerdas del atlas?
7. ¿cuál es la edificación histórica que más recuerdas? y ¿por qué es importante?
8. ¿por qué es importante el centro histórico para tí?
9. ¿cuántas edificaciones históricas recuerdas? enuméralas.
10. como hondureño ¿por qué crees que se deben conservar estas edificaciones?
11. ¿crees que el atlas te enseñó a conocer el valor que tienen las edificaciones y el espacio del centro histórico?



Figura 16. Proceso basado en el diseño basado en el usuario para probar ambos atlas



## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con la información obtenida se realizará un análisis de los resultados para ver y comparar las distintas reacciones de los entrevistados, viendo similitudes y diferencias. El estudio es de caso con enfoque etnográfico por la metodología. La entrevista que se realizará, espera analizar las reacciones del usuario con respecto al uso de ambos atlas, posteriormente se cuantificará quiénes y cuántos tuvieron un mejor aprovechamiento de cada recurso.

En una primera aplicación solamente de tipo experimental se notó que el usuario se toma más tiempo en utilizar el producto multimedia, por la mayor interactividad y capacidad de buscar opciones, es decir que al ver una variedad de enlaces a los que se puede optar hay más atracción y se mantiene más entretenido que con ver páginas (versión papel), que no nos llevan a ningún otro medio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adabala, Neeharika (2010). An interactive multimedia framework for digital heritage. Microsoft Research India. Scientia.
- Ardito, Carmelo (2010). Combining multimedia resources for an engaging experience of cultural heritage. Universidad de Bari, Departamento de Informática.
- Cartwright, William (2010). "Addressing the value of art in cartographic communication". Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. ELSEVIER.
- Cartwright, William. (2007). Multimedia Cartography. New York: Springer Editorial.
- Stefanakis, Emmanuel, Peterson, Michael (2006). Geographic Hypermedia, Concepts and Systems. Springer Berlin Heidelberg Editorial.
- Gómez, Pineda (2010). "Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras". Revista de Posgrados, Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Oberholzer, Clemens (2000). Visualization of change in the interactive multimedia atlas of Switzerland. Computers and Geosciences. ELSEVIER.

# *La visualización del tiempo: de los sistemas de información geográfica a la animación cartográfica*

Florian Hruby, María del Rocío Castillo Aja  
y Luis Valdivia Ornelas

## **Resumen**

El trabajo propuesto pretende discutir el potencial de visualizaciones del tiempo desde una perspectiva teórica y práctica. Las preguntas teóricas abarcan las características del tiempo, la ampliación de las variables visuales de Bertin (1967) con las variables dinámicas de DiBiase et al. (1992) y una tipología de animaciones para estructurar el factor "tiempo" exhaustivamente. A partir de estas bases teóricas podemos analizar, cómo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten actualmente la visualización de datos temporales. Sin embargo, este análisis no se limita en una descripción de avances y limitaciones de los SIG, sino que intenta mostrar cómo datos espaciales exportados desde un SIG pueden ser enriquecidos mediante el tratamiento con software de autoría multimedia para la realización de visualizaciones animadas de procesos dinámicos. La actualización del Atlas de riesgos por fenómenos naturales del Estado de Jalisco se usará para ilustrar aspectos tanto teóricos como prácticos del presente artículo.

**Palabras clave:** Cartografía. Animación. Tiempo. SIG. Atlas

## **Abstract**

In this article, we attempt to discuss the potential of visualizations of time from a theoretical and practical point of view. Theoretical issues that will concern us include the general characteristics of time, the extension of Bertin's (1967) visual variables by the dynamic variables of DiBiase et al. (1992) and a typology of cartographic animations in order to structure the time-factor in a comprehensive manner. Based on these theoretical fundamentals we will analyze the abilities of current geographic information systems (GIS) to visualize temporal data. In doing so, we won't just focus on the advances and limitations of current GIS, but also outline how geodata exported from the GIS may be enriched in multimedia authoring software so that

animations of dynamic processes can be built. The actualization of the Atlas on the risk of natural phenomena in Jalisco will give occasion to illustrate both practical and theoretical aspects in the present contribution.

**Keywords:** Cartography. Animation. Time. GIS. Atlas.

---

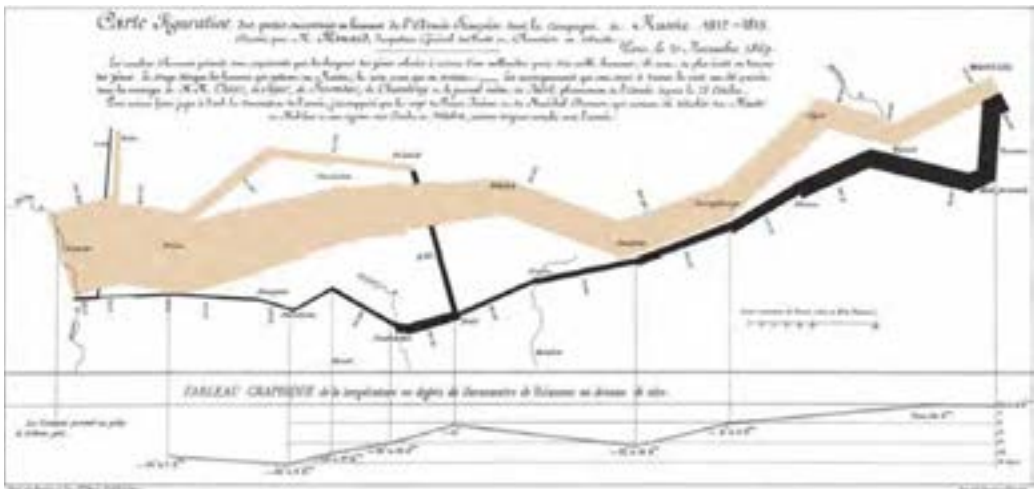
**Florian Hruby** (florian@hruby.fastmail.fm), Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, Universidad de Guadalajara. **María del Rocío Castillo Aja** (rocasaja@yahoo.com), Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, Universidad de Guadalajara. **Luis Valdivia Ornelas** (lvaol2003@yahoo.com.mx), Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, Universidad de Guadalajara.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tema de este artículo es la visualización dinámica del tiempo. Teniendo en cuenta la complejidad del término “tiempo” es necesario acotar el concepto; por lo que el concepto tiempo hará referencia a aquello que describe cualquier cambio en nuestro entorno. Ya que no podemos observar el tiempo de manera directa, pero si podemos observar los cambios; en otras palabras: los cambios solo pueden realizarse si el tiempo está transcurriendo. Así queremos en esta contribución utilizar (y visualizar) el tiempo como marco conceptual para describir cambios en las entidades espaciales. Capturar, analizar y visualizar cambios tiene una importancia fundamental para muchas problemas que enfrentan las geociencias actualmente, como por ejemplo el monitoreo y la previsión de riesgos naturales, que requieren un entendimiento de sistemas físicos dinámicos.

La visualización de procesos dinámicos con medios estáticos ha sido un problema en diversas culturas desde hace siglos. Ejemplos clásicos son el Lienzo de Zacatepec 1 (elaborado a mitad del siglo XVI) que contiene información histórica y genealógica del señorío de Zacatepec de aproximadamente 500 años (cf. Mundy, 1996), o el mapa sobre la campaña rusa del ejército napoleónico (Figura 1), publicado en 1869 por Charles Minard (cf. Kraak & Ormeling, 2010).

Figura 1. La campaña rusa de Napoleón (1812-1813) representada en un mapa de Charles Minard, que muestra el movimiento, las pérdidas humanas y la temperatura ambiental – ejemplo de una visualización de tiempo con medios estáticos.



Fuente: Wikimedia Commons; material en dominio público

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Minard.png>)

La característica común entre todas visualizaciones estáticas de procesos dinámicos es la necesidad de representar el factor tiempo mediante el espacio disponible en el mapa. Puesto que el espacio para la representación cartográfica es limitado, se reducen las opciones para visualizar procesos dinámicos, por lo que sólo es posible presentar uno o algunos puntos del tiempo real. La alternativa para visualizar el tiempo real de manera genuina, haciendo corresponder la variable temporal del fenómeno con la variable tiempo en la representación, se conoce en la cartografía desde Tobler (1970). Sin embargo, estas técnicas no se popularizaron hasta que software y hardware económicos y baratos estuvieron disponibles en los años noventa; en tanto que casi no se realizaron ejemplos de animaciones cartográficas durante los años setenta y ochenta. Al mismo tiempo aumentó el conocimiento empírico sobre las opciones para conseguir un mejor entendimiento de los fenómenos a partir de visualizaciones dinámicas: Por ejemplo observaron Griffin et al. (2006) en una investigación empírica que los participantes en el estudio lograron identificar clusters más rápida y precisamente en representaciones dinámicas que en representaciones estáticas, mientras, Dorling y Openshaw (1992), usando animaciones, encontraron concentraciones (tanto en el espacio como en el tiempo) de casos de leucemia en el norte de Inglaterra, que habían sido desconocidas anteriormente.

Por lo tanto se intentará en los siguientes capítulos, en primer lugar, exponer las características particulares de datos temporales, para poder mostrar, en segundo lugar, cómo estas particularidades pueden ser implementadas tanto dentro de los Sistemas de información Geográfica (SIG) como afuera de los mismos.

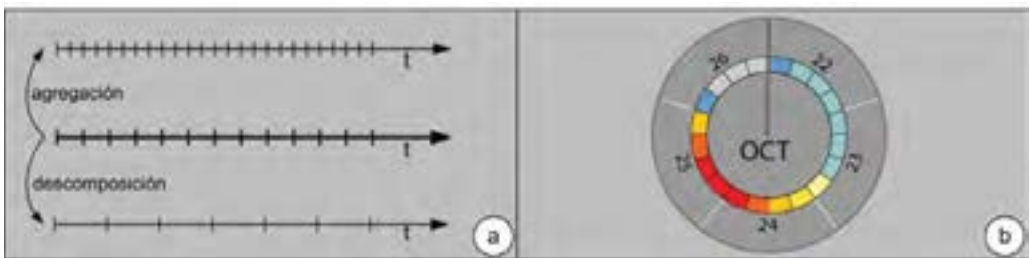
## 2. EL TIEMPO

Sin ocuparnos en este artículo de las reflexiones que hacen la física y la filosofía sobre el concepto de tiempo se pueden desprender de la literatura geográfica dos tipos fundamentales: el tiempo como dimensión lineal o como dimensión cíclica (Harrower & Fabrikant, 2008). Considerar el tiempo como dimensión lineal implica un avance consecutivo en el eje temporal; mientras el tiempo cíclico describe más bien el carácter recurrente de ciertos fenómenos. Para la geografía el tiempo como dimensión cíclica es de interés particular, puesto que un extenso entendimiento de eventos recurrentes, por ejemplo de sismos, implica la opción de pronosticar repeticiones futuras con mayor exactitud.

Los datos espaciales y temporales presentan las siguientes analogías (cf. Frank, 1994, Ott & Swiaczny, 2001): Primero, la dimensión continua, podemos en-

tender el tiempo, igual que el espacio, como una dimensión continua, sin embargo, por razones prácticas, como son la disponibilidad, la captura y la memorización de datos temporales, en muchos casos es necesario discretizar este continuo. Segundo, la escala, las medidas discretas del tiempo se pueden realizar mediante diferentes escalas, dependiendo si se hace simplemente un orden cronológico de eventos (en términos de una relación “antes-después”, ordinal) o si se usan intervalos discretos isócronos con nivel de medida de intervalo o de razón. Tercero, la resolución o generalización, cuando se definen los lapsos de tiempo más pequeños para medir y describir el tiempo de manera discreta, definiendo así la resolución temporal, es decir: la exactitud temporal de una animación cartográfica. Los datos con resoluciones temporales diferentes pueden ser conectados mediante métodos de agregación y descomposición (Figura 2a). Cuarto, la escala gráfica, para dar a entender esta resolución temporal a los usuarios de la animación es necesario especificar la escala temporal que define la relación entre tiempo real y tiempo visualizado. Igual que la escala espacial se puede señalar de manera numérica (por ejemplo tendría una animación que muestra cinco años en cinco segundos una escala de 1:31536000 (=1 seg/1 año) o de manera gráfica (Figura 2b).

Figura 2a: Resolución temporal y su modificación mediante los métodos de agregación y descomposición; Figura 2b: Ejemplo de una escala temporal gráfica (describiendo el huracán Kenna, cf. capítulo x/Figura x).



Fuente: Elaboración propia.

### 3. VARIABLES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

A través de la cartografía se pretende visualizar información espacial y temporal de tal manera que permita a los usuarios de productos cartográficos comprender esta información apropiadamente. Para lograr esta meta se utilizan las 6 (+1) variables visuales definidas por Bertin (1967), que describen cómo cualquier símbolo gráfico del mapa se puede modificar, además de la posición (dada por x, y) en visualizaciones planas por el tamaño, la intensidad o valor, el grano o textura, el

color, la orientación y la forma. A pesar de que Bertin define las variables visuales explícitamente para visualizaciones estáticas, se pueden visualizar las modificaciones de los valores de estas variables también de manera dinámica. Por ejemplo puede resultar una modificación dinámica de la variable “x, y” de un símbolo del mapa en la percepción de un movimiento continuo de este símbolo por parte del usuario; de la misma manera resultaría la modificación de la variable “orientación” en la percepción de una rotación (Figura 3).

Figura 3. Las variables visuales de Bertin (1967) y sus posibles modificaciones en entornos estáticos y dinámicos

VARIABLES GRÁFICAS (BERTIN, 1967)	VISUALIZACIONES ESTÁTICAS	VISUALIZACIONES DINÁMICAS
2 DIMENSIONES DEL PLANO		
TAMAÑO		
INTENSIDAD		
GRANO		
COLOR		
ORIENTACIÓN		
FORMA		

Fuente: Elaboración propia.

Para estructurar las opciones que se dan en visualizaciones dinámicas a partir de las variables visuales, DiBiase et al. (1992) propusieron tres variables dinámicas (después modificadas por otros autores, e.g. MacEachren (2004): magnitud de variación (entre dos escenas subsiguientes de una animación; *rate of change*), duración (*duration*) y orden (*order*).

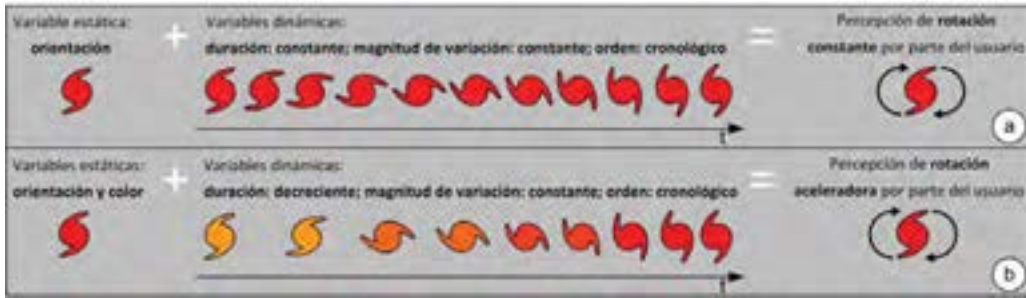
Las visualizaciones estáticas representan normalmente alguna situación



real en el presente, pasado o futuro, a la cual se refiere en una animación con el término “escena” (DiBiase et al., 1992). Cada animación consta —a diferencia de un mapa estático— de varias escenas, que se pueden describir mediante la variable duración. Esta primera variable dinámica expresa el tiempo que cada escena de la animación permanece visible para el usuario. Dado que el tiempo se puede medir, la duración permite representar datos con niveles de medida (escala) ordinal, de intervalo o razón, por ejemplo para programar la duración de escenas en función de la magnitud del fenómeno representado. Mientras una escena en una animación representa una situación real, una secuencia de situaciones reales representará un evento. Para visualizar un evento mediante una animación, es decir: para visualizar una secuencia de escenas podemos diferenciar, como segunda variable dinámica, la magnitud de la variación; que se podrá expresar mediante la diferencia en la posición o con respecto a un atributo gráfico de un símbolo entre dos escenas consecutivas. Esta variable abre en conjunto con la variable de la duración varias alternativas para diseñar animaciones cartográficas. Dejando, por ejemplo, la magnitud de variación de las variables  $x$ ,  $y$  constante y pequeña, y manteniendo constante y pequeña también a la duración, resulta en la sensación de un movimiento continuo para el usuario. Si se aumenta la magnitud de variación y permanece constante la duración, se produce un cambio más abrupto y la sensación de un movimiento continuo se pierde. Así, modificando ambas variables permite jugar con la forma en que vemos a la realidad, con lo que se pueden generar vistas diferentes que, a su vez, pueden facilitar nuevos conocimientos. Finalmente, la tercera variable dinámica según DiBiase et al. (Ídem) es el orden. El orden permite distinguir entre animaciones temporales, siguiendo un orden cronológico, y animaciones non-temporales, siguiendo algún orden atributivo (por ejemplo una animación, que muestra primero los sismos más fuertes de una región y a continuación los sismos en magnitud decreciente).

Las tres variables dinámicas presentadas se combinan con las variables estáticas de manera múltiple. Así, la animación implica para la cartografía una multiplicación de opciones de visualización. La Figura 4 demuestra estas posibilidades de combinación, utilizando nuevamente el ejemplo de un símbolo para un huracán. Aquí la combinación entre variables visuales estáticas y las tres variables dinámicas da el efecto de una rotación continua (Figura 4a), mientras una modificación en la variable duración produce una rotación acelerada (en función de diferentes intensidades del huracán durante su paso) en Figura 4b.

Figura 4: Combinación de variables visuales estáticas y variables dinámicas para producir efectos de rotación constante (a) y acelerada (b) de un símbolo de un huracán en función de su intensidad



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. ANIMACIÓN

La cartografía analógica tiene una serie de opciones para visualizar cambios en el tiempo. Por ejemplo se pueden usar flechas para indicar movimientos en el tiempo, o variables visuales como el valor para visualizar cambios diacrónicos. Otra opción estática es la visualización mediante un conjunto de mapas presentadas en orden cronológico unos al lado de otros, una técnica que se conoce desde Tufte (1990) bajo el término de pequeños múltiples (*small multiples*). Sin embargo, como el enfoque del presente artículo se dirige a la visualización genuina del tiempo mediante el tiempo de la misma representación, el método de preferencia es la animación. Para la cartografía podemos definir la animación como una secuencia de gráficos estáticos en donde se modifican una o varias de las variables visuales en una frecuencia (normalmente entre 24 y 30 mapas por segundo) que produce la sensación de un cambio continuo de esta(s) variable(s) en el usuario (cf. Figuras 3 y 4). Por lo tanto, las animaciones, basadas en gráficos, se distinguen de las películas y los videos, conformadas por elementos fotográficos (Harrower & Fabrikant, 2008).

Lobben (2003) propone tres criterios para categorizar los diferentes tipos de animaciones: tiempo (*time*), espacio (*space*) y tema (*variable; attribute*). El espacio, en esta tipología, hace referencia al mapa base de la animación, sobre el cual se visualiza el tema. Dado que nos interesa la visualización del tiempo, lo definimos como dinámico, mientras que los otros dos criterios (espacio y tema) pueden ser tanto estáticos como dinámicos. Esta condición implica que casos populares de animaciones de áreas, como por ejemplo la simulación de un sobrevuelo de un paisaje virtual, queden fuera de las siguientes consideraciones, puesto que en este tipo de animaciones no se visualiza ningún cambio temporal. La Tabla 1 muestra las

opciones relevantes para una visualización dinámica del tiempo.

Tabla 1. Opciones para visualizar el tiempo mediante animaciones cartográficas de primero, segundo y tercer orden con los criterios de tiempo, tema y espacio

<i>Orden de la animación</i>	<b>Criterios dinámicos de la animación</b>		
	<b>Tiempo</b>	<b>Tema</b>	<b>Espacio</b>
<i>Primero</i>	x		
<i>Segundo</i>	x	x	
	x		x
<i>Tercero</i>	x	x	x

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 da una visión general de cómo podemos crear animaciones cartográficas con complejidad ascendente. Cabe mencionar que la terminología que usamos aquí también refleja modificaciones críticas de la tipología propuesta por Lobben (*Ídem*), por lo cual se introduce una denominación nueva que habla de animaciones temporales de primer, segundo y tercer orden.

Animaciones temporales de primer orden ( $A^{T1}$ ) se definen por la visualización dinámica del tiempo en un espacio estático con temas visualizados mediante variables estáticas. Ejemplo típico de una  $A^{T1}$  sería un mapa que visualiza los epicentros de sismos de cierta área en un orden cronológico, de tal manera que los epicentros aparecen consecutivamente en un mapa base estático en función del periodo representado. Como la calidad de las variables que representan el tema (en el ejemplo los epicentros) no cambia durante la animación de manera dinámica, la variable tema se considera como estática; por lo que la variable dinámica que queda es el tiempo en que los símbolos estáticos aparecen en el mapa base.

Figura 5. Tres escenas del mapa de epicentros de sismos en Jalisco

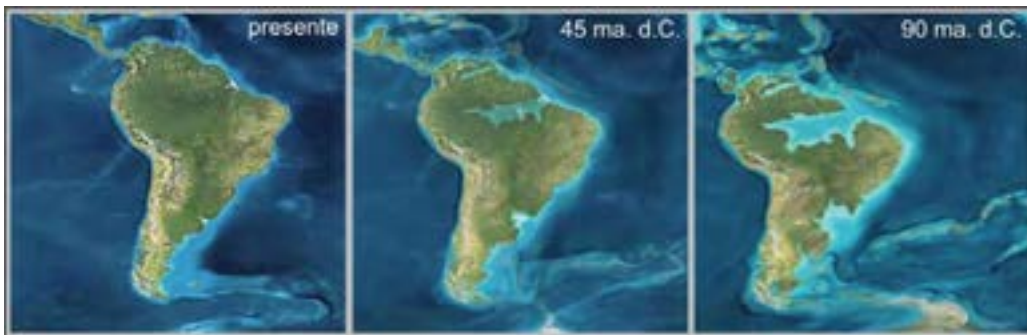


Fuente: Elaboración propia, con base en Valdivia Ornelas & Castillo Aja (en prensa)

En las animaciones temporales de segundo orden (AT2) se modifica un segundo criterio de manera dinámica, que puede ser ya sea el espacio del mapa base o el tema. Esta modificación tiene que realizarse de tal manera que el usuario la perciba como un cambio continuo (mientras un cambio discreto resultaría otra vez en una AT1). La Figura 8 da un ejemplo de una AT2 con base en una visualización de un huracán, donde el símbolo del huracán (el tema (T)) se modifica de manera dinámica con respecto a su posición, color, tamaño y orientación en función del evento representado. Si el segundo criterio de la AT2 no es el tema sino el espacio (E) del mapa base se habla de una (AT2-E). Un ejemplo sería una animación que muestra el movimiento de las placas tectónicas en el pasado o futuro (ver Figura 6.).

Sin embargo, animaciones del tipo AT2-E son casos especiales donde el mapa base representa espacio y tema al mismo tiempo.

Figura 6. Tres escenas de una animación del movimiento de las placas tectónicas en los próximos 100 millones de años (ma) –ejemplo de una animación temporal de segundo orden con espacio dinámico (AT2-E)



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Departamento de Geografía de la Universidad de Viena.

El caso más complejo lo constituyen las animaciones temporales de tercer orden ( $AT^3$ ) donde los tres criterios mencionados tienen carácter dinámico, el resultado son animaciones donde una visualización del tiempo y del tema corre en paralelo a una modificación del mapa base, como aquellas que utilizan el zoom y el paneo.

## 5. LA VISUALIZACIÓN EN DEL TIEMPO EN LOS SIG —EL EJEMPLO DE ARCGIS

Como un análisis profundo de las herramientas de los diferentes SIG para visualizar el tiempo de manera dinámica excede el marco del presente trabajo, sólo se presentará a manera de ejemplo la versión más actual (10.1) del software ESRI ArcGIS, con una cuota de mercado estimada entre 40% - 70% el líder del mercado en nivel global. A pesar de que este software ofrece, según nuestra experiencia, la mayor cantidad de herramientas para realizar animaciones dentro del mismo SIG, aplican las siguientes consideraciones también a herramientas comparables de otros SIG, por ejemplo el time manager de QuantumGIS.<sup>1</sup>

- ESRI define los tipos de animaciones que se pueden crear en ArcMap, ArcScene y ArcGlobe de la siguiente manera (ArcGIS Resource Center, 2012):
- Navegar por la visualización (zoom y desplazamiento panorámico en ArcMap, o navegar en ArcGlobe o ArcScene).
- Animar la transparencia o visibilidad de capas.
- Mover la cámara o la vista de mapa a lo largo de una ruta.
- Mover una capa a lo largo de una ruta (sólo está disponible en ArcScene).
- Animar datos a través del tiempo mientras se mueve la cámara.
- Cambiar el color de fondo, la iluminación o la exageración vertical de una escena (sólo ArcScene).

Dentro de esta lista de opciones para crear “animaciones” en ArcGIS sólo el punto cinco implica una visualización del tiempo. El punto seis hace referencia al cambio de la iluminación del paisaje con el movimiento del sol durante un día, que es por sí una animación del tiempo; sin embargo, esta herramienta no permite animaciones temporales de otras variables, por lo cual lo tratamos como caso especial que no necesita de más explicaciones aquí.

Para visualizar cambios temporales de datos espaciales de una manera genuina, ArcGIS ofrece dos opciones: *El control deslizante de tiempo y la barra de herramientas de animación para crear una animación basada en el tiempo*. Ambas herramientas requieren información temporal para la entidad (feature), que se tiene que definir y habilitar en las propiedades de capa. Teniendo disponible esta información temporal se puede usar por un lado el control deslizante de tiempo para estructurar (por ejemplo acortar o alargar la extensión de tiempo) esta información y visualizarla en el mismo software o exportarla a un formato de video. Como el

<sup>1</sup> Otros SIG con herramientas que se dedican más al análisis temporal que a la visualización dinámica del tiempo, como por ejemplo el Earth Trends Modeler de Idrisi, no son tema de este artículo.

deslizante de tiempo no permite cambios dinámicos en el mapa base, las animaciones producidas por esta herramienta siempre entran a la categoría A<sup>T1</sup>. Por otro lado, ArcGIS dispone de un administrador de animaciones, con el cual se pueden integrar datos temporales en animaciones de la vista.

Comparamos entonces las opciones que ArcGIS actualmente da para visualizar el tiempo con los diferentes tipos de animaciones de la Tabla 1, queda demostrado que este software en particular, pero también los SIG en general, permiten visualizaciones dinámicas del tiempo y del espacio, mientras animaciones dinámicas del tema todavía no se pueden visualizar.

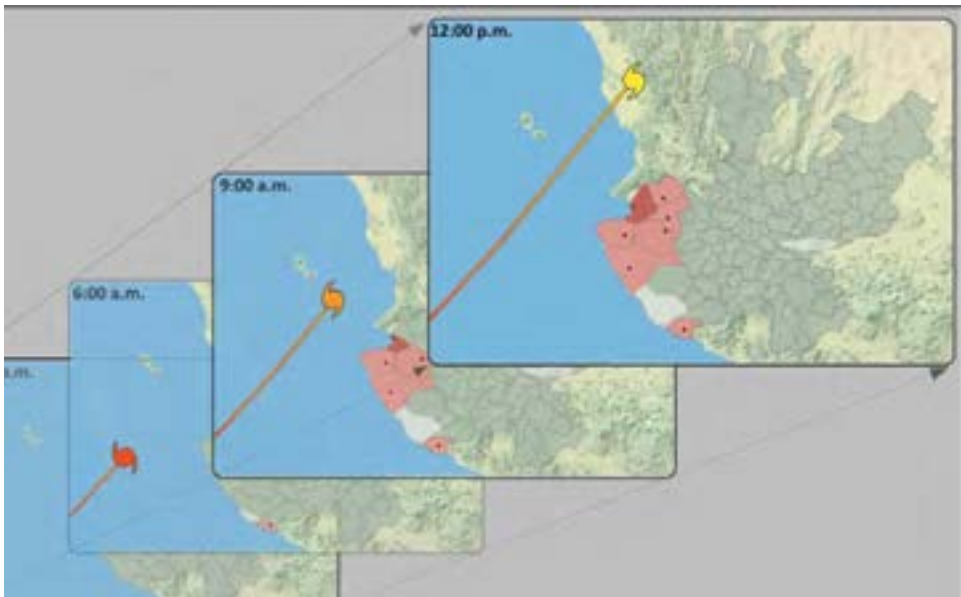
## 6. LA ANIMACIÓN CARTOGRÁFICA FUERA DE LOS SIG

Además de las opciones mencionadas anteriormente sobre cómo hacer animaciones dentro de los SIG, existe la posibilidad de posprocesar datos preparados dentro de un SIG para crear visualizaciones dinámicas mediante software adicional. Un ejemplo basado en servidor lo brinda Microsoft Silverlight, que es una estructura de desarrollo para aplicaciones web que también permite la programación de aplicaciones dinámicas e interactivas. La interfaz de programación de aplicaciones (API por sus siglas en inglés) de ArcGIS para Silverlight permite la integración de servicios de ArcGIS Server en aplicaciones de Silverlight. Para aquellos SIG que no se basan en un servidor web (e.g. ArcMap) está la alternativa de exportar datos espaciales del SIG en un formato vectorial, que pueden ser importados y trabajados, por ejemplo, en Adobe Flash.

A continuación se presentará esta opción de manera ejemplar mediante de una animación del fenómeno meteorológico de los ciclones tropicales, que se realizó como prototipo para la actualización del *Atlas de riesgos por fenómenos naturales del estado de Jalisco* (México). La animación se sirve de una base de datos mantenida por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), que ofrece actualmente datos de casi 300,000 ciclones tropicales a nivel mundial. Esos datos fueron filtrados, fijados a escala y integrados en un mapa base en un SIG. Después se hizo una exportación de este mapa base al formato vectorial de Adobe Illustrator (.ai), donde se armaron los datos espaciales con los elementos de interfaz gráfica de usuario que permite una navegación personalizada para los usuarios de la animación. Finalmente, se importaron los datos elaborados en Adobe Illustrator al Adobe Flash, donde se programaron las animaciones de las rutas de diferentes huracanes relevantes para el área del estado de Jalisco. Las variables visuales utilizadas fueron el tamaño, el color y la

orientación. Aplicando técnicas de tweening<sup>2</sup>, estas variables se modifican en la animación continuamente en función de la intensidad del huracán; se complementa indicando el área afectada por el huracán, también de manera dinámica sobre el mapa base (Figura 7).

Figura 7: Escenas del prototipo de la animación del huracán Kenna, llegando a las costas de Jalisco el 25 de octubre 2002



Fuente: Elaboración propia a base de Segundo & Hruby (2012)

Si ahora comparamos las opciones de programas como Adobe Flash con la Tabla 1, podemos constatar que la animación cartográfica fuera de los SIG nos permite visualizar no solo el tiempo y el espacio sino también el tema del mapa de manera dinámica en términos de animaciones de tipo  $A^{T^2}$  y  $A^{T^3}$ .

## 7. CONCLUSIONES

Desde que Wood & Fels (1992) criticaron a la cartografía por tratar el tiempo como una dimensión escondida, las opciones de los SIG para visualizar datos temporales han crecido de manera constante. Los SIG de punta trabajan tanto información temporal como espacial. Sin embargo, a los SIG aún les falta la capacidad para visualizar el tema del mapa de manera dinámica. Para superar estas

<sup>2</sup> Tweening se refiere a técnicas de interpolación automatizada entre gráficos (cf. Batterby & Goldsberry, 2010)

limitaciones se puede extender el proceso de la elaboración cartográfica, incluyendo software y estándares especializados, como por ejemplo Adobe Flash, Microsoft Silverlight o HTML5, que permiten un posprocesamiento de datos espaciales preparados en un SIG. Usando técnicas como tweening y morphing<sup>3</sup> y considerando las variables dinámicas de DiBiase et al. (1992) se pueden modificar las variables visuales de Bertin de manera continua para lograr animaciones de tercer orden. Además, estos programas permiten agregar elementos multimedia y funciones de interactividad y navegación a los mapas —factores importantes tomando en cuenta que una animación, por su carácter dinámico, es más compleja en su uso y demanda un control adecuado por parte del usuario.

Cabe notar que el desarrollo de teorías adecuadas en el área de cartografía y SIG no mantuvo el mismo ritmo de avance que el desarrollo tecnológico de las últimas décadas (Harrower & Fabrikant, 2008); por lo que no está suficientemente investigado, cuáles serían las ventajas de utilizar qué tipo de temas y con cuáles tipos de animaciones; tampoco existe una terminología elaborada para diferenciar entre tipos de animaciones de manera consistente. Por lo tanto, se ha presentado en apego crítico a Lobben (2003) una tipología de animaciones del tiempo y a la vez una aplicación ejemplar de esta tipología para describir las posibilidades de visualizar el tiempo dentro y fuera de los SIG de manera dinámica. Sin embargo, el tema de las visualizaciones de tiempo en la cartografía amerita más investigación para comprobar tanto la adecuación de la tipología propuesta en este artículo, como la utilidad de las animaciones para los fines de la cartografía.

## BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS Resource Center (2012). “¿Qué es una animación?”, [consulta: 24-04-2013]. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#na/0009000000001000000/>
- Bertin, J. (1967). *Sémiologie Graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Gauthier-Villars.
- Battersby, S. y Goldsberry K.P. (2010). “Considerations in Design of Transition Behaviors for Dynamic Thematic Maps”, *Cartographic Perspectives*, vol. 65,

<sup>3</sup> Morphing se refiere a técnicas de interpolación automatizada para trasladar la forma de una imagen/ de un gráfico a la forma de otra imagen/otro gráfico. El tweening forma normalmente un paso en el proceso del morphing. Figura 6 da un ejemplo de esta técnica.



pp. 16-32.

- DiBiase, D., MacEachren, A.M., Krygier, J.B. y C.R. Reeves (1992). "Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization", *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19 (4), pp. 201-214, 265-266.
- Dorling, D. y S. Openshaw (1992). "Using computer animation to visualize space-time patterns", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 19, pp. 639-650.
- Frank, A. (1994). "Different types of 'times' in GIS", en Egenhofer, M., y R. Golledge: *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*. New York: Oxford Press. pp. 40-62.
- Griffin, A. L., MacEachren, A.M., Hardisty, F, Steiner, E y B. Li (2006). "A Comparison of Animated Maps with Static Small-Multiple Maps for Visually Identifying Space-Time Clusters", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 96 (4), pp. 740-753.
- Harrower, M. y S.I. Fabrikant (2008). "The role of map animation in geographic visualization." en Dodge, M., McDerby, M. y M. Turner: *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*. Chichester, Wiley. pp. 49-65.
- Kraak, M.-J. y F. Ormeling (2010). *Cartography: Visualization of Geospatial Data*. Pearson Education, Harlow.
- Lobben, A. (2003). "Classification and Application of Cartographic Animation", *The Professional Geographer*, vol. 55 (3), pp. 318-328.
- MacEachren, M. (2004). *How maps work: representation, visualization, and design*. New York: The Guilford Press.
- Mundy, B. E. (1996). *The Mapping of New Spain*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Ott, T., y F. Swiaczny (2001). "Integrating time in Geographic Information Systems.", en Ott, T., y F. Swiaczny: *Time-Integrative Geographic Information Systems*. Berlín, Springer. pp. 55-75.
- Segundo Metay, P. & Hruby F. (2012). "Visualización del tiempo mediante animaciones cartográficas" en *Memorias: VIII Reunión Nacional de Geomorfología*

[consulta: 24-04-2013]. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/eventos/conferencias/MEMORIAS.pdf>

- Tobler, W. (1970). "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, vol. 46, pp. 234-240.
- Tufte, E. (1990). *Envisioning Information*, Cheshire: Graphics Press.
- Valdivia Ornelas, L. y M.d.R. Castillo Aja. (En prensa). "Impacto de los desastres naturales en la historia reciente del Estado". Guadalajara: Editorial Universidad de Guadalajara.
- Wood, D. y J. Fels (1992). *The Power of Maps*, The Guilford Press, New York.

# ORDENAMIENTO TERRITORIAL



# *Riesgos y morfología urbana: ciudades en planicies y laderas*

Elsa Lily Caballero Zeitún y  
Celina Michelle Sosa Caballero

## **Resumen**

Hoy en día podemos definir con mayor solvencia el concepto de riesgo urbano como la exposición a sufrir daños en vidas y medios de vida por la alta densificación poblacional y de infraestructura de los espacios socialmente construidos, cuyos detonantes pueden ser amenazas naturales o antrópicos. Las acciones humanas son las que magnifican la severidad de los daños a la sociedad, siendo los patrones de uso del suelo factor de riesgo que determina la pérdida de los bienes de vida de la población.

Periódicamente las ciudades de Honduras enfrentan desastres, situación que motiva el estudio sistemático de los riesgos urbanos, con el tema riesgos y morfología urbana: ciudades en planicies y laderas, interesa avanzar en la exploración del tipo de emplazamiento de la ciudad en relación a amenazas hidrometeorológicas, como una contribución con los criterios de la planificación urbana sostenible.

**Palabras clave:** Gestión de riesgos. Morfología urbana. Planificación urbana.

## **Abstract**

Today we can advance define the concept urban risk as exposure to damage in lives and livelihoods by the high density of population and infrastructure of socially constructed spaces, whose triggers can be natural or man-made threats, where human actions are those that magnify the severity of the damage to society, being the land use patterns of risk factor which determines the loss of the goods of life of the population.

Periodically the cities of Honduras face disaster situation that motivates the systematic study of urban risks, themed Risks and Urban Morphology: cities in plains and slope, interested further explore the type of location of the city in relation to hydrometeorological as a contribution to the criteria of sustainable urban planning.

**Keywords:** Risk management; Urban Morphology; Urban Planning.

---

**Elsa Lily Caballero Zeitún** (zeitunlily@yahoo.com), Maestría en Gestión Social Urbana, UNAH. **Celina Michelle Sosa Caballero** (sosacelina@yahoo.com), FACES, UNAH.

## INTRODUCCIÓN

Amenazas antrópicas y naturales desencadenan desastres cada vez más severos en los asentamientos humanos, el crecimiento de las ciudades hace que cada vez sea mayor el número de personas y bienes afectados, por lo que progresivamente se introduce la gestión del riesgo en la planificación urbana o municipal.

Estudios realizados sobre riesgos urbanos coinciden en que los factores que potencian los daños por amenazas naturales particularmente las de origen hidrometeorológico, están asociadas a la forma en que se da el crecimiento urbano caracterizado por la segregación residencial, la fragmentación social y territorial, la profundización de la pobreza incremento de la vulnerabilidad y la ausencia de procesos de planificación urbana sistemática que produce la ciudad formal y la informal.

Del enfoque de gestión del riesgo, acuñado por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres, nos interesa destacar la importancia de la recurrencia de pequeños eventos de desastre, normalmente sólo se recupera la importancia de los grandes eventos de desastre, los de menor envergadura que ocurren con mayor frecuencia e igualmente provocan serios daños a las familias afectadas no tienen la misma cobertura. "Lo que interesa destacar, en primer lugar, es que la larga historia de desastres mayores ha ocultado la existencia de una serie de eventos de menor envergadura que ocurren cotidianamente en la ciudad y que no han sido objeto ni de estudios ni de programas de prevención sostenidos, y que junto al cuadro de riesgo de terremotos están los derrumbes, deslaves e inundaciones" (Lungo et al, 1996: 12).

Como sociedad todavía no estamos en condiciones de prevenir los grandes eventos que causan daños masivos (Haití 2010, Chile 2010, Japón 2011,) pero si estamos en condiciones de hacer cambios sustantivos en la forma de ocupación del suelo urbano para resistir mejor y prevenir los pequeños pero recurrentes eventos de desastre. El reto es corregir las intervenciones que generan riesgos, desde los sistemas constructivos, la ocupación de zonas de riesgo, la ausencia o debilidades de los sistemas de defensa civil, la anarquía en la ocupación del suelo, la deforestación, la desestabilización de suelos y taludes, la impermeabilización de suelos por edificaciones y carpetas asfálticas.

"Los procesos de ocupación territorial y de producción urbana, los patrones de uso del suelo, la falta de regulaciones para la construcción y los severos déficits y obsolescencia de la infraestructura y los servicios básicos, combinados

con el crecimiento poblacional y de la pobreza urbana aumentan la presión sobre los recursos ambientales, exponiendo a una proporción cada vez más creciente de la población de las ciudades a enormes riesgos ambientales. Lo importante en la cuestión es que la generación de riesgos ambientales urbanos tiene un alto componente de participación humana, lo que plantea la posibilidad de prevenirlos y evitarlos siempre y cuando se modifique la relación entre el ser humano y la naturaleza, y se formulen políticas urbanas que incorporen la prevención de los riesgos ambientales” (Lungo et al, 1996: 32).

Una relación que no ha sido lo suficientemente profundizada en la planificación y riesgo urbano es la importancia que adquiere el emplazamiento físico de la ciudad y las intervenciones urbanas, no en el sentido de volver al análisis puramente físico de los riesgos, etapa superada, sino en la interacción de factores físicos y sociales. Lo específico del emplazamiento de la ciudad y las formas de ocupación del suelo son determinantes en la severidad de los daños. Los daños por inundaciones, derrumbes, deslizamientos, sismos, tienen una estrecha relación con las capacidades de técnico políticas de gestión de la ciudad y la capacidad de sus ocupantes en el uso de tecnologías en la construcción social del espacio.

Al considerar el tipo de emplazamiento físico de la ciudad, es necesaria la diferenciación a partir de una tipología básica de ciudades en laderas y ciudades en planicie, el comportamiento de los fenómenos detonantes de desastres son diferentes según el emplazamiento de la ciudad, lo que se requiere de tratamientos técnicos y normativos diferentes que la estandarización de riesgo no ayuda a superar.

Normalmente, la planificación urbana parte de un diagnóstico físico de la ciudad para la zonificación, pero este instrumento hace referencia al uso funcional del espacio y no necesariamente a las adecuaciones normativas y tecnológicas que se derivan del tipo de emplazamiento, la premisa es que la tecnología, en este caso constructiva, resuelve los problemas de intervención según las características del territorio, sin embargo, la realidad de las ciudades es otra, las tecnologías constructivas en sí mismas no han resuelto las pérdidas del stock urbano frente a los desastres, “las tendencias recientes indican que los avances en la prevención de riesgos son positivas en la disminución de pérdidas humanas pero no está sucediendo lo mismo con los bienes de vida de la población, incluyendo en estos, las viviendas, menajes, instalaciones públicas y privadas en servicios y producción” (EIRD/ONU, 2011).

El tipo de emplazamiento físico de los asentamientos humanos es defini-



tivo en cuanto a la exposición a riesgos y la diferencia está dada por la ubicación y emplazamiento, la historia geológica, las zonas climáticas, el tipo de suelo, los accidentes geográficos y la altitud. La población se asienta sobre un espacio construido único sobre valles, montañas, costas, humedales, etc., por lo que el riesgo de desastre dependerá de los procesos de ocupación del suelo con propósitos urbanos.

Por ejemplo, uno de los elementos de la morfología urbana es la traza, que supone tomar en cuenta la topografía del terreno, criterios técnicos de trazado de calles cuyo sentido de accesibilidad de prioridad a la seguridad humana, la traza orgánica para suelos escarpados, minimiza la erosión, la traza ortogonal o reticular, en planicies pueden ser diseñadas para la evacuación de aguas en casos de inundación y no solo para uso vehicular; trazas adaptadas a los suelos de bajo nivel freático de zonas costeras que no obstaculizan los cursos de aguas.

El objetivo del análisis de los riesgos y la morfología urbana es destacar la importancia del tipo de emplazamiento frente al riesgo de inundación. El documento se organiza en tres partes, la primera, trata sobre una tipología básica de emplazamiento básico de la ciudad; en la segunda, se hace el análisis de ciudades en laderas donde se toma el caso de la ciudad de Tegucigalpa, por estar emplazada en una cadena de laderas y posee un nivel de avance importante en cuanto a investigaciones especializadas; la tercera, analiza las ciudades en planicies, donde se toma el caso de la ciudad de Valle de Ángeles, emplazada en una meseta y la Ciudad de Tela, en una planicie costera y humedal, seleccionadas básicamente por el conocimiento en terrenos de ambos casos y se concluye con una discusión sobre las particularidades de la morfología y los riesgos urbanos según el tipo de emplazamiento y que pueden contribuir a mejorar los procesos de planificación urbana con enfoque de gestión de riesgos.

## 1. EL TIPO DE EMPLAZAMIENTO DE LA CIUDAD

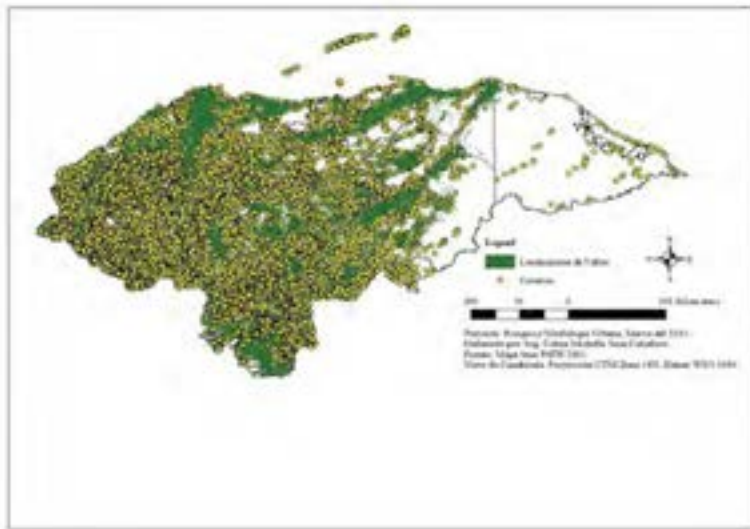
Según sean las características del territorio bajo estudio, interesa determinar por topografía el tipo de emplazamiento de la ciudad el cual se distingue por una superficie de grandes áreas escarpadas, modeladas por el sistema de cordilleras y montañas y en menor medida la superficie plana de las planicies del norte y Pacífico.

Las zonas de montaña que se estructuran a partir de tres cordilleras, del norte, central y del sur. Las tierras altas del interior comprenden una superficie del 82% del total nacional. Las montañas y los cerros se encuentran disectadas en el

occidente del país (Pineda Portillo, 1997: 51).

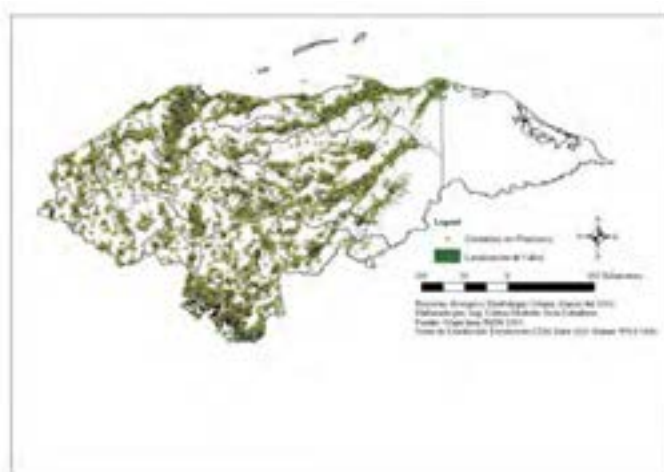
La mayor parte de los asentamientos humanos están emplazados sobre laderas o cadenas de laderas (Mapa 1) que según el dato del PATH en el 2001, significaba un total de 21,330 asentamientos sobre laderas.

Mapa 1: Asentamientos humanos en laderas



Las planicies de Honduras, compuestas por 52 estructuras entre altiplanos, planicies costeras, humedales, valles, llanos y mesetas entre cadenas montañosas donde se alojan unas 5,293 ciudades (Mapa 2). Según clasificación geomorfológica el país cuenta con las planicies costeras del norte y del Pacífico: las del norte, comprenden las tierras bajas de la costa norte abarcan una superficie de 16% del territorio nacional y se caracterizan por tener tierras planas, clima tropical caliente y lluvioso. Las precipitaciones llegan hasta los 2000 mm., y en algunas áreas las temperaturas son también elevadas, mayores a los 24 grados centígrados. Las tierras bajas del pacifico comprende un área de 2% del total del país, con una extensión del litoral costero de 133 km lineales. Con suelos aluviales y de planicie costera susceptibles de regadío. Clima propio de sabana, tropical lluvioso seco. Constituye una pequeña unidad fisiográfica que bordea el golfo de Fonseca. (Pineda Portillo, Noé, 1997: 49 y 72).

Mapa 2: Asentamientos humanos en planicies



## 2. CIUDADES EN LADERAS

El concepto de ladera urbana se ha definido como “la forma de ocupación del suelo sobre un accidente geográfico o una cadena de accidentes geográficos con declives, con un uso intensivo en vivienda equipamiento urbano e infraestructura económica y social, susceptible de presentar movimientos de subsidencia o colapso por la incidencia y combinación de factores internos y externos, que constituye un riesgo de desastre para sus ocupantes y sus bienes de vida” (Caballero Zeitún, 2011).

En el caso de las laderas urbanas los comportamientos de los fenómenos hidro meteorológicos desencadenan en derrumbes, deslizamientos y colapsos por saturación de agua, activación de fallas y cizallas, condicionadas estructuralmente para el caso de Honduras por la topografía, la zona climática y la geomorfología.

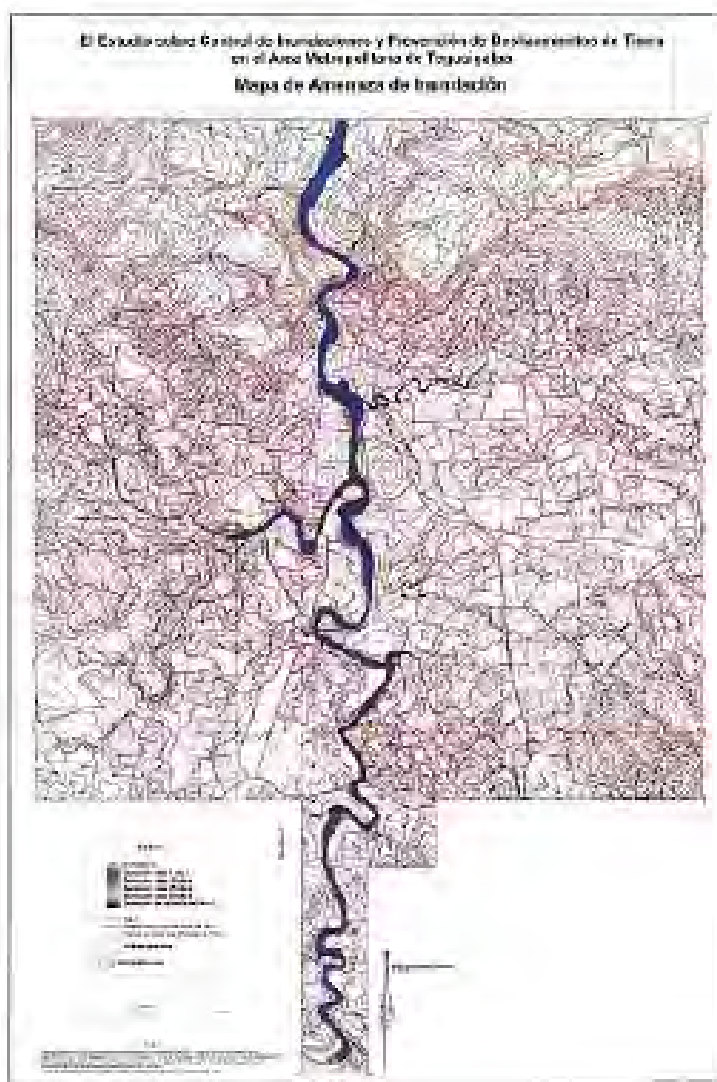
Este primer nivel de análisis (escala 1:2,600.000) nos determina la primera clasificación de la tipología de emplazamiento (laderas o planicies) de los pueblos y ciudades, a los que agregándole la ubicación en la latitud tropical (16 grados latitud norte) con vientos alisios NE, condiciona los riesgos de inundación y deslizamientos.

## 2.1 Ciudades en laderas, el caso del Distrito Central de Honduras

En el año 2002, la Cooperación Japonesa realizó, probablemente, uno de los estudios más completos que existen en el país sobre riesgos por inundación y deslizamientos para el Distrito Central de Honduras. “El estudio reveló que el 30% del área objeto para la prevención de desastres está ocupado por áreas bajo amenaza de inundación y deslizamiento y el 15% de la población total vive en estas áreas peligrosas. El objetivo del Plan Maestro es minimizar los daños y evitar cualquier pérdida de vida humana” (JICA, 2002).

El área de estudio para la prevención de desastres del área urbana de Tegucigalpa es de 105 km<sup>2</sup> en una elevación entre 900 m y 1,400 msnm. Por las formaciones geológicas (rocas sedimentarias de la edad Cretácea como base, rocas volcánicas de la edad Terciaria que cubren las rocas Cretáceas y rocas volcánicas y rocas sedimentarias del Cuaternario que cubren las rocas Terciarias) y la precipitación anual (varía entre 800 mm y 1,500 mm y el promedio del área es de 1,000 mm/año, siendo mayor en la cuenca del río Guacerique, el río Grande y en la montaña La Tigra (1,200 mm hasta 1,400 mm) y en el área sudeste, las cuencas del río Sabacunte y el río Canoas es menor 850 mm. Los ríos de la ciudad sirven como desagües al aire libre para la descarga de aguas servidas sin tratar, proveniente de todo tipo de usos de origen doméstico, institucional, comercial e industrial. El continuo desagüe de aguas servidas sin tratar provocó la contaminación del lecho de los ríos donde la superficie del lecho está cubierta virtualmente por fango de las aguas servidas más que por el suelo natural, especialmente en los tramos del río con baja velocidad de flujo. Para el análisis de riesgo de deslizamiento de tierra, se observó los patrones de deslizamientos de tierra y derrumbamiento de talud que se observaron durante el huracán Mitch (se examinaron con precisión las fotografías aéreas con la escala de 1/10,000 y orto fotos para interpretar las características topográficas de los deslizamientos de tierra), los que se identificaron según las características topográficas típicas de deslizamientos de tierra y se definieron como bloques susceptibles de deslizamientos de tierra. Esos deslizamientos en el área objeto se clasificaron de acuerdo con los patrones geológicos que los provocaron (JICA, 2002).

## Mapa 3: Amenaza de inundación ciudad de Tegucigalpa



Fuente: JICA, 2002

El estudio comprende diversos tópicos para el análisis físico y socioeconómico de los territorios y poblaciones bajo condiciones de riesgo en la ciudad capital. Los temas de análisis son la geología, topografía, hidrología, precipitación, medio ambiente natural, usos del suelo, características económicas y sociales de la población análisis en una escala de 1:40.000 (Mapa 3) para el diagnóstico y propuesta.

Otro esfuerzo importante en los procesos de planificación urbana con enfoque de riesgo consiste en un esfuerzo conjunto entre la municipalidad del Distrito Central, COPECO, CARE y la Unión Europea, con el proyecto “Manejo de riesgos en Tegucigalpa”. Que tomando en cuenta la percepción de riesgo de los habitantes se elaboró 51 mapas de riesgos por barrios y colonias con escalas entre 1:2.000 a 1:3.500 (Mapa 4) y 8 mapas sectoriales en escalas de 1:10.000 a 1:20.000 (Mapa 5).

Mapa 4: Amenazas Bo. Abajo, Tegucigalpa



Mapa 5: Mapa sectorial de amenazas



Fuente: Municipalidad del Distrito Central, COPECO, CARE y la Unión Europea, 2008

Finalmente, el mapa multi amenazas (inundaciones y movimiento de laderas) del municipio del Distrito Central, República de Honduras, en una escala de 1:30000, está articulado a una ordenanza de certificación de profesionales de la construcción en gestión de seguridad y riesgos, según Acta No. 004 del Consejo Municipal del Distrito Central, del 10 de Marzo del 2011. El instrumento pasa a formar parte de los requisitos para otorgar permisos de construcción.

El caso de la ciudad de Tegucigalpa ilustra sobre las variables a estudiar (topografía, precipitación, geología, usos de suelo, cursos y estado de cuerpos de agua, población expuesta y formas de ocupación del suelo) y las escalas de análisis para los diferentes niveles de intervención (ciudad, región o zona y barrios o localidad) para la gestión de riesgos en la ciudad.

### 3. CIUDADES EN PLANICIE

La planicie es un terreno llano, porciones del territorio con ninguna o pocas variaciones de altura respecto del nivel medio del mar, que pueden ser de grandes extensiones o pequeñas mesetas.

Para el tema que nos ocupa, las ciudades en planicie de manera general las definimos como aquellos asentamientos humanos que su emplazamiento es sobre un terreno principalmente plano con una cobertura intensiva de edificaciones, su forma de ocupación para usos urbanos puede ser planificada o espontánea.

La sociedad ha privilegiado las planicies como las mejores áreas del territorio para el desarrollo de las actividades humanas, pero también son muchos los registros de inundaciones de ciudades por desbordamientos violentos o crecidas no violentas del nivel de las aguas de afluentes próximos a los asentamientos.

Las principales intervenciones se relacionan a tecnologías de control de inundaciones, sin embargo, en los procesos de expansión urbana que generalmente terminan por ser espontáneos no siempre se toman en cuenta sistemas constructivos seguros, a pesar de que existe una variedad de tecnologías, por ejemplo, la construcción sobre pilones, tecnologías para asegurar la permeabilización del suelo, el uso de inclinaciones que permitan la evacuación de aguas, etc.

A pesar de que el riesgo de inundación es generalizado para todo el país, no se identificó literatura que analice este riesgo en ciudades en planicie, el ámbito de análisis es municipal. A manera de ejemplo se analizan dos casos, en una meseta la ciudad de Valle de Ángeles y en planicie costera y humedal, la ciudad

de Tela. La información cartográfica se ha capturado con tres programas, Google Earth, para ubicar las coordenadas de localización de las ciudades en estudio, el programa Quantungis, para levantar los rasgos principales de la morfología (traza urbana, cursos de agua, ocupación del suelo) y Arc Map para la edición de mapas.

### 3. 1 Meseta caso de la ciudad de Valle de Ángeles

El municipio está en una zona de transición entre bosque latifoliado y bosque de pino, parte del territorio está dentro de la zona protegida Parque Nacional "La Tigra", reserva de biodiversidad y zona productora de agua, asentado sobre un terreno escarpado, con una altitud promedio de 1400 msnm, temperaturas promedio de 16 y 20 grados centígrados con dos estaciones al año la seca y lluviosa, esta última con una duración promedio de ocho meses de lluvia y una precipitación promedio anual entre 1500 a 2500 mm.

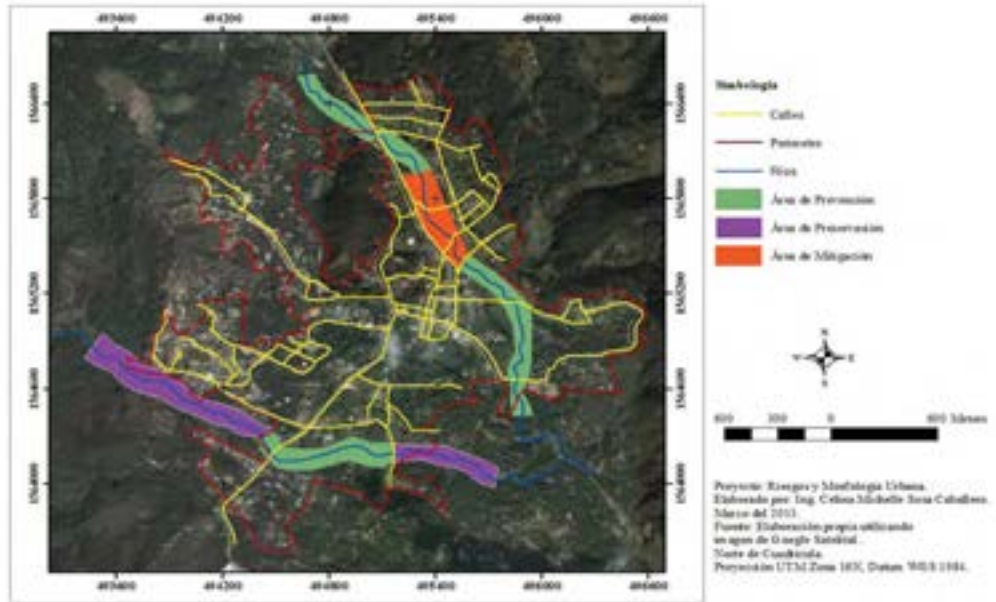
"Este municipio presenta una zona montañosa, un área de pie de monte y un valle estrecho que es afectado en materia de inundación por el río Soledad y sus afluentes, las quebradas Agua Dulce, Carrizal, Jutes, San Francisco y Agua Amarilla. Estos afluentes se adentran al casco urbano Valle de Ángeles, el cual está expuesto a severas inundaciones asociadas con fenómenos geológicos de arrastre de piedras y sedimentos por represamiento y rompimiento de derrumbes en los ríos. Los problemas en el casco urbano de Valle de Ángeles están relacionados con la destrucción de casas, la inestabilidad de los ríos con la posibilidad de cambio del cauce, la destrucción de puentes y alcantarillas, como en el Edén y la incomunicación con Tegucigalpa y comunidades locales" (CATIE, 2002).

Para el análisis de riesgo por inundación en la ciudad de Valle de Ángeles (Mapa 5) se ha levantado el trazo de la ciudad, en una escala de 1:21.000, identificado el área comprendida entre dos quebradas que drenan al río La Soledad, al suroeste la quebrada Agua Dulce y noreste quebrada Agua Amarilla.

Se clasifican tres tipos de zona para la gestión del riesgo (Mapa 6): mitigación, área de mayor densificación de construcción y debe ser intervenida con obras para corregir las formas de ocupación del suelo; prevención, menor densificación constructiva, se pueden tomar medidas para futuras construcciones y área de preservación, donde aún no se ha construido y debe ser sujeto de una normativa estricta para orientar futuras intervenciones.






Mapa 6: Riesgo por inundación, ciudad de Valle de Ángeles



Para los diferentes tratamientos el plano de la ciudad se segmenta por micro sistemas (Figura 1) determinados por el curso de las quebradas según los grados de densificación y patrones de ocupación del suelo.

Figura 1: Zonificación de riesgos de Valle de Ángeles

Área de mitigación	Área de prevención	Área de preservación
		

Fuente: Proyecto Morfología y Riesgo Urbano, marzo 2013.

### 3.2 Planicies costeras y humedales, el caso de la ciudad de Tela

La ciudad se ubicada al sureste de la bahía de Tela en el Mar de las Antillas, una franja costera de aproximadamente 35 km de playa donde se encuentran las playas de San Juan, El Triunfo, La Ensenada, Tela, entre áreas de humedales y lagunas, al oeste el Parque Nacional Jeannette Kawas o Punta Sal (78.400 ha.); la Laguna Quemada o de los Micos y Laguna el Diamante; al este el Parque Nacional Punta Izopo (18,500 ha.) y la Laguna Negra y al norte el Jardín Botánico Lancetilla (1.681 ha. de bosque) y el refugio de vida silvestre Texíguat (16.000 ha. de bosque). La ciudad está regada por los ríos Hiland, La Lancetilla, Tela y La Esperanza. Los meses más lluviosos son de octubre a diciembre, con un promedio anual total de lluvia 2,900 mm.

Inicialmente la ciudad se desarrolla por la actividad portuaria de las compañías bananeras y posteriormente se convierte en destino turístico (playa y ecoturismo), actuamente se estima una población de 24 mil habitantes.

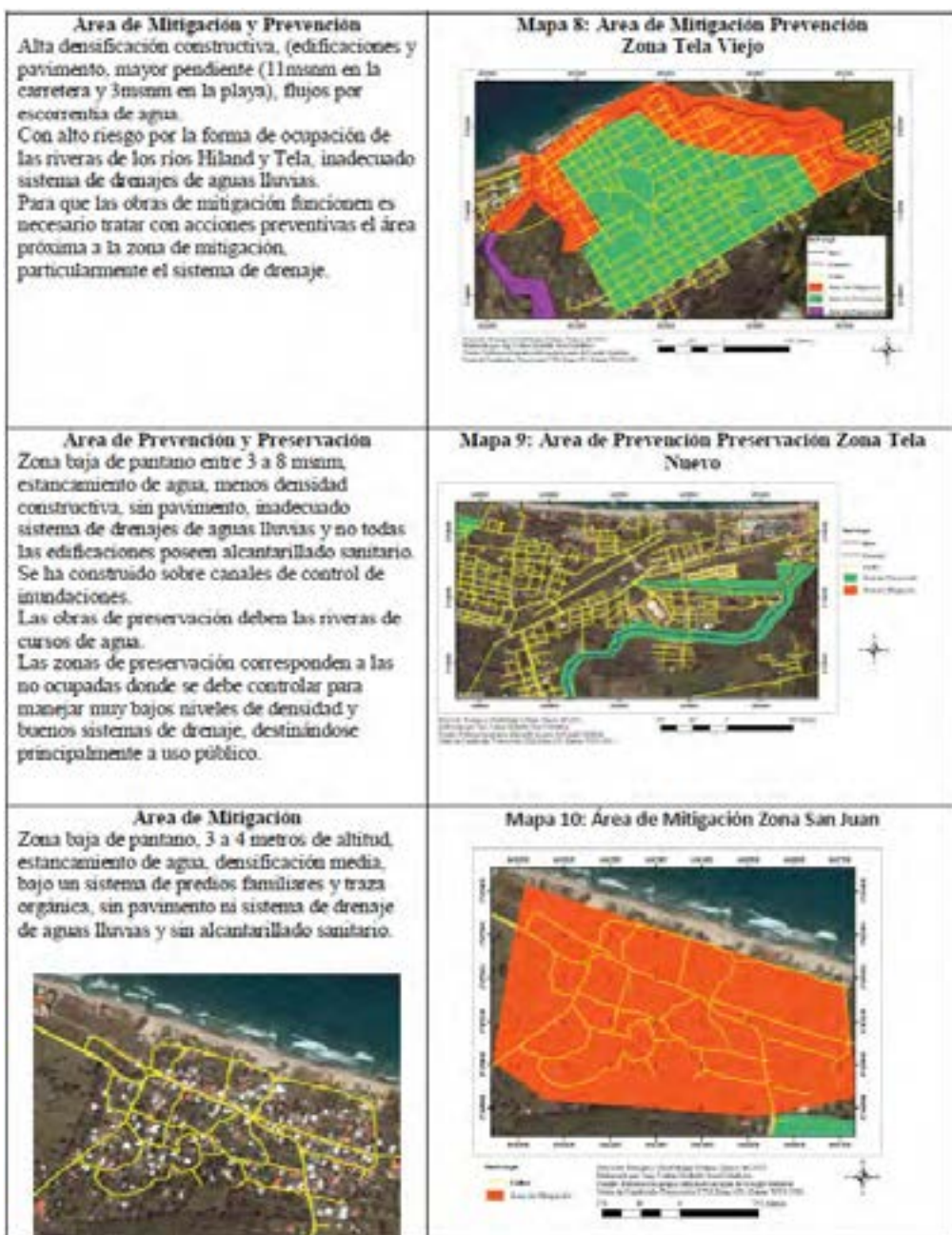
Para la clasificación de riesgos (Mapa 7) se usa el mismo criterio de la ciudad de Valle de Ángeles. El mapa de Tela está en una escala de 1:37.000

Mapa 7: Riesgo de inundación, ciudad de Tela



Para los diferentes tratamientos el plano de la ciudad (Figura 2) se segmenta por micro sistemas determinados por el curso de los ríos, altitud y tipo de suelo, grados de densificación, patrones de ocupación y disposición de sistemas de alcantarillado.

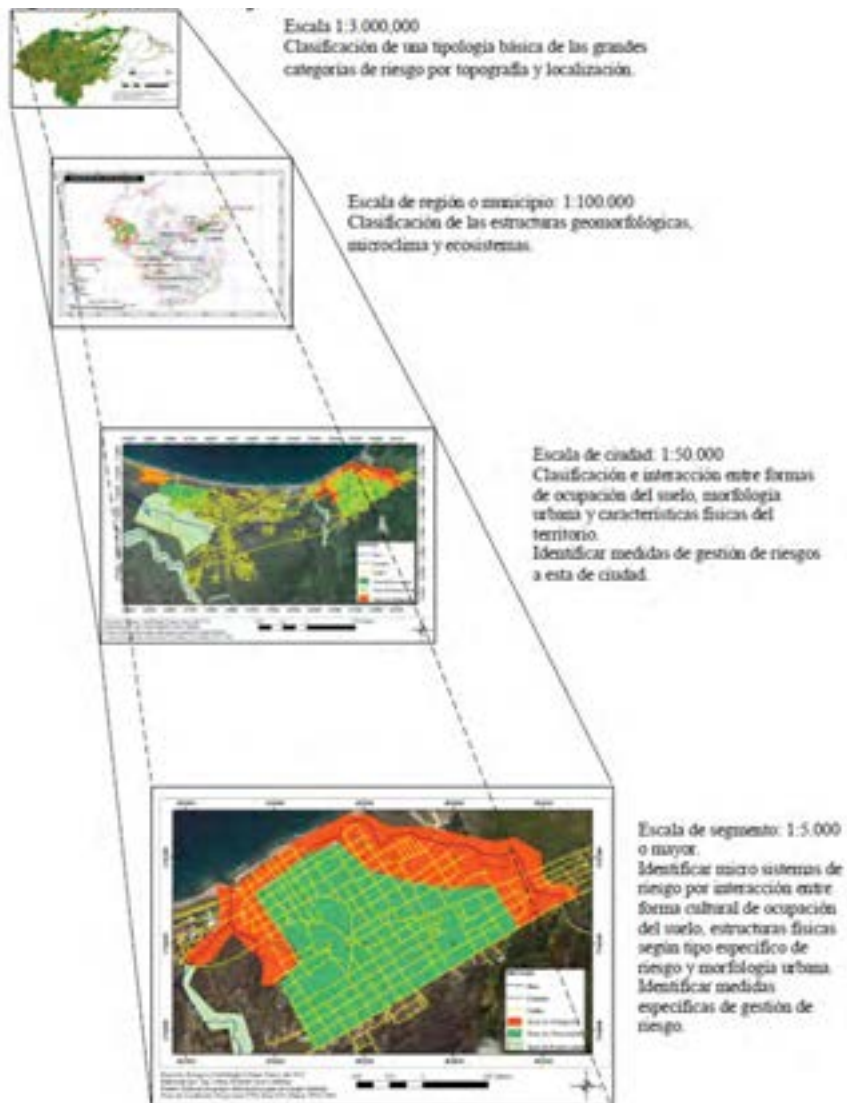
Figura 2: Zonificación del riesgo



## 4. RIESGOS URBANOS Y EL TIPO DE EMPLAZAMIENTO DE LA CIUDAD

Aunque el tamaño de la ciudad es un factor importante en los procesos de gestión urbana, la complejidad del problema de los riesgos está más asociada a los microsistemas identificables dentro de la mancha urbana, donde se tienen niveles de análisis y categorías de clasificación de riesgos.

Los niveles de análisis de las diferentes variables corresponden a las siguientes escalas (Figura 3).



Fuente: Proyecto Morfología y Riesgo Urbano, marzo 2013

Al incorporar la gestión del riesgo a la planificación urbana, el propósito fundamental y el enfoque esencial es la actuación antes de que sucedan los daños, por lo que las categorías de clasificación del riesgo adquieren connotaciones e interacciones diferentes según sea el emplazamiento, para lo que, primero, es necesario diagnosticar el ecosistema de la ciudad donde la variable central es la forma de ocupación del suelo, segundo identificar segmentos de la ciudad por microsistemas que se pueden diferenciar en la mancha urbana, para diseñar las medidas específicas de intervención como parte del proceso de la gestión del riesgo. En los dos ejemplos usados podemos diferenciar:

**a. Ladera urbana:** El sistema de laderas de Tegucigalpa presenta dos categorías de riesgo relacionados a fenómenos hidrometeorológicos:

Zona escarpada constituida por una cadena de laderas de alta densificación constructiva y densidad poblacional; con problemas de escorrentías por obstrucción de drenajes por asolvamiento y depósito de basura o la no existencias de estos; por tipo de suelo propenso a deslizamientos, recurrentemente activados por agua. Ocupación de riveras de cursos de ríos y quebradas propensas a inundación.

**b. Planicie urbana:** El sistema de meseta Valle de Ángeles en área de montaña. Los microsistemas identificables son determinados por los cursos de agua y el grado de densificación constructiva de las riveras de las quebradas.

**c. Planicie urbana:** El sistema de Tela, en área de playa y humedal, con microsistemas diferenciados por grados de densificación constructiva, tipos de traza urbana, donde la altitud y el tipo de suelo inciden de dos formas, por escorrentía o por estancamiento de agua. Donde las áreas de obras de mitigación no pueden estar disociadas de las áreas de prevención o preservación.

Los ejemplos ilustrados, ayudan a avanzar en el concepto de riesgo urbano ya que los niveles de desagregación requeridos serán según sean las características de la morfología urbana; el tipo de emplazamiento de las ciudades; las formas culturales de ocupación del suelo y los diferentes escenarios de densificación constructiva y poblacional que se puedan dar. Elementos indispensables para salvar vidas y medios de vida en los asentamientos humanos ya no como intervención bajo emergencia y ayuda humanitaria sino como parte de la matriz de planificación urbana.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) (2002). *“El estudio sobre el control de inundaciones y prevención de deslizamientos de tierra en el área metropolitana de Tegucigalpa de la Republica de Honduras”*. Tegucigalpa, Honduras. (Versión digital).
- CINSA (2006). *“Caracterización y planificación territorial para la gestión local de riesgos región CT-08, plan municipal de gestión de riesgos municipio de Tela departamento de Atlántida”* Secretaría de Gobernación y Justicia. Tegucigalpa, Honduras. (Versión digital).
- CATIE (2002) *“Plan de prevención y mitigación del municipio de Valle de Ángeles”* (Informe impreso).
- Caballero Zeitún, Elsa Lily (2011). *“El concepto de laderas urbanas”*. Taller Regional para Centroamérica, México y el Caribe “Cerrando la Brecha de Saneamiento”. 18 a 23 septiembre 2011, Costa Rica. Acuerdo de Cooperación entre el Centro Nacional de Competencia en Investigación Norte-Sur (NCCR), La Oficina de Coordinación Regional de México, Centroamérica y el Caribe (JACS CCA RCO) y el PLATS-UNAH. Programa RP9.
- Diálogo Interamericano de Reducción de Desastres (1998). *“Integrando la reducción de desastres en la esencia del desarrollo”* (Diálogo II). Disponible en: <http://www.oas.org>.
- EIRD/ONU (2011). *Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres (CAR 2011) Revelar el riesgo, replantear el desarrollo*. Oxford, Reino Unido: Information Press.
- Fundación VIDA/UE-PRRAC D (2004). *“Apoyo a la gestión municipal ambiental en 25 municipios de Honduras”*. Convenio acr/b7-3130/1b/99/0302 Diagnóstico ambiental municipal participativo y plan de acción. Disponible en: <http://www.fundacionvida.org/uploaded/content/category/1643124930.pdf>
- Lungo, Mario et al (1996). *De terremotos, derrumbes e inundaciones*. San Sal-

vador, El Salvador: La RED, FUNDE.

- Lavell y Mansilla (2003). “*Vocabulario controlado del CRID*”. Disponible en: [http://www.crid.or.cr/crid/CD\\_VCD/DocsIndex.htm](http://www.crid.or.cr/crid/CD_VCD/DocsIndex.htm)
- Pineda Portillo, Noé (1997). *Geografía de Honduras*. Tegucigalpa.
- Secretaría de Gobernación y Justicia (2003). *Plan estratégico de desarrollo municipal*. Municipio de Tela, departamento de Atlántida. Tegucigalpa, Honduras. (Versión digital).

# *Elaboración de escenarios de prospectiva para asentamientos humanos urbanos y rurales, aplicado al municipio de Tela, Honduras*

Claudia Nataly Mondragón Rivera y  
Francisco Maza Vázquez

## **Resumen**

Las características peculiares de las políticas de suelo de Centroamérica, la tenencia de la tierra que conforman sus territorios, los condicionantes de desarrollo urbano, su demografía, sus actividades económicas, infraestructurales y demás actores que intervienen en la ordenación del territorio exige de una metodología que proporcione un instrumento de ayuda en la toma de decisiones.

En este sentido, se presenta una metodología, aplicada al municipio de Tela, situado al norte de Honduras, que facilita la elaboración de escenarios de prospectiva para asentamientos humanos, en suelos urbano y rural, con el fin de poder planificar su crecimiento con garantías de bienestar. Ello nos ayudará a comprender cómo las acciones que hoy tomamos pueden influir en el futuro de los territorios.

**Palabras clave:** Desarrollo. Territorio. Ordenación. Asentamientos humanos.

## **Abstract**

The peculiar characteristics of the Central American land policy, land tenure that makes their territories, the constraints of urban development, demographics, economic activities, infrastructure and other factors involved in regional planning require a methodology that provides an aid in decision making.

Here, we present a methodology, applied to the town of Tela, just north of Honduras, which facilitates the development of prospective scenarios for human settlements, urban and rural land, in order to plan their growth with guarantees of welfare. This will help us understand how the actions we take today can influence the future of the territories.

**Keywords:** Development. Territory. Management. Human settlements.



**Claudia Nataly Mondragón Rivera** (naty\_06hn@hotmail.com), Universidad Nacional Autónoma de Honduras. **Francisco Maza Vázquez** (francisco.maza@uah.es), Universidad de Alcalá. (España).

## INTRODUCCIÓN

Según la Real Academia Española, se entiende por prospectiva, (del lat. *prospicere*, mirar). <sup>1</sup>. adj. Que se refiere al futuro. <sup>2</sup>. f. Conjunto de análisis y estudios realizados con el fin de explorar o de predecir el futuro, en una determinada materia.

En los planes de ordenamiento territorial, la prospectiva es una fase metodológica intermedia entre el diagnóstico y la propuesta, y sirve para orientar la anterior considerando diferentes escenarios<sup>1</sup> futuros. Se trata de proyectar, a partir del diagnóstico, las variables más representativas y diseñar escenarios futuros; a saber, el tendencial, el óptimo y el intermedio o de consenso, entre otros.

La experiencia en el diseño de planes de ordenación del territorio (u ordenamiento territorial, término más usado en Latinoamérica<sup>2</sup>) y la lectura de informes, libros y otros relacionados con la materia, nos ha demostrado que la prospectiva se considera la fase más compleja y peor desarrollada.

Se pretende en este trabajo realizar un análisis de los precedentes de la prospectiva en planes de ordenamiento territorial. Para ello utilizaremos el siguiente **MARCO CONCEPTUAL**:

- La prospectiva como fase intermedia de la planificación territorial.
- La prospectiva según Gaston Berger.
- El modelo de Michel Godet. La escuela francesa.
- La escuela anglosajona.
- El modelo del Dr. Colino desarrollado para el valle de San Andrés (El Salvador); determinación de la capacidad de acogida poblacional de un territorio basada en los recursos naturales en un escenario de desarrollo sostenible.
- El modelo de prospectiva del Dr. Gómez Orea y su aplicación a algunos casos prácticos.
- Análisis de caso en Honduras:

---

<sup>1</sup> Imágenes o visiones.

<sup>2</sup> El trabajo de investigación se ha realizado en varios países de Centroamérica, en especial El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

## - La prospectiva aplicada al análisis territorial del municipio de Tela, Honduras.

- La participación como herramienta básica para abordar la fase de prospectiva.

El municipio de Tela se encuentra en el departamento de Atlántida. Sus límites territoriales son: Al norte, con el mar Caribe; al sur, con el municipio de Yoro (departamento de Yoro); al este, con el municipio de Arizona (departamento de Atlántida); y al oeste, con el municipio de Puerto Cortés (departamento de Cortés). Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 15° 47' latitud norte, 87° 28' longitud oeste.

Para el censo de 1974, las aldeas del municipio de Tela eran 30. Para el censo de 1988 y del 2001 se registran 76 aldeas. Los caseríos del municipio son 272 según datos del censo del 2001 y los cascos urbanos son 3 (Tela, Triunfo de la Cruz y Mezapa).

## HIPÓTESIS

Esta metodología se considera un instrumento de ayuda en la toma de decisiones a través del conocimiento de las tendencias urbanas reales en Centroamérica, mediante el estudio de variables como los condicionantes al desarrollo urbano, demografía, actividades económicas. Con su aplicación se debe permitir la representación de diferentes imágenes del futuro que ayudarán a comprender cómo las acciones que hoy tomamos pueden influir en el futuro de los territorios.

La metodología constituye una contribución valiosa a las políticas de suelo urbano de Centroamérica, ya que sus lineamientos se acoplarán a la realidad existente en la región, una realidad difícil pero mejorable a través de políticas territoriales flexibles y coherentes con las características del territorio.

## OBJETIVO GENERAL

Se pretende elaborar escenarios de prospectiva, mediante una metodología aplicable a la realidad hondureña y centroamericana, teniendo en cuenta diferentes análisis y puntos de partida, entre ellos las autómatas celulares y una evaluación multicriterio basado en el análisis de la capacidad de acogida del territorio.

## Objetivos específicos

Se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Implementar un modelo metodológico para diseñar los escenarios o sistemas territoriales futuros, aplicable a los asentamientos humanos urbanos y rurales en Honduras.
- Desarrollar la forma de representar los escenarios en mapas, de manera fácilmente comprensible por los actores o agentes socioeconómicos y por la ciudadanía, que son los “clientes” finales del plan.

## Contribución y metodología

La principal contribución de esta investigación es el desarrollo de una metodología útil, transparente y flexible para la fase de prospectiva en planes de ordenamiento territorial de Centroamérica, capaz de integrar las variables estratégicas de los subsistemas territoriales, así como proyectar las mismas mediante algoritmos matemáticos e interpretarlos a través del consenso entre expertos y actores territoriales. La metodología se ha aplicado a varios planes de la región centroamericana por lo que está suficientemente contrastada y su ejecución es relativamente sencilla, con la existencia de algunos datos, una mínima experiencia y conocimiento territorial.

## LA JERARQUIZACIÓN: EL SISTEMA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

### URBANOS Y RURALES

Se seleccionan los asentamientos humanos con población mayor a 500 habitantes y los mismos se jerarquizan siguiendo diferentes criterios:

**Criterio demográfico:** A este criterio se le ha dado el mayor peso dentro del análisis. El criterio utilizado principalmente ha sido el correspondiente a los datos de población 2001, para los asentamientos ubicados en el municipio. Definiendo oficialmente cinco categorías, para este análisis se ha propuesto una valoración de 0 a 70.

Puntuación:

- 70: población mayor a 10.000 habitantes
- 56: población con un rango de 5.000 y 10.000 habitantes
- 42: población con un rango de 1.000 y 5.000 habitantes
- 28: población con un rango de 500 y 1.000 habitantes
- 14: población menor a 500 habitantes.

**Imagen urbana:** La imagen urbana como criterio para la categorización de los asentamientos humanos, se basó en la correcta imagen urbana así como la coherencia en la trama urbana, destacando aspectos como accesibilidad, espacio público, áreas verdes. Para este análisis se ha propuesto una valoración de 0 a 10.

Puntuación

- 10: Asentamiento con una satisfactoria imagen y coherencia urbana.
- 5: Asentamiento con una media imagen urbana y coherencia en la trama de la misma.
- 0: Asentamiento con deficiencia en la imagen urbana, así con poca coherencia en la imagen de la misma.

**Accesibilidad:** Relación de los asentamientos con las vías de comunicación según la categoría de vías principales, vías secundarias, vías terciarias,

Puntuación

- 10: con acceso a vías principales
- 5: Con acceso a vías secundarias
- 0: acceso a vías vecinales y de herradura
- 

**Equipamientos y servicios:** Las actividades comerciales y servicios en un núcleo poblacional es un factor importante en la categorización de los asentamientos humanos, ya que estos se rencuentran directamente relacionado con la economía local y regional.

Puntuación

- 10: Asentamiento con una satisfactoria actividad comercial y con un área de influencia para brindar servicios a los habitantes de comunidades vecinas.
- 5: Asentamiento con una mediana actividad comercial y con la suficiente capacidad de servicios para satisfacer a sus habitantes.
- 0: Asentamiento con una poca actividad comercial, y poca capacidad de servicios.

## CLASIFICACIÓN POTENCIAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

### SEGÚN LOS LIMITANTES AL DESARROLLO URBANO

Los asentamientos humanos sostenibles dependen de la creación de un

entorno mejor para la salud y el bienestar de las personas que allí habitan, que mejore sus condiciones de vida y reduzca las disparidades en su calidad de vida. Entre los factores a tener en cuenta para crear asentamientos adecuados destacamos las amenazas y los riesgos naturales (que afectan directamente a la población), aparte de proteger las áreas con un alto mérito de conservación ya establecido anteriormente. Los asentamientos humanos, serán clasificados según sus áreas inundables, áreas con pendientes elevadas, áreas protegidas, y méritos de conservación. La misma puntuación establecerá cuales son los asentamientos humanos a incentivar, a consolidar y a desincentivar, en función de los limitantes al desarrollo urbano.

## VARIABLES DEMOGRÁFICAS

La prospectiva demográfica para el municipio es el conjunto de resultados relativos a la evolución de la población futura, provenientes de cálculos estadísticos, que se apoyan en el comportamiento pasado y reciente de las variables determinantes de su dinámica, la natalidad, la mortalidad y las migraciones y los supuestos adoptados de evolución de estas variables, hasta el final del período de proyección. La proyección demográfica nos ayuda a calcular la dotación futura de servicios básicos (educación, salud, agua, etc.)

Para la presente investigación se ha utilizado las siguientes fuentes de datos:

- Censos nacionales de población 1988, 2001.
- Estimaciones oficiales de población para el municipio de Tela.

La prospectiva demográfica, que sirve para determinar los escenarios poblacionales, permite establecer el marco de referencia de una de las variables básicas de todo proceso de planificación espacial. Para la realización de esta prospectiva se establecen dos fases secuenciales:

- En la primera, y a través de las correspondientes proyecciones de población, se obtienen los valores poblacionales para el municipio, a partir de las proyecciones oficiales. Lo que se obtiene es el dato para el conjunto de ámbito territorial.
- Una segunda fase, es la del establecimiento de los escenarios demográfico-territoriales. Para la determinación de los mismos se parte no solo de la variable poblacional, sino que se estiman a partir de los objetivos planteados en los diferentes apartados del plan y de los determinantes que las actuaciones finales en materias productivas, in-

fraestructurales y urbanísticas implican a nivel de desarrollo territorial en el municipio.

Según lo anterior se establecen los siguientes:

- **Proyección de la población del municipio:** Se calcula a partir de las proyecciones oficiales de población, lo que se denomina población tendencial, y a partir de la misma se establecen dos escenarios: “el conservador”, que parte de la dinámica actual de población, y “el desarrollista”. Considerando que existirán una serie de acciones territoriales que impactarán atrayendo población al territorio; cabe señalar que la cantidad de población, en los tres escenarios es la misma, lo que varía es la distribución de la población dentro del municipio.
- **Escenarios demográficos, población urbana y rural; a partir del escenario tendencial.** Ante la incertidumbre que plantea el futuro y considerando las variables anteriores, debemos considerar la hipótesis del **escenario más desfavorable y planificar el territorio y los recursos naturales:** suelo, agua, servicios básicos, etc. En función de lo anterior, distribuimos la población urbana y rural considerando tres casos:
  - a) **Escenario tendencial:** se mantiene la distribución actual y el porcentaje de urbano vs. rural en el municipio, no varía considerablemente según al actual.
  - b) **Escenario óptimo:** el proceso de urbanización funciona de forma acelerada en las zonas y asentamientos que cuentan con las condiciones territoriales idóneas.
  - c) **Escenario intermedio:** MTF utilizando el 40% del modelo tendencial y el 60% del modelo óptimo, dejando así un análisis equilibrado.

Cabe señalar que sobre la proyección demográfica (tendencial) de población en términos absolutos es difícil incidir, ya que ello depende de muchos factores internos y externos (voluntad política, impacto de las acciones, acciones impredecibles como migraciones, riesgos naturales, inversiones no previstas, etc.) pero sí es posible dirigir la distribución de la población urbana y rural, a través de dotación de suelos y una gestión eficaz del territorio.

Las definiciones y categorías expuestas nos sitúan en el estado del arte conceptual, cuya aplicación desarrollamos a continuación en el área de estudio: municipio de Tela.

## **DIAGNÓSTICO: SISTEMA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS MUNICIPIO DE TELA**

Los principales asentamientos del municipio de Tela fueron evaluados para determinar el grado de relevancia municipal de cada uno de ellos y los niveles de interdependencia que pudiera haber entre los mismos. Se analizaron sus aspectos poblacionales, imagen urbana, nivel de servicios y equipamientos de los principales núcleos poblacionales de Tela: Tela, Mezapa, Buenos Aires 1, El Guano, Triunfo de la Cruz, La Fortuna, Paujiles, San Alejo, San Juan, Toloa Adentro, Tornabé. Este sistema de ciudades permite observar pequeños poblados rurales. En este apartado se analizará el sistema de ciudades del municipio y las interrelaciones que se generan entre los poblados. Cabe destacar que en la selección de los principales poblados también participaron los técnicos municipales, pues son ellos que conocen las características de cada poblado para que sean considerados relevantes dentro del municipio.

Se localizaron 31 asentamientos humanos; los cuales al año 2001 contaban, según el Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras 2001, con los siguientes datos de población.



Tabla 1: Datos de población principales asentamientos humanos municipio de Tela

Asentamientos humanos municipio de Tela	
Asentamiento humano	Población
Tela	27.990
Agua Chiquita	524
Buena Vista	696
Buenos Aires I	1.129
Los Laureles	907
El Barro o Buena Vista	739
El Cedro	503
El Guano	1.107
El Junco	569
El Jute	823
Triunfo de la Cruz	2.032
Kilómetro 13	809
Lancetilla	856
La Esperanza	621
La Fortuna	1.086
La Ica	846
La Yusa	772
Las Metalías	730
Las Quebradas	808
Mezapa	5.919
Morazán	516
Nombre de Dios	587
Paujiles	1.209
Planes	689
Rio Tinto	597
San Alejo	2.107
San Juan	2.114
Santiago	878
Toloa Adentro	1.494
Tornabé	1.529
Zollabe	683

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del Censo de Población y Vivienda, INE, 2001.

## EL SISTEMA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS URBANOS Y RURALES

Estos 31 asentamientos humanos fueron evaluados y como resultado de esta evaluación se ha otorgado a cada uno diferentes niveles de relevancia municipal. Se genera la siguiente tabla:

Tabla 2: Sistema de asentamientos humanos municipio de Tela

Asentamiento humano	Población 70%	Imagen urbana 10%	Accesibilidad 10%	Equipamientos y servicios 10%	Total	Nivel/Categoría
Tela	70	7.5	10	10	97.5	1
Mezapa	56	5	5	5	71	2
Triunfo de la Cruz	42	5	10	5	62	3
Tornabé	42	5	10	5	62	3
El Guano	42	0	10	5	57	3
Paujiles	42	0	10	5	57	3
San Juan	42	0	10	5	57	3
Buenos Aires 1	42	0	5	5	52	3
San Alejo	42	0	10	0	52	3
Toloa Adentro	42	0	0	5	47	3
El Jute	28	0	10	5	43	4
Las Metalías	28	0	10	5	43	4
Santiago	28	0	10	5	43	4
Zoilabe	28	0	10	5	43	4
La Fortuna	42	0	0	0	42	4
El Junco	28	0	10	0	38	4
Kilómetro 13	28	0	5	5	38	4
Lancetilla	28	0	10	0	38	4
La Esperanza	28	0	5	5	38	4
Planes	28	0	5	5	38	4
Buena Vista	28	0	5	0	33	4
Los Laureles	28	0	0	5	33	4
El Cedro	28	0	5	0	33	4

Asentamiento humano	Población 70%	Imagen urbana 10%	Accesibilidad 10%	Equipamientos y servicios 10%	Total	Nivel/Categoría
La Ica	28	0	0	5	33	4
Morazán	28	0	0	5	33	4
Agua Chiquita	28	0	0	0	28	4
El Barro	28	0	0	0	28	4
La Yusa	28	0	0	0	28	4
Las Quebradas	28	0	0	0	28	4
Nombre de Dios	28	0	0	0	28	4
Rio Tinto	28	0	0	0	28	4

Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE, visitas de campo y encuestas a técnicos municipales.

### Catalogación según los niveles

**Nivel 1:** Inician su independencia socioeconómica, su área de influencia es inter-departamental, dependen de las ciudades de mayor jerarquía nacional, constituye polo de desarrollo departamental.

**Nivel 2:** Cuentan con servicios básicos mínimos, su jerarquía es local, al interior del municipio, dependen en el alto grado de otras ciudades con más jerarquía, generalmente existentes dentro de su municipio. Es el primer nivel para que un asentamiento humano rural, empiece a presentar características para ser considerado como centro urbano.

**Nivel 3:** Cuentan con algún servicio básico y de forma parcial, sus actividades económicas y comerciales son básicamente agrícolas. Representan, según censo del 2001, el 13 % de los asentamientos humanos del país. Algunos técnicos los denominan pre-urbanos. Su rango inicia con los 501 habitantes. Son asentamientos que presentan una definida estructura física y cuentan una base organizativa comunitaria.

Nivel 4: Cuentan con gran importancia los servicios básicos, siguen siendo dependientes, pero tienen alguna jerarquía a nivel rural local. Gozan de una organización comunal sólida, sin embargo hay actividades que ofrecen empleo temporal. La migración es menor y cuentan con seguridad con escuela primaria completa y un centro de salud rural (CESAR).

## **CLASIFICACIÓN POTENCIAL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS EN FUNCIÓN DE LIMITANTES AL DESARROLLO URBANO**

En la matriz que se presenta a continuación se enumeran los asentamientos humanos jerarquizados en el sistema de ciudades del municipio y clasificados en función de sus limitantes al desarrollo urbano.

TABLA 3 clasificación potencial de los asentamientos humanos en función de limitantes al desarrollo urbano

Asentamiento Humano	Población	Jerarquía Urbana	Merito de Conservación	Área Inundable	Pendientes	Áreas Protegidas	Valor	Clasificación
El Guano	1.107	3	1	1	1	1	4	Incentivar
Buenos Aires 1	1.129	3	1	1	1	1	4	Incentivar
San Alejo	2.107	3	1	1	1	1	4	Incentivar
El Jute	823	4	1	1	1	1	4	Incentivar
Las Metales	730	4	1	1	1	1	4	Incentivar
Santiago	878	4	1	1	1	1	4	Incentivar
Zolabe	683	4	1	1	1	1	4	Incentivar
La Fortuna	1.066	4	1	1	1	1	4	Incentivar
El Junco	569	4	1	1	1	1	4	Incentivar
Kilómetro 13	809	4	1	1	1	1	4	Incentivar
La Ica	845	4	1	1	1	1	4	Incentivar
El Baro	739	4	1	1	1	1	4	Incentivar
La Yasa	772	4	1	1	1	1	4	Incentivar
Tela	27.99	1	1	2	1	1	5	Consolidar
Triunfo de la Cruz	2.032	3	3	2	1	1	7	Consolidar
Paufler	1.209	3	1	4	1	1	7	Consolidar
Planos	689	4	1	4	1	1	7	Consolidar
Agua Chiquita	524	4	1	1	4	1	7	Consolidar
Mezapa	5.919	2	1	5	1	1	8	Consolidar
Tolos Adentro	1.494	3	1	5	1	1	8	Consolidar
Los Laureles	907	4	1	5	1	1	8	Consolidar
Tomabé	1.529	3	4	2	1	3	10	Consolidar
San Juan	2.114	3	4	1	1	4	10	Consolidar
Morasin	916	4	4	1	5	1	11	Desincentivar
Las Quebradas	808	4	4	1	5	1	11	Desincentivar
Nombre de Dios	587	4	4	1	5	1	11	Desincentivar
Buena Vista	696	4	4	1	5	1	11	Desincentivar
El Cedro	503	4	4	1	5	1	11	Desincentivar
Lancetilla	856	4	5	1	1	5	12	Desincentivar
La Esperanza	621	4	4	1	5	4	14	Desincentivar
Río Tinto	597	4	5	5	1	5	16	Desincentivar

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en visitas de campo, y análisis de ortofotos 2012

Simbología

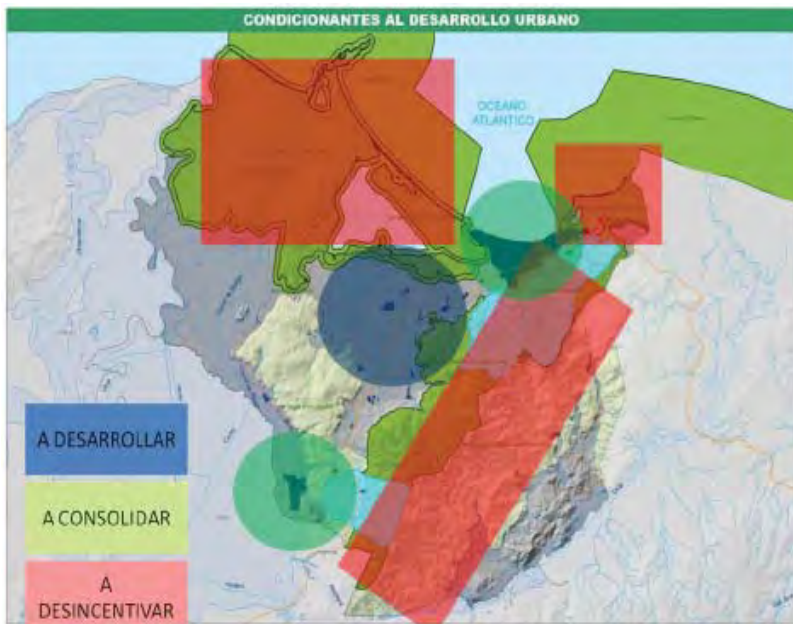
5: Muy Alta, 4: Alta, 3: Media, 2: Baja, 1: Muy Baja

En la matriz se puede observar, que los asentamientos humanos: Morazán, Las Quebradas, Nombre de Dios, Buena Vista, El Cedro, Lancetilla, La Esperanza, y Río Tinto, son asentamientos a desincentivar debido a que tienen una considerable área inundable, y por ende un muy alto riesgo a inundación y pendientes elevadas, lo que los hace asentamientos humanos poco sostenibles y no viables.

Los asentamientos de Tela, Triunfo de la Cruz, Paujiles, Planes, Agua Chiquita, Mezapa, Toloa Adentro, Los Laureles, Tornabé y San Juan, se ubican como asentamientos a consolidar, sin posibilidades a un crecimiento importante, debido a las diversas condicionantes que se ubican en sus proximidades.

Mientras que los asentamientos de El Guano, Buenos Aires 1, San Alejo, El Jute, Las Metalias, Santiago, Zoilabe, La Fortuna, El Junco, Kilómetro 13, La Ica, El Barro, La Yusa son los que precisan ser incentivados en el municipio de Tela (desde el punto de vista de condicionantes naturales al desarrollo urbano) debido a que cuentan con las condiciones territoriales para expandir su crecimiento futuro. Esta matriz constituye el punto de partida para la siguiente etapa de la investigación: la prospectiva.

Figura 1: Asentamientos humanos municipio de Tela, clasificados según sus condicionantes al desarrollo urbano



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en análisis de ortofotos, 2012.

## CONCLUSIONES

- La fase de prospectiva es la fase más compleja y peor desarrollada en los planes de ordenamiento territorial de la región centroamericana. Se considera que en la actualidad existe: omisión, diferencia de planteamientos, errores conceptuales, desintegración, y falta de representación en mapas, entre otros lo cual se trata de mejorar en la metodología planteada.
- La metodología diseñada plantea un método integral y científico para abordar la fase de prospectiva en los planes de ordenamiento territorial y en especial para casos centroamericanos. Esta metodología se puede entender como un **metamodelo**, es decir, un modelo general formado por submodelos específicos: población, ambiente, infraestructuras y económico. El metamodelo establece un orden de prelación entre los submodelos. No se recomienda la alteración de este orden pues el resultado será distinto y erróneo. Para la elaboración de **los submodelos se usan diferentes herramientas de proyección de variables**; algunas de estas han sido diseñadas por investigadores, otras se diseñan en esta tesis.
- Una de las claves del éxito de la prospectiva estriba en una buena definición de las hipótesis territoriales. Sin ello, los escenarios serán poco reales y no servirán para definir una imagen objetivo aplicable; se considera la consulta a grupos de expertos a través de metodologías como el método Delphi o El Ábaco de Regnier.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberti, M. y Bettini, V. (1998). "Sistemas urbanos e indicadores de sostenibilidad", en Elementos de ecología urbana. (V. Bettini). Madrid: Trotta.
- Allende J. (1995). "Desarrollo sostenible. De lo global a lo local" en Ciudad y territorio. Estudios Territoriales, N° 104, pp. 267-281.
- Aymonino, C. (1981). El significado de las ciudades. Madrid.
- Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (1990). "*Facility location analysis and planning: An EGIS approach*" *First European Conference on Geographic Information Systems*, pp. 87-94. Utrecht: EGIS Foundation.

- Brunet, R. (1980). "La composición de los modelos en el análisis espacial". *L'espace Geographique*, pp. 253-265.
- Camagni Roberto (1999) "El desarrollo urbano sostenible. Razones y fundamentos de un programa de investigación" en *Papeles de Economía Española* N° 80, pp. 266-290.
- Chueca Goitia, F. (1998). *Breve historia del urbanismo*. Madrid: Alianza Editorial.
- Comisión Europea (1998). "*Manual sobre evaluación ambiental de planes de desarrollo regional y programas de los fondos estructurales de UE*". Anexo IV: Indicadores. Dirección General XI, Medio Ambiente.
- Gabellini, P. (2001). "Planificación del territorio y del ambiente". *Técnicas urbanísticas*, Roma: Carocci.
- Godet Michael (2007). *Prospectiva estratégica: problemas y métodos*. Francia: Editorial Donostia.
- Gómez Orea (2007) *Ordenación territorial*. Madrid: Editorial Mundi.
- Haggett, P. (1988). *Geografía, una síntesis moderna*. Barcelona: Omega.
- Harris, C.D. (1975). *Modelos de desarrollo urbano*. Barcelona: OIKOS-TAU.
- Harris, C.D. (1998). "Diffusion of urban models: a case study", *Urban Geography* N° 19, p. 49.
- Inypsa, Diagnóstico territorial municipio de Tela Honduras. Tegucigalpa, Honduras 2011.
- Lynch, Kevin (1998). *La imagen de la ciudad*. México: Editorial Gustavo Gili
- Maza Vázquez, F. (2003-2004). *Planeamiento urbanístico en el corredor de Henares de Guadalajara: una perspectiva desde el desarrollo sostenible*. España: Universidad de Alcalá.
- Maza Vázquez, F. (2007). *Evolución espacial de Guadalajara, según la cartografía*. España: Patronato de Cultura del Ayuntamiento de Guadalajara.



- Rossi, A. (1995). La arquitectura de la ciudad. México: Editorial Gustavo Gili
- Rubio Blanco (2012). Prospectiva en el ordenamiento territorial. Tegucigalpa.
- Wingo, L. (1976). Ciudades y espacio. Barcelona: OIKOS-TAU.

# *Elaboración de la base de datos del archivo técnico de la Dirección General de Catastro y Geografía y su importancia en la planificación de la gestión y ordenamiento del territorio en Honduras*

Claudia Mondragón y César Rodríguez

## **Resumen**

Con el desarrollo de este trabajo se logró organizar y generar una base de datos de la información contenida en el Archivo Técnico de la Institución (desde las primeras fotos tomadas, ortofotos, mapas, documentos, etc.). Se escogió en base a la sugerencia de los encargados del Archivo Técnico, el (Proyecto Catastro Nacional 1977) sirviendo este como base y guía para una ampliación del proyecto, con el objetivo de modernizar y tecnificar el archivo técnico de la institución. En la base de datos, se estableció la ubicación física (sobre, número de estante, fila, columna) de cada fotografía aérea del antiguo Proyecto Catastro Nacional 1977. Además en que ND y número de hoja cartográfica está ubicada (base de datos específica para las hojas cartográficas), así como establecer en que rollo de negativos está contenida. Cubriendo e integrando en esta base de datos todos los componentes que forman parte del archivo técnico. Comenzando con el análisis de las fotografías aéreas, ligándolos a los ND, Hojas cartográficas, sobres y rollos de negativos. La información obtenida con el uso de la base de datos del archivo técnico, optimiza el tiempo-recurso de la institución y personal técnico y facilita el desarrollo de investigaciones futuras al facilitar el acceso a la información cartográfica y datos. el desarrollo de este proyecto es vital ya que el material que se encuentra en el archivo técnico y que se ha incorporado en la base de datos es importante para el desarrollo de la Dirección General de Catastro y Geografía. Podemos considerar que entre las aplicaciones del proyecto en la Ordenación Territorial encontramos una relación directa ya que para poder efectuar planificación y ordenación del territorio necesitamos hacer uso de cartografía.

**Palabras clave:** Archivo técnico. Base de datos. Planificación. Cartografía. Ordenamiento territorial.

## **Abstract**

With the development of this work was accomplished organize and create a database of the information contained in the Technical File Institution (from the first pictures taken, orthophotos, maps, documents, etc.). Was chosen based on the suggestion file managers Technically, the (National Catastre Project 1977) to serve this as a basis and guide for an extension of the project, with the goal of modernizing and technify technical file of the institution. In the database, established the physical location (on, shelf number, row, column) of each aerial photograph of the former National Cadastre Project 1977. Besides that ND and map sheet number is located (specific database for map sheets), and establish that negative roll is contained. Covering and integrating in this database all the components that are part of the technical file. Starting with the analysis of aerial photographs, linking them to the ND, map sheets, envelopes and negative rolls. The information obtained with the use of the Database Technical File, optimizes time-resource of the institution and staff and facilitates the development of future research by facilitating access to information and data mapping.

The development of this project is vital because the material found in the Technical File that has been incorporated into the database is important for the development of the Cadastre and Geography. We can consider that between project applications in Spatial find a direct relationship because in order to make Planning and Land Use Mapping need to do.

**Keywords:** Technical file. Database. Planning. Cartography. Land management.

---

**Claudia Mondragón** (naty\_06hn@hotmail.com); **César Rodríguez** (ceroca64@gmail.com). Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio/3. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

## INTRODUCCIÓN

Este documento expone los logros obtenidos durante la práctica de la Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio en su tercera promoción, realizada durante el mes de septiembre de 2012 con el objetivo de complementar la formación teórico-práctica recibida en la FACES con el desarrollo de habilidades y destrezas adquiridas en el ámbito laboral

Después de reuniones sostenidas con el personal técnico de la unidad del Archivo técnico cartográfico y catastral de la **DIRECCIÓN GENERAL DE CATAS-TRO Y GEOGRAFÍA**, se determinó la elaboración de un inventario y base de datos de un producto específico, sirviendo este como base y guía para una ampliación del proyecto, con el objetivo de modernizar y tecnificar el archivo técnico cartográfico. En la propuesta del trabajo, se determinó realizar un muestreo de los diferentes componentes del archivo técnico (hojas cartográficas, fotografías aéreas, rollos de negativos, foto control) vincularlos en una sola base de datos determinando la ubicación física de los mismos.

Se estableció que el **Proyecto Catastro Nacional 1977**, era el proyecto adecuado para realizar el muestreo, dejando establecido que el resto de proyectos de fotografías aéreas; componentes fundamentales ligados al resto de componentes que se manejan en el archivo técnico cartográfico y catastral, pueden ser vaciados en la misma base de datos o similares. Es importante establecer que el programa de la práctica profesional contemplo la capacitación del personal técnico para la ampliación y seguimiento de la base de datos.

Además en el informe final se brindaron una serie de recomendaciones técnicas para mejorar las condiciones de trabajo del personal, así como los requerimientos de equipo, además las recomendaciones para la futura ampliación de la base de datos. Se estima que en las semanas de levantamiento de la información, se realizó el barrido de aproximadamente 400 sobres de ortofotos (**totalidad del proyecto PCN 1977**). Se estipula además la digitalización del mapa guía para ubicación de las hojas cartográficas.

## OBJETIVO GENERAL

Complementar la formación teórico - práctica recibida en la FACES con el

desarrollo de habilidades y destrezas adquiridas en el ámbito laboral.

## METODOLOGÍA

Se sostuvieron reuniones con el personal técnico de la unidad del archivo técnico cartográfico y catastral de la DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO Y GEOGRAFÍA, para la elaboración de un inventario y base de datos de un producto específico (Proyecto Catastro Nacional 1977) sirviendo este como base y guía para una ampliación del proyecto, con el objetivo de modernizar y tecnificar el archivo cartográfico.

En la base de datos, se estableció la ubicación física (sobre, número de estante, fila, columna) de cada fotografía aérea del antiguo Proyecto Catastro Nacional 1977. Además en que ND y número de hoja cartográfica está ubicada (base de datos específica para las hojas cartográficas), así como establecer en que rollo de negativos está contenida. Cubriendo e integrando en esta base de datos todos los componentes que forman parte del archivo técnico. Comenzando con el análisis de las fotografías aéreas, ligándolos a los ND, hojas cartográficas, sobres y rollos de negativos.

Se recomendó no instalar una base de datos de gran complejidad debido a que requería un tiempo mayor de instalación y configuración además de la capacitación en el uso del sistema sería complejo en tan poco tiempo disponible por lo que se establece la instalación de un programa básico en Excel, estableciendo que a medida que la base de datos sea ampliada se puede implementar un software especialmente diseñado para tal fin.

## ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL MONTAJE DE LA BASE DE DATOS

Tabla 1: Metodología y actividades realizadas

No.	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	TIEMPO DE EJECUCION	PORCENTAJE DE EJECUCION	OBSERVACIONES
1	Reconocimiento	1. Coordinadores de proyecto 2. personal del archivo técnico	1 semana	100%	Se realizaron reuniones y adecuación de archivo para poder trabajar
2	Levantamiento de información	1. Coordinadores de proyecto 2. Personal del archivo técnico	2 semanas	100%	Adicionalmente se rotularon todos los sobres fotográficos del proyecto pcn 1977 y rotulo estante
3	Elaboración y montaje de base de datos	Coordinadores de proyecto	1 semana	100%	Elaboración de buscadores mediante macros en excell
4	Capacitación	Coordinadores de proyecto	1 semana	100%	Utilización de la base de datos y buscadores

Tabla 2: Proyecto PCN 1977 original en físico, sin la ubicación física de documentos

FOTOGRAFÍA AÉREA "ESTE-OESTE"  
CATASTRO NACIONAL - INSTITUTO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA  
PROYECTO KEYSTONE  
ALTURA: 20,000  
ESCALA: 1:40,000

SOBRE	LINEA	NUMERO - CAMARA	EXPOSICION	AÑO	ROLLO	NO	NO. CARTOGRAFICA	UBICACIÓN		
								ESTANTE	COLUMNA	FILE
1	1	170-179	1 - 10	1977	7705	16-02	280, 277			
2	2	200-291	11 - 20	1977	7704	16-03	349, 379, 378			
3	2	044-058	21 - 35	1977	7704	16-08	350, 349, 379			
4	2	153-264	36 - 50	1977	7705	16-02	278, 315, 316			
5	2	195-207	51 - 65	1977	7706	16-02	280, 278			
6	3	149-242	64 - 71	1977	7704	16-03	350, 349			
7	3	149-212	72 - 109	1977	7705	06-02, 16-02	247, 279, 278, 326, 315, 350, 349			
8	4	043-026	110 - 117	1977	7704	16-03	249, 379			
9	4	134-127	118 - 129	1977	7705	16-03	350, 349			
10	4	043-024	130 - 149	1977	7712	06-02, 16-02	278, 316, 315, 350			
11	4	180-177	150 - 164	1977	7706	16-02	247, 279			
12	5	187-150	165 - 182	1977	7704	16-03	347, 344, 376			
13	5	059-074	183 - 196	1977	7704	06-02, 16-02	314, 311, 347			
14	5	031-046	199 - 214	1977	7719	06-02, 16-02	278, 316, 315, 350			
15	5	022-010	215 - 227	1977	7712	16-02	278, 316			
16	5	121-146	228 - 253	1977	7796	16-02	246, 243, 276, 273			
17	5	019-001	254 - 272	1977	7719	16-03	347, 344, 376			
18	6	105-094	273 - 284	1977	7706	16-03	347, 344			
19	6	075-068	285 - 292	1977	7709	16-03		347		
20	6	015-007	293 - 301	1977	7705	16-02	314, 311			

## RESULTADOS Y LOGROS ALCANZADOS

- Elaboración de un inventario y base de datos, modernizando y tecnificando el archivo técnico cartográfico (Figura 1).
- Base de datos Proyecto Catastro Nacional 1977 (Tabla 3).
- Base de datos Proyecto Catastro Nacional 1978.
- Base de datos Proyecto Catastro Nacional 1979.
- Montaje 75% base de datos Proyecto Catastro Nacional 1980.
- Montaje 75% base de datos Proyecto Catastro Nacional 1981.
- Montaje 75% base de datos Proyecto Catastro Nacional 1982.
- Índice de hojas cartográficas a nivel nacional.
- Siete buscadores digitales de información (Figura 3).
- Digitalización del mapa índice hojas cartográficas a nivel nacional.
- Rotulación de todos los sobres fotográficos del Proyecto Catastro Nacional 1977 (Figura 2).
- Alcances de proyecto cobertura de 50 rollos de negativos, de 250 exposiciones aproximadamente.
- El desarrollo de este proyecto es vital ya que el material que se encuentra en el archivo técnico y que se ha incorporado en la base de datos es importante para el desarrollo de la Dirección de Catastro y Geografía.
- Como aporte para facilitar el uso de la base de datos del archivo técnico de la Dirección de Catastro y Geografía se realizó un manual de usuario que en base a la utilización de capturas de pantalla y explicaciones permitirá que el personal del archivo técnico pueda acceder a información en el momento, consultas, búsquedas de trabajo, revisión de datos y a la vez fortalecer la base de datos actual mediante el llenado de la información requerida en los espacios vacíos de los proyectos por completar en esta fase (Figura 3).

Figura 1: Búsqueda de datos manual por encargados de archivo al inicio del proyecto. Nótese la gran cantidad de documentos que se requerían para acceder a la información.



Figura 2: Rotulación, mejora y revisión de sobres de fotografías del proyecto PCN 1977





Tabla 3: Proyecto PCN 1977 digital, con datos actualizados y ampliados

## PROYECTO CATASTRO NACIONAL 1977

FOTOGRAFÍA AEREA "ESTE - OESTE" CATASTRO NACIONAL - INSTITUTO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA PROYECTO: KEYSTONE ALTURA: 20,000 ESCALA: 1:40,000										
SOMRE	LINEA	NUMERO - CAMARA	EXPOSICION	AÑO	RELLLO	NO	HOJA CARTOGRAFICA	UBICACION		
								ESTANTE	COLUMNA	FLA
1	1	170-179	1 - 10	1977	7705	16-01	280, 277	C1.1	11	A
2	2	200-191	11 - 20	1977	7704	16-01	349, 379, 378	C1.1	11	A
3	3	044-058	21 - 35	1977	7704	16-01	350, 349, 379	C1.1	11	A
4	2	153-164	36 - 50	1977	7705	16-01	278, 315, 316	C1.1	11	A
5	3	195-207	51 - 65	1977	7706	16-01	280, 278	C1.1	11	A
6	3	148-142	64 - 71	1977	7704	16-01	350, 349	C1.1	11	A
7	3	149-111	72 - 109	1977	7705	16-01, 16-01	279, 278, 316, 315, 350	C1.1	11	A
8	4	040-006	110 - 117	1977	7704	16-01	349, 379	C1.2	11	A
9	4	134-127	118 - 129	1977	7709	16-01	350, 349	C1.2	11	A
10	4	043-024	130 - 149	1977	7711	16-01, 16-01	278, 316, 315, 350	C1.4	11	A
11	4	192-177	150 - 164	1977	7706	16-01	347, 279	C1.5	11	A
12	5	167-150	165 - 182	1977	7704	16-01	347, 344, 378	C1.6	11	A
13	5	059-074	183 - 198	1977	7704	16-01, 16-01	314, 311, 347	C1.7	11	A
14	5	051-046	199 - 214	1977	7719	16-01, 16-01	278, 316, 315, 350	C1.8	11	A
15	5	012-010	215 - 217	1977	7711	16-01	278, 316	C1.9	11	A
16	5	111-146	218 - 253	1977	7796	16-01	246, 243, 276, 273	C1.10	11	A

Figura 3: Los siete buscadores de información de base de datos del archivo técnico



## CONCLUSIONES

1. La base de datos del archivo técnico de la Dirección de Catastro y Geografía es el resultado del esfuerzo conjunto de los coordinadores del proyecto y personal del archivo, quienes unieron esfuerzos y socializaron el proyecto definiendo el rumbo del trabajo, resultados y producto final.
2. La base de datos creada como resultado del trabajo de equipo resulta de estructura, diseño y uso amigables para su manejo por los encargados del archivo técnico. De esta manera se evitan complicaciones futuras que pudieran interferir en el desenvolvimiento laboral del personal del archivo.

3. La búsqueda de datos por medio de los buscadores incorporados a la base de datos elaborada se facilita en un 100%, ayudando a un mejor rendimiento tiempo/esfuerzo del personal del archivo técnico. Mejorando la capacidad institucional de respuesta a demanda de información por los solicitantes.
4. El desarrollo de nuestra práctica profesional en la Dirección de Catastro y Geografía ha sido muy valiosa para complementar la formación teórico-práctica recibida en la Maestría de Ordenamiento Territorial y Gestión del Territorio de la FACES, permitiéndonos el desarrollo de habilidades y destrezas ahora adquiridas en el ámbito laboral.
5. El objetivo de organizar y generar una base de datos de la información contenida en el archivo técnico de la institución. No termina con la elaboración de la base de datos presentada ahora. Si no que es el comienzo de un proceso de trabajo presente y futuro que incluye la ampliación de la información contenida en la base de datos por los encargados del archivo, digitalización de fotos y documentos, equipamiento tecnológico, organización de instalaciones y mejora de las condiciones laborales del personal del archivo técnico de la Dirección de Catastro y Geografía por parte de las autoridades de la dirección.
6. Entre las aplicaciones del proyecto en la ordenación territorial encontramos una relación directa ya que para poder efectuar planificación y ordenación del territorio necesitamos hacer uso de cartografía. La fuente de información bibliográfica a manera de base de datos que posee la Dirección General de Catastro y Geografía contenida en el archivo técnico de la institución es la materia prima con la cual nosotros podemos elaborar esa cartografía, actualizarla o corregirla. Aquí se encuentra información en físico de fotografías aéreas de los diferentes proyectos de sobrevuelo que reconocieron el país en toda su extensión; rollos de negativos que contienen la información también de cada proyecto desarrollado; hojas cartográficas del territorio nacional; libretas de campo; material de catastro y demás información indispensable para la elaboración de cartografía para nuestro país.

7. La Dirección General de Catastro y Geografía es el ente encargado de la elaboración cartográfica para Honduras y el hecho de contribuir a mejorar el manejo de la información del archivo facilita la gestión de información importante para ordenamiento territorial.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Dirección General de Catastro y Geografía (2013) Archivo técnico:
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1977
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1978
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1979
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1980
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1981
- Datos Proyecto Catastro Nacional 1982

# *La transformación del suelo a uso industrial con criterios de sostenibilidad*

María Luisa Soriano Sanz y  
Francisco Maza Vázquez

## **Resumen**

Las estrategias de desarrollo de los municipios deben de estar enmarcadas dentro de una perspectiva territorial equilibrada que promuevan criterios de sostenibilidad. La acción urbanística futura ha de ser objeto de una transformación del suelo, en el que el proceso va a estar condicionado por factores económicos, sociales y ambientales.

Para alcanzar la nueva estructura urbana adecuándose a los instrumentos urbanísticos de planeamiento y dotar al municipio de suelo con uso industrial, que pueda ponerse a disposición de los potenciales destinatarios en condiciones de oferta atractiva, se plantea un estudio metodológico que abarca desde la viabilidad técnica y económica, hasta la adquisición de suelo, la gestión, el diseño y la ejecución de la actuación urbanística para el desarrollo de la actividad económica.

**Palabras clave:** Desarrollo. Municipio. Suelo industrial. Sostenibilidad.

## **Abstract**

Development strategies of municipalities must be framed within a perspective that promotes balanced territorial sustainability criteria. The future urban planning activities must be subject to a land transformation, in which the process will be conditioned by economic, social and environmental.

To reach the new urban structure adapting to urban planning instruments and provide the municipality with industrial land, which could be made available to potential recipients on offer attractive conditions, there is a methodological study ranging from the technical and economic, to land acquisition, management, design and implementation of urban development for the development of economic activity.

**Keywords:** Development. Municipality. Industrial land. Sustainability.

Introducción

---

María Luisa Soriano Sanz (maria.soriano@sepes.es); Francisco Maza Vázquez (francisco.maza@uah.es). Universidad de Alcalá (España).

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible o sustentable y el medio ambiente se sitúan en centro de atención hacia finales del siglo pasado. El debate sobre “eco desarrollo” que se formuló en Estocolmo, en el año 1972, y la “Cumbre de la Tierra”, celebrada en Río de Janeiro (1992), fueron hitos relevantes en la concepción internacional de la relación entre el hombre y el medio. Desde entonces mucho se ha escrito sobre la sostenibilidad y de las herramientas que pone a nuestro alcance este término.

La Comisión Europea de Medio Ambiente (1996) apunta que el desarrollo sostenible es un concepto complejo que incorpora principios de sostenibilidad social, ambiental y económica, y además se demanda que el desarrollo sea económicamente eficiente y equitativo dentro, y entre generaciones (Carrizosa, 1993).

A veces, la expresión “desarrollo sostenible” ha estado ligada con el significado de mejorar la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan, así lo expone el conocido informe de “Cuidar la Tierra” publicado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en 1991.

Otros autores definen la sostenibilidad como “la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas”. (Brundtland, 1987). Sin duda esta definición y la justicia social tiene mucho que ver con el hecho de que el 26% de la población mundial consume el 85% de los recursos no renovables y el 40% de las existencias alimenticias, planteando serias consideraciones éticas y morales.

También el término de desarrollo sostenible lleva implícito un concepto dinámico que abarca el crecimiento y desarrollo económico y social dentro de los límites determinados por la naturaleza (LEADER, Magazine nº 6, 7/94). No se trata de una teoría del desarrollo ni de un modelo de crecimiento, sino de un enfoque que es imprescindible aplicar en la ordenación territorial.

Estas consideraciones previas conducen a pensar que el servicio que nos proporciona el urbanismo y la Ordenación del Territorio nos sirven para impulsar un modelo de desarrollo urbano que sea capaz de satisfacer las necesidades sociales, ambientales y económicas, garantizando la sostenibilidad de los ecosistemas naturales. En este sentido, el Informe sobre los Recursos Mundiales elaborado en el año 1996 por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) enfoca el desarrollo sostenible como un proceso de ordenación que requiere un progreso

simultáneo en las diversas dimensiones: económica, humana, ambiental y tecnológica.

Así mismo, el proceso de ordenamiento territorial, está necesariamente orientado al desarrollo sustentable, pues debe buscar favorecer el crecimiento económico, elevar las condiciones de vida de la población en pos de la equidad, y mantener vital y sólida la sustentabilidad de los ecosistemas y recursos naturales del territorio.

A este respecto, la también llamada sostenibilidad de un territorio, se basa en que el planeamiento urbano pueda reconocer las funciones de ciudad, de acuerdo con las clasificaciones de suelo, a saber, urbano, urbanizable, programado industrial o residencial y suelo rústico; teniendo en cuenta las extensiones superficiales previstas y ocupadas para cada una de estas tipologías edificatorias y reconociendo la positiva integración de lo urbano en lo que antes era rústico o entorno natural, o lo que es lo mismo reconociendo la evolución urbana del territorio, y como consecuencia de ello el desarrollo de la actividad económica.

Además, y como apoyo a la ordenación sustentable se requiere la redacción de un instrumento técnico-administrativo que nos dará la idea del impacto ambiental; es el denominado **Proyecto de la Evaluación de Impacto Ambiental**. A través de él, nos será posible tomar decisiones sobre la preservación de los recursos naturales y la defensa del medio ambiente, de una manera eficaz evitando las agresiones contra la naturaleza y proporcionando una mayor fiabilidad y confianza a las decisiones que deban adoptarse, elegir la mejor alternativa posible, que salvaguarde los intereses generales desde una perspectiva global e integrada y teniendo en cuenta los efectos derivados de la actividad proyectada (Soriano, 2010).

## 2. LA SOSTENIBILIDAD EN LA ORDENACIÓN TERRITORIAL

La Carta Europea de Ordenación del Territorio de 1983, define la Ordenación Territorial como *"la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad. Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector"*.

La ordenación del uso de los espacios urbanos es una necesidad cada vez más imperante, que debe de contribuir a evitar el aumento de los conflictos propios de la competencia entre actividades excluyentes y proteger el medio ambiente de

la contaminación ambiental y antrópica, permitiendo un desarrollo sostenible.

El urbanismo, la planificación del territorio, nos debe marcar pautas que ayuden a buscar la mejor solución y en definitiva a mejorar la calidad de vida de todos los ciudadanos que en ese territorio habiten; en todos los aspectos, sociales, económicos y ambientales, manteniendo abiertas todas las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras (Maza, 2003).

La planificación y el desarrollo urbano deben implicar una voluntad de sostenibilidad del territorio que se ordena, y en todo territorio urbano debe existir un principio de prevención; por lo que se hace necesario establecer políticas conscientes de las limitaciones ambientales y hacer ver que los recursos naturales pueden llegar a alcanzar situaciones irreversibles.

El objetivo final de la ordenación territorial es “conseguir una relación armónica entre el medio y los asentamientos humanos con el propósito de disminuir las desigualdades y lograr un desarrollo socialmente equilibrado, respetando el ambiente natural” (Durán, et al, 1993).

La ordenación territorial, es un proceso secuencial e iterativo que, orientado hacia objetivos a largo plazo, se desarrolla en ciclos de tres fases: análisis territorial, planificación territorial, y gestión territorial. Por extensión, las dos primeras pueden englobarse bajo el término de planificación, correspondiendo a la fase de gestión las tareas que comporta la puesta en práctica de un plan de ordenación (Gómez Orea, 1994).

Al centrar el debate entre sostenibilidad y ordenación del territorio, se cuestionan dudas sobre el control del crecimiento urbano que con fuerza arrastra el mercado inmobiliario. La visión descentralista, apoyada por las fuerzas económicas, mantiene su firmeza y apuesta para que la ordenación de la estructura de la ciudad dependa del libre mercado del suelo.

El interés se centra en conocer la naturaleza y el funcionamiento del territorio en todos los aspectos, socioeconómico, demográfico, comunicaciones..., aportando para ello medidas de aspectos sociales muy relacionados con la calidad de vida y el estado de bienestar. Se debe analizar el territorio, y su desarrollo económico, desde una perspectiva urbanística, observando las distintas calificaciones y clasificaciones de suelo que posee, hasta conseguir el equilibrio necesario para conseguir el bienestar deseado y afrontar la redefinición de aquellos ámbitos y su adaptación a nuevas realidades.



La acción urbanizadora, necesaria para el desarrollo económico, supone, por tanto, la transformación de un recurso escaso y muy sensible: **el suelo**. La actividad debe ser lo menos agresiva posible con el lugar en que se produce. Pero es necesario seguir avanzando, continuar innovando. Y para ello es imprescindible realizar una reflexión de nuestra forma de trabajar, de producir e incluso de consumir, de medir cuál es el impacto ambiental de la actividad. Es un ejercicio de análisis y transparencia necesaria para que toda empresa, se comprometa con el medio ambiente de manera responsable y desde la auto exigencia. Contribuyendo a un mayor ahorro y eficiencia energética, así como a reducir su huella ecológica. Es tiempo de adoptar medidas valientes, nuestro progreso de hoy no puede ser un lastre para el bienestar de generaciones futuras.

### 3. OBJETIVOS

La crisis financiera internacional y el estallido de la burbuja inmobiliaria han puesto de relieve las limitaciones del crecimiento. La necesidad del cambio del modelo basado en el modelo productivo y de consumo, en la sostenibilidad y en el fomento de la innovación, se plantea como un desafío, en el que se ha de diseñar un plan estratégico.

En definitiva, el objetivo es el desarrollo de una estrategia territorial proactiva, basada en criterios de análisis socio-económicos, a través de estudios de rentabilidad y mejora de la eficiencia económica, así como estudios de viabilidad, localización de la demanda y la necesidad del territorio de una determinada actuación, que sustente la toma de decisiones, con el compromiso de la protección medio ambiental.

### 4. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA. APLICACIÓN METODOLÓGICA.

Es de una importancia relevante el carácter económico que lleva implícito el término desarrollo sostenible. Se tiene como un reto el crecimiento económico que debe tener un país desarrollado y a veces la relación de economía-medio ambiente origina confrontación dentro del mundo de la economía (Solow, 1992). Potenciamos en esta sociedad, cada vez con más fuerza, el indicador de riqueza nacional y el crecimiento material, apareciendo como una necesidad axiomática. En esta sociedad de mercado parece importarnos más la contabilidad nacional, los flujos de renta y los indicadores macroeconómicos que el capital natural (Pearce et al, 1989; Ekins, 1986).

Habitualmente el hombre permite que las ciudades se comporten como

organismos vivos que consumen recursos y cada vez es mayor la necesidad que debe de tener un territorio para abastecer y prestar servicios a una ciudad. **El deterioro ambiental** se deja ver, igualmente, por la contaminación atmosférica y acústica, por los vertidos que indudablemente afectan a nuestra salud y calidad de vida, y esto incide directamente en el desarrollo de la actividad económica.

Investigadores y estudiosos elaboran continuamente modelos matemáticos que demuestran los escasos recursos no renovables consumidos y que ahora pueden ser sustituidos por otros recursos; entre ellos cabe citar al economista rumano Dr. Nicholas Georgescu-Roegen, (1.906-1.994) precursor de la economía ecológica, que trata de "crear conciencia ecológica" frente al objetivo de maximizar beneficios.

Los científicos e investigadores deben incorporar criterios operativos que ayuden a un desarrollo sostenible. Se puede empezar aquí y ahora; en casa y en la ciudad y compete a las autoridades locales, junto a organizaciones vecinales, empresariales e industriales, los que deben adquirir la información adecuada para diseñar la mejor estrategia en cuanto al desarrollo de la actividad económica a aplicar en cada caso y un método.

### Aplicación metodológica

Desde hace algunos años vemos cómo la actividad urbanística que se desarrolla en el territorio obliga a conjugar el hábitat y modelo de vida con el desarrollo sostenible. El concepto de desarrollo como mejora del "nivel de vida" ha dejado en gran parte el contenido económico de mejora de renta, conseguida ya una estabilidad general, por el de "calidad de vida" que asume otras variables. Así, en términos geográficos el concepto de desarrollo sostenible tiene diferentes interpretaciones para una aldea africana, una población latinoamericana o una nación industrializada europea. Tal vez, el término desarrollo sostenible preocupe más a un estado industrial y menos a una aldea africana.

Se propone, una primera interpretación del proceso de una actuación industrial, para conseguir un modelo integrado y sostenible. La acción metodológica podemos resumirla de manera esquemática en las siguientes fases:

- 4.1 Trabajos previos
- 4.2 Adquisición de suelo
- 4.3 Planeamiento
- 4.4 Urbanización (lleva implícita la reparcelación aprobada en el proyecto de actuación urbanística)

Aunque estas fases no son compartimentos estancos, las influencias mutuas son constantes y no sólo de manera lineal, sino que se producen procesos iterativos, actuaciones en paralelo, etc. que requieren de una gran coordinación.

### 4.1 Trabajos previos

Como trabajo previo fundamental para cada actuación urbanística industrial, es recomendable la realización de un **estudio de viabilidad técnica y económica**, necesaria para saber a priori, si el proyecto va a ser viable. Es clave en esta etapa la adecuación del nivel de detalle con el plazo de realización del estudio.

Figura 1: Estudio de viabilidad económica

GASTOS					
	Parcelas	Superficies (m <sup>2</sup> )	Precio unitario (€/m <sup>2</sup> )	Coste (€ los mil)	%
<b>GESTIÓN SUELO</b>					
Impuesto	24	401.824,00	8,0	3.214.592,00	
Comisiones: En Reg. de la Propiedad		21.250,00	2,0	425.000,00	
Comisión notarial		20.000,00	1,4	280.000,00	
Otros gastos				14.700,00	
Asesoramiento técnico				11.700,00	
<b>TOTAL</b>				<b>3.745.992,00</b>	<b>22,42%</b>
<b>PLANEAMIENTO</b>					
Proyecto preliminar de las U.T. y Planificación del suelo urbano				23.300,00	
Proyecto definitivo				11.600,00	
Proyecto de ejecución				13.200,00	
Proyecto de ejecución de obras				19.200,00	
Proyecto de urbanización				10.500,00	
Proyecto de urbanización				10.500,00	
<b>TOTAL</b>				<b>88.300,00</b>	<b>1,72%</b>
<b>OBRAS</b>					
Construcción de la edificación				11.200.000,00	
Construcción de infraestructuras (S.T.)				1.200.000,00	
Construcción de servicios básicos				200.000,00	
Construcción de instalaciones y obras				20.000,00	
Costes de calidad obras urbanización				172.000,00	
<b>TOTAL</b>				<b>11.592.000,00</b>	<b>74,14%</b>
<b>TOTAL GASTOS DE EJECUCIÓN</b>				<b>11.780.992,00</b>	<b>100,00%</b>
<b>GASTOS GENERALES (30%)</b>					
				5.124.888,00	
<b>TOTAL GASTOS</b>				<b>16.905.880,00</b>	
<b>INGRESOS</b>					
<b>COMERCIAL</b>					
Ventas					
Beneficio comercial	24	213.312,00	10,0	2.133.120,00	81,42%
Beneficio por permisos de obras		26.750,00	10,0	267.500,00	10,32%
Beneficio por venta de suelo		19.240,00	10,0	192.400,00	4,25%
Anonimatos				1.000,00	
<b>TOTALES</b>	<b>24</b>	<b>259.302,00</b>	<b>100,00</b>	<b>2.595.020,00</b>	<b>100,00%</b>
<b>TOTAL INGRESOS</b>				<b>2.595.020,00</b>	
<b>BALANCE GENERAL</b>					
<b>BENEFICIO</b>				<b>4.740.040,00</b>	
<b>% CARANCHA</b>				<b>18,71%</b>	

Figura 2: Fotografía aérea, para el estudio de conexiones exteriores e infraestructuras, de una futura actuación en Lentiscales, Navarrete (La Rioja)



Las principales variables técnicas a estudiar son: a) posibilidad de adquisición de los terrenos, preferiblemente próximos a redes de comunicación (vial, ferroviaria, puertos, aeropuertos...) y a núcleos de población medio-altos, y a ser posible con infraestructuras existentes en la zona (depuradora, abastecimiento, red eléctrica...), b) posible demanda de parcelas para la instalación de industrias.

En este sentido, la estructura de la sociedad ha propiciado el desarrollo de fuertes vínculos entre el individuo y el territorio. La residencia habitual está ligada a la vivienda y la actividad laboral está ligada a un centro de trabajo. La necesidad que el individuo tiene de moverse de una —la vivienda— al otro —el centro de trabajo—, exige de un sistema de comunicaciones. El individuo igualmente precisa de equipamientos sanitarios, docentes, deportivos, sociales, grandes zonas verdes, de recreo y así poder satisfacer sus necesidades, para alcanzar el ansiado desarrollo sostenible. En definitiva, el objetivo final de la ordenación territorial es una relación armónica entre el medio y los asentamientos humanos con el propósito de disminuir las desigualdades y lograr un desarrollo socialmente equilibrado, respetando el ambiente natural (Durán, et al, 1993).

En cuanto al estudio económico, se hace aconsejable analizar la totalidad de los costes derivados de la compra o expropiación de terrenos (si es la administración quien lo fuera a ejecutar), de la producción urbanizadora (gastos de urbanización, gastos generales, financieros y beneficio empresariales), y de los ingresos potenciales de la actuación; es decir, del valor en venta de las parcelas resultantes. Para ello se deben tener en consideración los valores de repercusión correspondientes a cada uno de los usos a implantar, determinados sobre la base de un estudio de mercado actualizado, y poner de manifiesto la viabilidad positiva de la misma.

Figura 3: Parque Empresarial "Argame". La localización del municipio de Morcín entre Mieres y Oviedo (Asturias) cuenta con potentes infraestructuras de comunicación a las que se accede a través de la carretera 630.

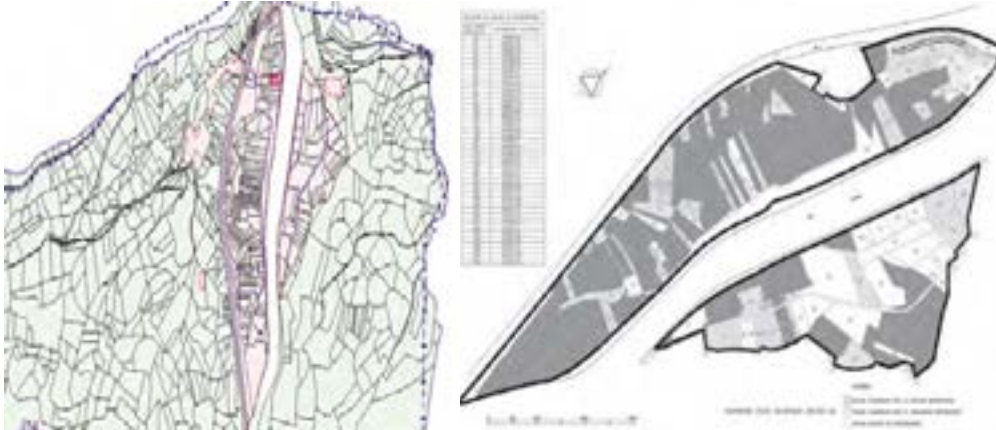


## 4.2 Adquisición de suelo

Se requiere la identificación de propietarios, bienes y derechos afectados por la actuación a partir de las bases de datos catastral y registral, que nos proporciona las delegaciones provinciales de catastro y los registros de la propiedad

correspondientes. En la adquisición del suelo, conviene tener presente las fincas afectadas para las conexiones exteriores de infraestructuras.

Figura 4: Plano de parcelación, para la adquisición de suelo



### 4.3 Planeamiento

Respecto al planeamiento, puede ser preciso la modificación puntual de planeamiento general vigente en el municipio, y en todo caso, se redacta un plan parcial, instrumento de desarrollo del plan general, en el que se define la ordenación detallada de una parte del ámbito territorial. Contienen las siguientes determinaciones: Delimitación del área del planeamiento, asignación de usos pormenorizados, fijación de zonas de equipamientos, trazado y características de la red de comunicaciones y su enlace con el sistema general, diseño y trazado de servicios (saneamiento, agua, energía eléctrica...), evaluación económica y plan de etapas de las obras de urbanización.

Para todo ello son imprescindibles una serie de estudios técnicos, como los cartográficos (levantamiento topográfico de la zona de estudio), un plano parcelario (de afección de fincas) y un estudio geotécnico.

Figura 5: Plano de planeamiento y foto aérea del polígono de Argame (Asturias)



#### 4.4 Urbanización

Hay dos fases bien diferenciadas: Redacción de **proyecto de urbanización**, ajustándose al plan parcial, y la **ejecución de las obras**, que tendrán gran incidencia en el proceso de transformación del paisaje. Sin embargo, se intenta minimizar sus efectos con medidas correctoras para su restauración ambiental, recogidos en la **Declaración de impacto ambiental** y en el **Estudio de impacto ambiental**.

Figura 6: Vista aérea de la ejecución de las obras de urbanización de Argame (Asturias)



Todas estas medidas que se proponen sirven para la preservación de los recursos y la defensa del medio ambiente, con el fin de salvaguardar los intereses generales desde una perspectiva global e integrada. Asimismo, se deben tener en cuenta los efectos derivados de la actividad proyectada, intentar proteger la salud humana, contribuir mediante un mejor entorno a la calidad de vida, velar por el mantenimiento de la diversidad de especies, conservar la capacidad de reproducción del sistema y evitar, en lo posible, los efectos negativos en los bienes ambientales como el suelo, el agua o en la atmósfera. No debemos olvidarnos de elaborar disposiciones que protejan el paisaje y el patrimonio; de dictar normativa para que se gestionen, de forma adecuada, los residuos, adaptando soluciones tanto en el diseño del proyecto de urbanización como en la ejecución del mismo.

En cuanto a la **protección de agua**, el proyecto de urbanización se ha de diseñar con un *sistema separativo de aguas pluviales y residuales*, que permitan recuperar mediante colectores el agua de lluvia y reconducirla a los cauces naturales, o bien utilizarlo para el riego de las zonas verdes; mientras que el colector de residuales se conducirá hacia una estación depuradora, que permita a posteriori su aprovechamiento.

Se tendrá especial atención, en la ejecución de obras con los cursos naturales de agua, como arroyos, río, etc., en los que para evitar vertidos accidentales, se jalonará el cauce delimitándolo correctamente al objeto de *evitar derrames y posibles vertidos de sustancias peligrosas (hidrocarburos, aceites)* que puedan llegar a afectar la calidad del curso de agua presente en el entorno de actuación. Asimismo, *se evitará acumular materiales sobrantes en las proximidades del cauce público*. Las obras se realizarán preferentemente en el período estival, cuando el arroyo se encuentra seco, con el fin de paliar posibles afecciones por la emisión de sólidos en suspensión al medio hídrico.

En cuanto a la **protección del suelo**, susceptible al cambio, ya que es la base para la transformación del paisaje, se tomarán medidas tan simples como la *reubicación y acopio de la tierra vegetal* mientras que se ejecuta la obra, para la posterior reutilización en la fase de ajardinamiento. Es importante que todos los áridos que intervienen en la fase de obra procedan de canteras legalmente autorizadas, evitando de esta forma riesgos en la seguridad y salud de los trabajadores, como la reducción del impacto para el medio ambiente derivado de una buena gestión y rehabilitación de las zonas mineras.

En lo referente a la **protección de la atmósfera**, se pueden tomar medidas poco costosas, pero efectivas; como la humectación de los terrenos en condiciones



desfavorables, evitando que se formen nubes de polvo que afecten a la visibilidad de la circunvalación o a cultivos colindantes; control de emisiones de los escapes de maquinaria. Con carácter previo a su utilización en la ejecución de las obras, se revisarán las emisiones de gases de las máquinas, comprobando que se cumplen los requisitos mínimos exigidos por la Inspección Técnica de Vehículos (ITV) que afecten a emisiones de gases a la atmósfera; control de la velocidad de la maquinaria con señalización adecuada para el control del tráfico durante la ejecución de las obras y recubrimiento, con lonas, en *zonas de acopio de materiales*.

La idea del paisaje ha estado vinculada a una concepción elitista, en la que la belleza del paisaje se identificaba con espacios especialmente bellos. Esta idea del paisaje ha ido también evolucionando. En este sentido el paisaje es una realidad material e inmaterial, que puede diferir señaladamente según la sensibilidad y valores del observador. El paisaje por otra parte varía de forma constante, por el efecto de la luz o por la constante intervención humana, y es por ello por lo que se deben de tomar ciertas precauciones en el desarrollo y acondicionamiento de la obra. Así, es conveniente *la adecuación paisajística de las franjas paralelas a la carretera*, creando una "pantalla vegetal" con la disposición de los marcos y densidad de plantación, con gran variedad de especies. De esta manera, transcurrido un tiempo de asentamiento, se constituirá una pantalla natural que mitigará el impacto visual del nuevo polígono en el paisaje. De la misma forma se ajardinarán y *restaurarán los márgenes de arroyo* con especies autóctonas, que se adapten bien al medio. Con el objetivo de facilitar al máximo la recogida de agua, en el momento de la plantación, se realizarán alcorques y se irán colocando tubos protectores contra roedores en aquellas especies que por su tamaño en el momento de la plantación, sean susceptibles de ataques.

Junto con el paisaje natural se debe de dar también protección al paisaje cultural, al **Patrimonio artístico y cultural**, que representa la identidad de un lugar y un pueblo. En este sentido, se llevará a cabo un control arqueológico, y en caso de aparición de restos de interés, se comunicará de inmediato al organismo competente, previa paralización de las obras.

Existen otros factores que se tendrán en cuenta, como la **protección de los niveles acústicos** durante la ejecución de la obra. A tal efecto, se comprobará que todas las máquinas llevan silenciadores y que la velocidad de vehículos y máquinas sea la adecuada. En cuanto a la **contaminación lumínica**, se atenderá a la legislación vigente, si bien las luminarias instaladas en las vías públicas deberán tener, como máximo un 15 % de emisión de flujo hemisférico superior. El conjunto de la instalación de alumbrado, se adaptará a lo recomendado en el articulado de

la propuesta de ordenanza municipal de alumbrado exterior para la protección del medio ambiente mediante la mejora de eficiencia energética.

Otro factor sumamente importante para el medio ambiente, es la **gestión de residuos**. *Los residuos generados durante la fase de obra*, se trasladarán al destino conveniente en función de la naturaleza de dichos residuos y de acuerdo con la legislación vigente. Los productos y subproductos se gestionarán en función de su catalogación en el catálogo internacional de residuos. Los escombros se trasladarán a vertederos autorizados, y los residuos procedentes del mantenimiento de maquinaria serán retirados por un gestor autorizado de residuos peligrosos. Es conveniente realizar una separación de todos aquellos residuos reciclables que se trasladarán al punto limpio más cercano.

Destacamos la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, donde podemos encontrar la recopilación de información de prevención y gestión de residuos en España (<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/>).

## 5. CONCLUSIONES

Al concepto de sostenibilidad, entendida como la suma de al menos tres dimensiones que se dan en un territorio; a saber, el social, el económico y el ambiental, no debemos olvidar la dimensión urbanística, y la que resulta de su desarrollo, ya que mediante ella es posible realizar análisis a medio y largo plazo que permita identificar escenarios y tendencias en el crecimiento industrial y/o residencial de una ciudad, inseparables en la estructura urbana.

El proceso a seguir en la transformación de suelo a uso industrial **con principios y criterios de sostenibilidad** debe de ser objetivo primordial en cualquier actuación urbanística, si pretendemos reconstruir y/o dar continuidad la calidad inicial, dado que los ecosistemas muestran cada vez menor resistencia al impacto de las actividades humanas, y en temas urbanísticos el proceso es el mismo, ya que la ciudad, el territorio, actúa como el agente (ecosistema artificial) que ejerce presión sobre los ecosistemas naturales. El cumplimiento de las medidas expuestas en la fase de urbanización de esta comunicación ayuda, sin duda, a conseguir este objetivo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Brundtland, G.H. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Carrizos A, J. (1993). *Colombia, de lo imaginario a lo complejo. Reflexiones y notas acerca de ambiente y desarrollo y paz*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia/Instituto de Estudios Ambientales.
- Comisión Europea (1996). “Manual sobre evaluación ambiental de planes de desarrollo regional y programas de los fondos estructurales de UE”. Anexo IV: Indicadores. Dirección General XI, Medio Ambiente, seguridad nuclear y protección civil.
- Durán, D.; de Marco, G.; Lara, A.; Sassone, S.; Daguerre, C. (1993). *Geografía de la Argentina*. Buenos Aires: Ed. Troquel.
- Ekins, P. (1986). *The Living Economy*. London/ New York: Routledge and Kegan Paul.
- Gómez Orea, D. (1994): *Ordenación del territorio: una aproximación desde el medio físico*.
- Maza Vázquez, F. (2003). *Planeamiento urbanístico en el Corredor del Henares de Guadalajara: Una perspectiva desde el desarrollo sostenible*. Universidad de Alcalá (España)
- Pearce, D.W. (1989). *Blueprint for a green Economy*. London: Earthscan.
- Programa de Naciones Unidas (1996). *Indicadores de desarrollo sostenible*. Marco y metodología. Nueva York: ONU.
- Solow, R. (1992). “An Almost Practical Step Foward Sustainability”. Conferencia en Resorces for the Future, XV Aniversario de RFF, 8/10/92.
- Soriano Sanz, M.L. (2010). “Los sistemas de información geográfica como herramienta de planificación sostenible” Curso Superior de Estudios Territoriales y Urbanísticos. España: INAP/Ministerio de la Presidencia.

# *El ordenamiento territorial y su papel en la construcción de lugares saludables, caso: zona metropolitana de Toluca, México*

Marcela Virginia Santana Juárez,  
Elsa Mireya Rosales Estrada, Luis Ricardo Manzano  
Solís, Giovanna Santana Castañeda y  
Rebeca Angélica Serrano Barquín

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es analizar el papel de la ordenación territorial en la construcción de lugares saludables, ante problemas ambientales y socioeconómicos que inciden negativamente en la salud de la población. Se considera un diagnóstico de las características socio-económicas, ambientales y de salud de la población de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT).

**Metodología.** Se trata de un estudio descriptivo, de carácter trans-seccional y el tipo de investigación es cuantitativo. Las fuentes de información son: imágenes de satélite, cartografía temática, Anuario Estadístico del Estado de México del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011) y datos del Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), entre otras fuentes.

Entre los resultados principales de la investigación destaca el hecho de que se trata de municipios con grado de marginación muy bajo y bajo; grado de rezago social muy bajo y medio; índice de desarrollo humano medio alto y alto; actividades económicas principalmente en servicios e industria; sin embargo se presentan problemas ambientales como erosión y falta de espacios verdes, así como tasas de mortalidad altas principalmente de tipo crónico degenerativo como la diabetes mellitus, enfermedades isquémicas del corazón, tumores malignos y cirrosis y otras enfermedades del hígado.

Ante estos problemas la ordenación territorial juega un papel importante en la generación de propuestas estratégicas focalizadas, en la creación de lugares saludables con un enfoque holístico y regional.

**Palabras clave:** Ordenación territorial. Lugares saludables. Salud humana.

## Abstract

The purpose of this paper is to analyze the role of spatial planning in building healthy places, to environmental and socioeconomic problems that negatively affect the health of the population. It is considered a diagnosis of the features socio-economic, environmental and population health of Toluca Metropolitan Area (ZMT).

**Methodology.** It is a descriptive study, cross-sectional and type of research is quantitative. The sources of information are: satellite images, thematic mapping, Statistical Yearbook of State of Mexico of National Institute of Statistics and Geography (INEGI, 2011) and data from the Health Institute of State of Mexico (ISEM), among other sources.

Among the main results of the research highlights the fact that it is municipalities with very low and low levels of marginalization; degree of social backwardness very low and medium; human development index is medium high and high; economic activities mainly in services and industry, however presents environmental problems such as soil erosion and lack of green spaces; as well as high mortality rates mainly of chronic degenerative as diabetes mellitus, ischemic heart diseases, malignant tumors and cirrhosis and other liver diseases.

Given these problems the spatial planning plays has important role in generating of focused strategic proposals for creating healthy places with a holistic and in this case regional.

**Keywords:** spatial planning / healthy places / human health /

---

**Marcela Virginia Santana Juárez** (mvsantana7@hotmail.com); **Elsa Mireya Rosales Estrada** (emre2000@hotmail.com); **Luis Ricardo Manzano Solís** (lrmanzanos@uaemex.mx); **Giovanna Santana Castañeda** (gioscas1@hotmail.com); **Rebeca Angélica Serrano Barquín** (rebecaserrano09@gmail.com). Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

## 1. INTRODUCCIÓN

El acelerado y anárquico crecimiento urbano de muchas de las ciudades de América Latina y el impacto en la transformación del ambiente, enmarca indispensable la revalorización de la relación sociedad naturaleza, la cual incide en la calidad de vida de la población.

En México, según el INEGI, en el 2010 el 76% de la población se ubica en ámbitos urbanos, con diferentes problemáticas ambientales, sociales, económicas, culturales y de salud que afectan la calidad de vida de la población y cada vez más las hacen inhabitables.

Ciudad saludable de acuerdo a Hancock Trevor y Duhl Leonard (1988) se define como: *"Aquella ciudad que continuamente está mejorando y creando los ambientes físicos y sociales y expandiendo los recursos comunitarios que habilitan a la gente para apoyarse mutuamente en el desempeño de todas las funciones de la vida y para desarrollar su máximo potencial"*.

Dentro de este concepto es importante destacar que una ciudad saludable busca una "mejor calidad de vida" para su población. Debe de propiciar un ambiente físico-social que brinde bienestar a los habitantes de la misma.

México enfrenta problemáticas dentro del entorno urbano como: pobreza extrema, exclusiones sociales, falta de manejo de basura, deficiente provisión de agua potable, deterioro ambiental, escasez y precaria vivienda, falta de provisión y accesibilidad de servicios no solo de salud, sino además de los de saneamiento básico y energía eléctrica (Restrepo, Málaga, 2011). A partir de estas consideraciones, es importante señalar que el sustrato esencial y fundamental es el entorno geográfico, el cual ofrece alternativas susceptibles para incorporar usos urbanos y su óptima redistribución y utilización de los recursos naturales en pro de la sustentabilidad, así como para el desarrollo de ciudades saludables.

Una de las estrategias de la Organización Mundial de la Salud (1995), es la creación de ciudades saludables a partir de la promoción de la salud, con el apoyo de organismos de diferentes ámbitos de la ciudad: servicios públicos, empresarial, políticos y la ciudadanía, entre otros. Priorizando los determinantes de la salud, las personas que viven en la pobreza y las necesidades de los grupos vulnerables (ejemplo: envejecimiento sano). En que las ciudades deben de trabajar en los temas de desarrollo básicos de la planificación urbana saludable (plan de desarrollo de ciudad saludable) y la evaluación de los efectos sobre la salud.

La Organización Panamericana de la Salud (2005) ha impulsado el programa de municipios, ciudades y comunidades saludables. A partir de la estrategia internacional de la promoción de la salud para lograr equidad, democracia y justicia social, ofreciendo un marco valioso para organizar la acción social y política con el fin de mejorar la salud y las condiciones de vida.

El crecimiento de una ciudad saludable debe partir de los conceptos de sitio (emplazamiento) y situación los cuales tienen relación con las características físico geográficas, naturales, socioeconómicas, culturales y de salud, directamente vinculadas al desarrollo sustentable, que atiende la adecuada distribución y redistribución de los usos urbanos del suelo. La planificación territorial ha sido uno de los instrumentos de mayor alcance utilizado en América Latina para intervenir sobre los territorios, especialmente a través de los planes de ordenamiento territorial (Massiris, 2011). Por lo que es fundamental la concertación de todos los actores que inciden en la ciudad, desde el individuo, la población, los gobiernos, las instituciones educativas, las ecológicas, las de desarrollo urbano, hasta las instituciones internacionales, para plantear alternativas de solución y construir las ciudades saludables.

Joaquín Farinós señala la importancia de la participación e involucración de la población en la definición de alternativas de futuro (estrategias territoriales o spatial visions), para lo cual es necesaria la creación —lenta pero sin pausa— de nuevos lazos socio-territoriales (Farinós, 2011).

En Río de Janeiro, en la Conferencia de Naciones Unidas para el Medio de 1992 se estableció la Agenda 21: un documento que analiza y propone políticas para alcanzar el desarrollo sustentable de las ciudades, contempla en la sección 1 las dimensiones sociales y económicas y el apartado sobre la protección y fomento de la salud humana. En la cual señala que la salud y el desarrollo tienen una relación directa. Tanto el desarrollo insuficiente que conduce a la pobreza como el desarrollo inadecuado que redundaría en el consumo excesivo, combinados con el crecimiento de la población mundial, que pueden redundar en graves problemas de salud relacionados con el medio ambiente en los países desarrollados y en los países en desarrollo.

Una ciudad saludable es aquella que da una alta prioridad a la salud en todas sus actuaciones. Cualquier ciudad puede ser saludable si se compromete con la salud, tiene una estructura para trabajar por ella y comienza un proceso para conseguir más salud. La salud se define como el bienestar físico, psíquico, social y medioambiental de la gente que vive y trabaja en las ciudades.

La salud es algo más que la ausencia de enfermedad o la actividad curativa de los servicios sanitarios: puede crearse si el entorno donde vivimos nos facilita estilos de vida más sanos.

Algunos indicadores de una ciudad saludable son: el % de personas que hacen ejercicio regularmente; la proporción de médicos para cada 100,000 personas; el porcentaje de personas derechohabiente; tasas bajas en enfermedades crónico degenerativas; bajos indicadores en la presión arterial, colesterol y triglicéridos; calidad del aire que se respira alta; ciudades limpias, ciudades con proporciones altas de áreas verdes, sistema de transporte funcional; entre otros.

El analizar las condiciones de salud en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), permitirá realizar un diagnóstico como insumo en la ordenación territorial para la construcción de una ciudad saludable. No se trata de transformar por completo una ciudad, sino de localizar lugares estratégicos para políticas y estrategias que tengan mayor impacto en la salud de la población.

En este trabajo se presentan avances del proyecto de investigación sobre ciudades saludables en México, a partir de una perspectiva geográfica. Caso ZMT. En específico sobre algunas características ambientales, socioeconómicas y de salud de la población, con un enfoque regional.

## 2. MÉTODOS

El estudio es de carácter descriptivo, cuantitativo, de carácter trans-seccional, se analizan las características sociodemográficas, ambientales y de salud, de la ZMT como insumos en la ordenación territorial para la construcción de lugares saludables.

### 2.1 Universo de estudio

La ZMT se localiza en el centro del Estado de México, de acuerdo al INEGI, CONAPO y SEDESOL (2005) se integra por catorce municipios que tienen su propias especificidades, estos son: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec (INEGI, 2010).

La ZMT se localiza a los 2300 msnm, en el altiplano mexicano, forma parte del eje neo volcánico ubicado a los 19º grados de latitud norte. Está integrada por una serie de montañas, lomas y valles en los que predomina el clima templado subhúmedo y en las prtes altas el semifrío.



La ZMT ocupa el quinto lugar en tamaño de población, después de la Zona Metropolitana del Valle de México, la Zona Metropolitana de Monterrey, la Zona Metropolitana de Guadalajara y la Zona Metropolitana de Puebla. Con base en el XIII censo de población y vivienda 2010, la ZMT cuenta con 1, 846,116 habitantes, que indica el 12.16% de la población del Estado de México.

## 2.2 Fuentes e información

Las fuentes de información utilizadas son: imágenes de satélite, cartografía temática, Anuario Estadístico del Estado de México del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011) y datos del Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), entre otras.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Distribución de la población

La ZMT con una extensión de 2,038.35 km<sup>2</sup> y una densidad de 907 hab/km<sup>2</sup>. Destacan entre los municipios con mayor densidad de población: Metepec con 3,171.83 hab/km<sup>2</sup>; San Mateo Atenco con 2,650.80 hab/km<sup>2</sup>; y Toluca con 1,811.71 hab/km<sup>2</sup>. La distribución de la población según el tamaño de localidad se presenta principalmente urbana (población que vive en localidades con más de 15,000 habitantes), con el 55.34%; mixta el 29.36% (población que vive en localidades de 2,500 y 14,999) y rural el 15.30% (población que vive en localidades menores de 2,500 habitantes). Los municipios con mayor porcentaje de población urbana son; San Mateo Atenco (93.5%); Toluca (77.28%) y Metepec (76.51%), mapa no 1.

### 3.2 Características socioeconómicas

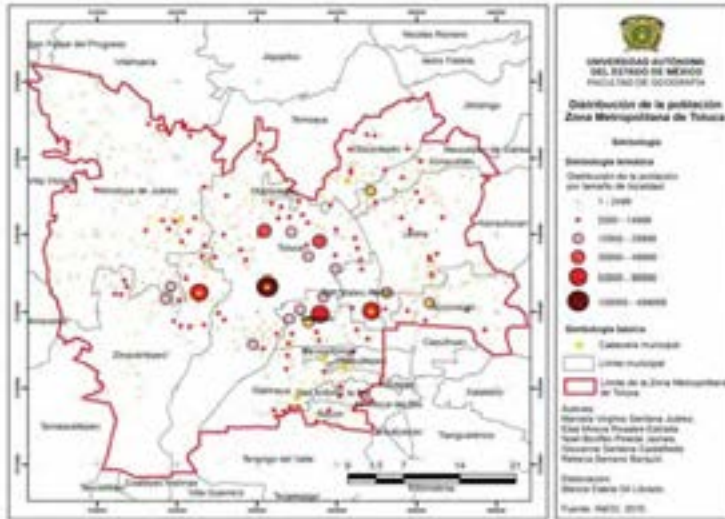
Con base en el Consejo Estatal de Población (COESPO), el grado de marginación y el grado de rezago se registra en forma diferente en la zona de estudio, del total de municipios que conforman la ZMT, nueve tienen muy bajo grado en ambos indicadores, son los que presentan las mejores condiciones sociales; tres municipios registraron bajo grado de marginación y muy bajo grado de rezago, estos son: Calimaya, Xonacatlán y Zinacantepec. Almoloya de Juárez registro grado medio en ambos indicadores, que son condiciones sociales intermedias y Otzolotepec el cual presenta grado medio y bajo respectivamente. Lo que significa que se trata de municipios con necesidades sociales más o menos homogéneas.

De acuerdo al Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el índice de desarrollo humano, se integra a partir del índice de salud, el índice de

educación y el índice de ingreso.

Para el 2005 el Estado de México se registró entre las entidades con desarrollo humano alto (IDH mayor o igual a 0.80) el cual fue menor al nacional de 0.82.

Figura 1. Mapa no 1. Distribución de la Población, Zona Metropolitana de Toluca



En la ZMT se presentan contrastes, los mejores municipios con IDH muy alto se registraron en Metepec y Toluca; Lerma, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Rayón, San Antonio la Isla, y San Mateo Atenco presentaron IDH alto. Los municipios restantes registraron un IDH medio y bajo, lo que indica que las condiciones sociales son diferenciales en la ZMT.

La globalización tiene efectos en las actividades terciarias, que inciden en el resto de la economía. En este sentido en la zona de estudio se registra un cambio significativo en las actividades económicas de industriales a servicios. Para el 2010, la población ocupada en la ZMT suman 701,638 personas, de las cuales el 64.7% corresponden al sector servicios; el 31.1% a industria y el 3.17% a la agricultura, ganadería, y acuicultura.

En los municipios de Metepec, Mexicaltzingo y Toluca, la población ocupada impera en actividades de servicios, principalmente especializados en educación, comercio y salud, entre otras ramas. En los municipios de Lerma, Otzolotepec y San Mateo Atenco la actividad predominante es la industria. Por su parte los municipios de San Antonio La Isla, Calimaya y Rayón registran una población ocupada

principalmente en agricultura, ganadería y acuacultura.

### 3.3 Características ambientales

De acuerdo al INEGI (2010), los usos del suelo en esta zona se caracterizan por el predominio de superficie agrícola con el 57.12% de la superficie total; de pastizal el 10.29%; de bosque el 16.35%; de asentamientos humanos el 16.22%; y de superficie de cuerpos de agua el 0.96%.

Los municipios con los mayores porcentajes de superficie agrícola son: Chapultepec, San Antonio la Isla, Almoloya del Río y Calimaya con más del 77% de su superficie respectivamente. En relación a la superficie de pastizal el municipio de Mexicaltzingo ocupa el mayor porcentaje de su superficie con el 18.57%. El municipio de Ocoyoacac registra el mayor porcentaje de bosque con el 32.04% de su superficie. Por otra parte los municipios de San Mateo Atenco y Metepec ocupan los mayores porcentajes del uso de asentamientos humanos con el 43.94% y el 33.23% respectivamente.

Por último la superficie de cuerpos de agua que se presentan principalmente en los municipios de Almoloya de Juárez y Toluca que indican el 2.02% y 1.61% de sus superficies (mapa no. 2).

Uno de los problemas fuertes actuales en la ZMT es el relacionado con la erosión laminar, de acuerdo a la cartografía de erosión laminar de Juan Castro y Giovanna Santana, (2012), la erosión laminar es fuerte principalmente al oriente y poniente de la ZMT, que coincide con el uso de suelo de bosques de coníferas y al noroeste con uso agrícola y constituyen el potencial para la recarga de mantos acuíferos; por lo que es importante puntualizar estrategias para disminuir la erosión. Los municipios que presentan esta problemática son: Oztolotepec, Xonacatlán, Lerma, Ocoyoacac, Toluca, Zinacantepec y Almoloya de Juárez, (mapa no. 3).

#### 3.4 Salud.

La salud humana como resultado de factores de diversa índole, como los socioeconómicos, ambientales y las políticas públicas que también inciden en ella, y que en este caso se relacionan con la cobertura de salud y los tipos de causas de la mortalidad y morbilidad.

En relación a la cobertura, no se ha incrementado en el IMSS ni en el ISSSTE, en las áreas urbanas; pero se ha incrementado significativamente el seguro popular, principalmente en las áreas rurales. Este último no cuenta con infraestructura

propia, por lo que se atiende a los pacientes en el IMSS y ello agrava los problemas principalmente de la calidad del servicio en ámbitos urbanos.

Figura 2. Mapa no 2. Usos de suelo de la Zona Metropolitana de Toluca, 2010

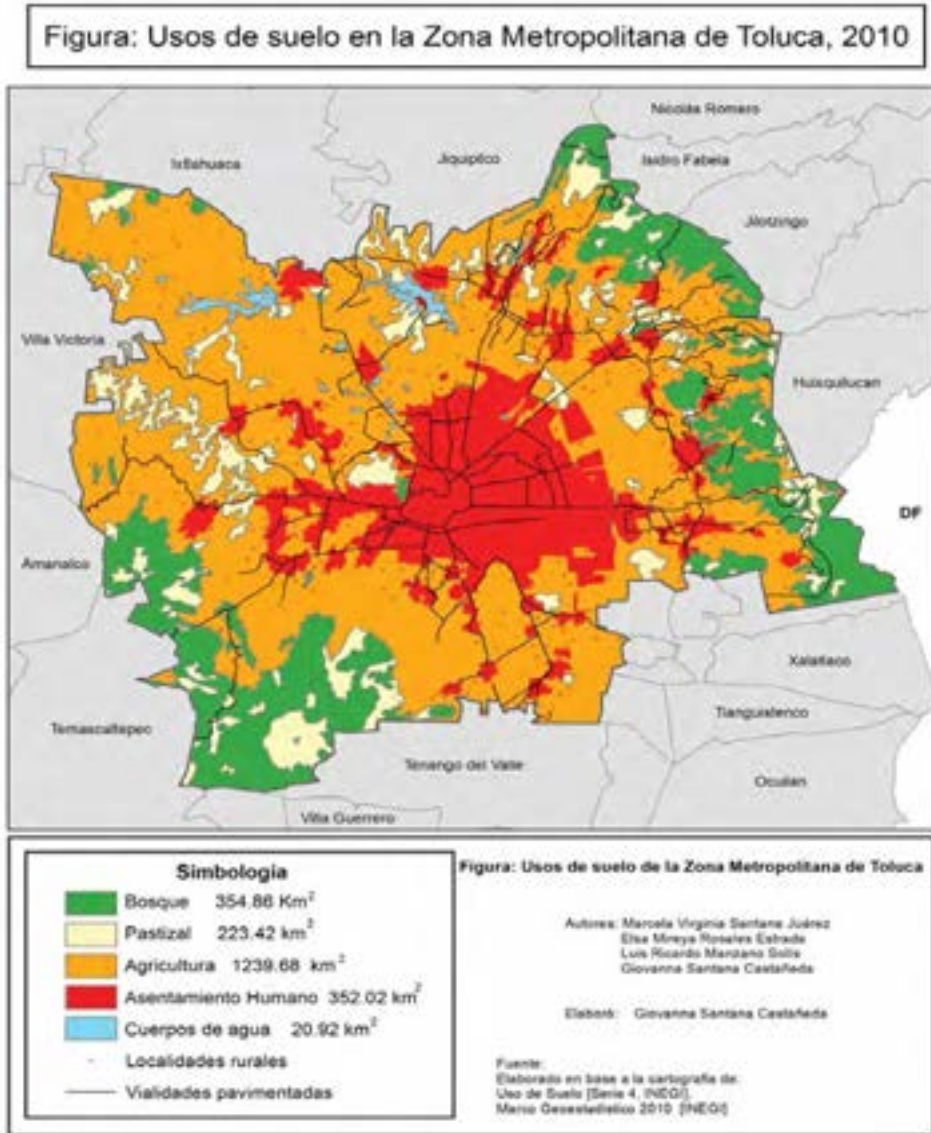
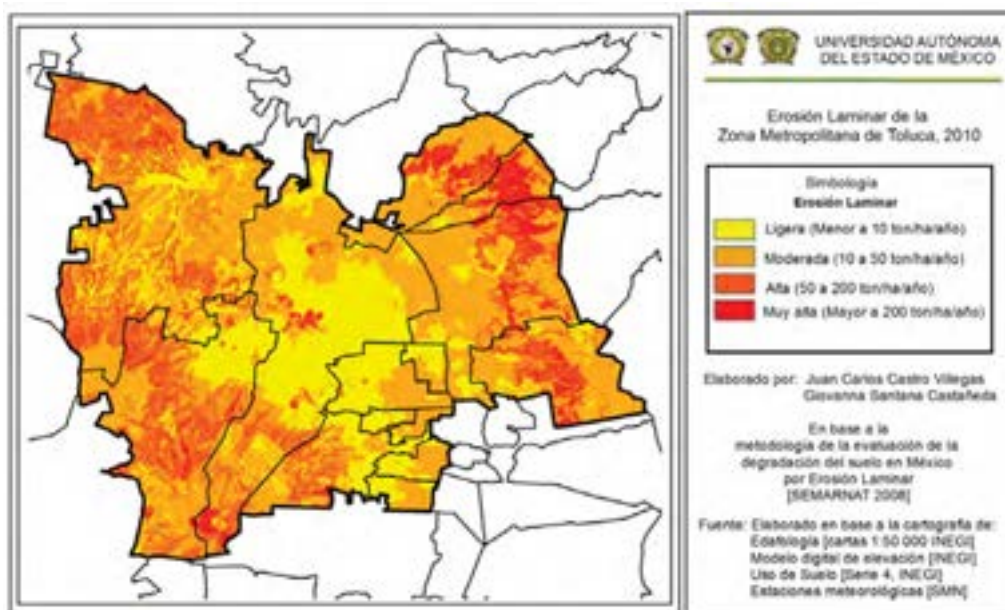


Figura 3. Mapa no 3. Erosión laminar de la Zona Metropolitana de Toluca, 2010



Con respecto a la distribución de los servicios de salud, la cobertura a nivel nacional, para el 2010 se incrementó, cubriendo el 64.55% de la población total. Sin embargo, no se incrementó la cobertura del IMSS, ni del ISSSTE, por lo que el Seguro Popular tiene un papel importante para satisfacer las necesidades de la población principalmente en ámbitos rurales.

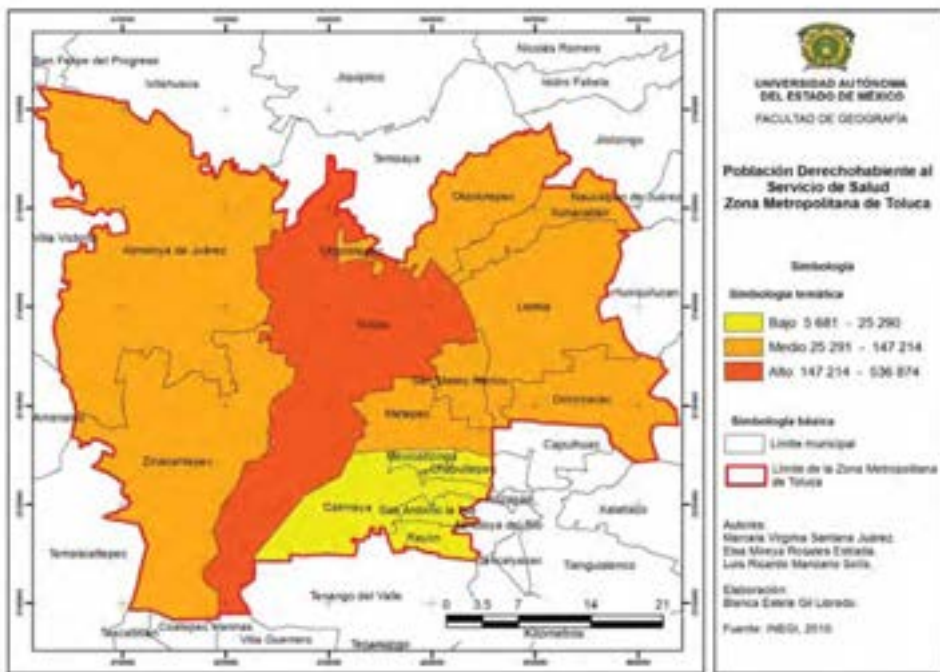
A nivel del Estado de México, la población derechohabiente representa el 58% de la población total: el IMSS cubre el 50.77% de la población derechohabiente (PDH); el Seguro Popular el 30.15%; el ISSSTE el 11.61% y el ISSEMYM el 3.5%.

La distribución de los servicios de salud en la ZMT de Toluca, es cubierta principalmente por el IMSS (45.91%), por el seguro popular (32.70%) y por el ISSSTE (14.59%) del total de la PDH. La población derechohabiente representa en promedio 64.9% de la población total. La cobertura por tipo de institución presenta una diferenciación espacial y desigualdades entre los municipios: aquellos con los porcentajes mayores de PDH son Chapultepec (74.69%), Metepec (68.74%), San Antonio la Isla (67.49%) y Rayón (66.56%), en los que predomina la población cubierta principalmente por el IMSS, y en menores porcentajes por el seguro popular. En el caso de Metepec también el ISSSTE tiene participación significativa.

En el año 2010, la distribución de los recursos humanos para la salud presentó desigualdades significativas. El personal médico en la ZMT suman 3474, que indican el 19.26% del total estatal. La mayoría se concentra en el municipio de Toluca con 2,601 (el 74.87% del total de la ZMT). La calidad del servicio se refleja en la proporción de habitantes por médicos. Los municipios de Ocoyoacac, Calimaya y Almoloya de Juárez registran 3090, 2940 y 2171 habitantes por médico en contraste con Toluca que es de 315 hab/méd. El personal médico del IMSS, del DIF, del ISSEMYM y del ISEM se concentra en el municipio de Toluca; del ISSSTE en el municipio de Metepec.

La ZMT incluye 246 unidades médicas que representan el 13.7% del total estatal. El municipio de Toluca concentra 101 instalaciones y es el 41% de las unidades médicas de la ZMT, cuenta con 90 de consulta externa, cinco hospitales generales y seis hospitales especializados, (mapa no. 4).

Figura 4. Mapa no 4. Población derechohabiente al servicio de salud



En relación a las causas de mortalidad, estas tienen relación con la obesidad y enfermedades de tipo crónico degenerativo, así como también de tipo infeccioso.

De acuerdo al Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), para el 2010, la ZMT registró un total de 8052 defunciones, con una tasa bruta de mortalidad de 43.61 por 1000 habitantes, inferior a la estatal que fue de 45.0. La distribución de la mortalidad general se presentó en forma diferenciada en el contexto de la ZMT: los municipios que registraron tasa de mortalidad general alta son: Mexicaltzingo (58.91) y Xonacatlán (53.96).

En relación a la mortalidad infantil, se presentaron 663 defunciones de menores de un año, con una tasa de 17 por 1000 nacidos vivos. Los municipios con tasas altas son: Xonacatlán (23), Ocoyoacac (22), Almoloya de Juárez (19), San Mateo Atenco (19) y Zinacantepec (19).

Las causas más frecuentes de mortalidad son de tipo crónico degenerativo: diabetes mellitus, con un total 1552 defunciones y una tasa de 84.7 por 100,000 habitantes, la cual es superior a la estatal; las enfermedades isquémicas del corazón, con 760 defunciones y tasa de 41.17; los Tumores malignos con 577 defunciones y una tasa de 31.25; la cirrosis y otras enfermedades del hígado, con 466 defunciones y una tasa de 25.24; por último las enfermedades cerebrovasculares con 362 defunciones y una tasa de mortalidad de 19.61, con tasas inferiores a la estatal.

En relación a la mortalidad específica por grupos de edad, en la ZMT, el grupo más vulnerable es la población pos-productiva, con la mayor tasa de mortalidad, la cual es de 4,955 por 100,000 habitantes; le sigue la mortalidad de menores de un año con 2000 por 100,000; en seguida el grupo de población de 1 a 4 años con 543; posteriormente la población productiva con 261 y por último el grupo de población de 5 a 14 años de edad, con 30.63 por 100,000.

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se enfatizó la salud desde el punto de vista holístico, en la que inciden diversos factores reconociendo al entorno que también incide en el estado físico de la población. Por tanto para conseguir y mantener el bienestar físico, psíquico, social y medioambiental de las personas, se requiere de un entorno natural en equilibrio ecológico, aunado a la infraestructura y personal especializado para la atención de la población, estos factores posibilitan estilos de vida sanos.

La Zona Metropolitana de Toluca con 14 municipios presenta características urbanas y también rurales, sin embargo, se mantienen relaciones de dependencia entre ellos. La ciudad central es Toluca capital del estado más grande en nú-

mero de habitantes de México. Metepec se presenta con fortalezas desde el punto de vista comercial y de vivienda, Lerma contrasta con un proceso de consolidación industrial, el resto de los municipios compiten estrechamente, cuyas características intrínsecas les proporcionan ventajas relacionadas a los tres municipios mencionados.

De acuerdo a los usos de suelo la mayor parte agrícola y una cantidad pequeña de bosque, circunstancia que evidencia una falta de equilibrio para la captura de carbono en una región de casi dos millones de habitantes.

Cabe destacar que del total de municipios, el 64% registraron grado de marginación muy bajo; el 85.71% registró rezago social medio alto y el índice de desarrollo humano, en el 7.1% es muy alto y el 50% es alto. Lo que indica que al interior de la ZMT existen diferenciales socioeconómicas.

A pesar de los datos arriba señalados la población con derecho a la asistencia de salud pública en el Estado de México asciende a 58% y en la Zona Metropolitana es de casi 65%, por lo que todavía aún falta mucho que hacer para mejorar la salud de la población. Se presenta el problema de concentración de recursos, en específico del personal médico, debido a que el 74.87% se localiza en el municipio de Toluca. Lo mismo sucede con los recursos materiales, como las unidades médicas ya que el 41% se concentran en este municipio.

En la ZMT, las tasas de mortalidad general son diferenciales, aquellos municipios con las mayores tasas son Mexicaltzingo y Xonacatlán con características socioeconómicas medias y altas. Las tasas específicas de mortalidad también se registran en forma diferencial al interior de la ZMT. En relación a la diabetes mellitus, aquellos municipios con las mayores tasas son Chapultepec, Xonacatlán y Ocoyoacac; por enfermedades isquémicas del corazón las mayores tasas se registran en Toluca, Calimaya y Ocoyoacac. En relación a los tumores malignos las mayores tasas se registran en Mexicaltzingo, Toluca y Metepec con características socioeconómicas altas y muy altas. Con respecto a las enfermedades cerebrovasculares las mayores tasas de mortalidad se registraron en Chapultepec, San Mateo Atenco y San Antonio la Isla. Por último la causa por cirrosis y otras enfermedades del hígado, los municipios con las mayores tasas son Almoloya de Juárez, Chapultepec, San Mateo Atenco y San Antonio la Isla.

La metodología de ordenamiento territorial permite caracterizar esta etapa de la investigación con la finalidad de lograr una visión integral de la salud humana y su especialización en el territorio. A fin de proponer una ordenación territorial para



la construcción de ciudades saludables que prioricen un crecimiento urbano ordenado y funcional, que incluya espacios públicos, vías de comunicación y transporte funcionales y lugares saludables dignos de las personas que habitamos la ciudad.

Las alternativas de desconcentración de servicios de salud en Toluca se vislumbran complejos, sin embargo la atención especializada en los municipios, de lograr incidir en la atención a cada municipio de acuerdo al perfil epidemiológico se estaría en la condición de transición hacia la construcción de ciudades saludables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Castro, Juan y Santana, Giovanna (2012). Cartografía de erosión laminar de los municipios de la Zona Metropolitana de Toluca, 2010. México: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México. Inédito.
- Farinós Joaquín (2011). “Capítulo Gobierno: buen gobierno, gobernanza y gobernabilidad de los territorios. Más de lo mismo no será suficiente”. En *Dinámicas territoriales, políticas de desarrollo territorial sostenible y nueva gobernanza territorial en el espacio Iberoamericano. Conceptos, métodos y tendencias*. (Olmos, A; Massiris, A.; Farinós J.; Santana M; Rosales E. Comp.). Toluca, México: II Workshop de la Red Iberoamericana de Observación Territorial, pp. 145-176.
- Gobierno del Estado México (2008), “Seguro popular”, [en línea] México. (Consultada el 15 de agosto del 2008). Disponible en: <http://www.seguro-popular.salud.gob.mx>
- Gobierno del Estado de México (2011). Sistema epidemiológico y estadístico de las defunciones, con base a datos del INEGI/SSA 2010. México: Instituto de Salud del Estado de México.
- Hancock Trevor and Duhl Leonard, (1988). “Promoting health in the urban”. WHO healthy cities papers no. Ed. WHO Healthy Cities
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de población y vivienda 2010. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) Anuario Estadístico del Estado de México. México

- Massiris, Angel (2011). "El desarrollo territorial sostenible en América Latina: Retos y perspectivas". *Dinámicas territoriales, políticas de desarrollo territorial sostenible y nueva gobernanza territorial en el espacio Iberoamericano. Conceptos, métodos y tendencias*. (En Olmos, A; Massiris, A.; Farinós J.; Santana M.; Rosales E, comp.). Toluca, México. II Workshop de la Red Iberoamericana de Observación Territorial, pp. 1-8. CD. ISBN: 978-607-00-5058-9, pp. 2-8.
- Organización Mundial de la Salud (1995). Veinte pasos para desarrollar un proyecto de ciudades saludables. Oficina regional de la OMS para Europa.
- Organización de las Naciones Unidas (1992). Agenda 21. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo (UNCED). Río de Janeiro. Brasil.
- Organización Panamericana de la Salud (2005). Municipios, ciudades y comunidades saludables. Recomendaciones para la evaluación dirigida a los responsables de las políticas en las Américas. Washington D.C.: OPS.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México (2009). "Indicadores de desarrollo humano y género en México 2000-2005". Producción creativa, diseño editorial. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825042448&pf=prod&ef=&f=2&cl=0&t-g=8&pg=0>>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo México (2011). "Informe sobre desarrollo humano, Estado de México. Equidad y política social". Disponible en: [http://www.undp.org.mx/img/pdf/IDH\\_Estado de Mexico\\_2011-2-pdf](http://www.undp.org.mx/img/pdf/IDH_Estado de Mexico_2011-2-pdf)
- Restrepo, Helena y Málaga, Hernán (2011). Promoción de la salud: cómo construir vida saludable. Ed. American Health Org.
- SEDESOL, CONAPO e INEGI (2008). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. México: SEDESOL/CONAPO/INEGI.

# *Caja de herramientas para la gestión de centros históricos*

Erika Argentina Zambrano Irías

## **Resumen**

En Honduras se han iniciado procesos de recuperación de centros históricos como una acción de la gestión urbana, con el fin de proteger el patrimonio cultural del país, entre las acciones identificadas se encuentra la documentación del patrimonio. Documentar el patrimonio requiere de criterios y metodologías que orienten la recolección de información y faciliten su posterior recuperación, por lo que se plantea la necesidad de identificar instrumentos que orienten estos procesos de gestión territorial.

El uso de la tecnología como el software especializado en datos cartográficos, es de gran utilidad en este tema; hoy en día los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una potente herramienta para el análisis socio-espacial y la planificación territorial. Como un aporte sustancial de la investigación de tesis: "Los sistemas de información geográfica como una herramienta tecnológica para la gestión del patrimonio", se ha generado conceptual y metodológicamente a partir de criterios técnicos, una **Caja de Herramientas para la Gestión de Centros Históricos**, con el fin de dar soporte tecnológico al proceso de gestión del patrimonio.

Se presentan los instrumentos necesarios para la construcción de sistemas de información geográfica, concebidos como herramienta de apoyo en la gestión del territorio, en este caso los centros históricos hondureños.

**Palabras clave:** SIG. Herramientas SIG. Gestión de centros históricos.

## **Abstract**

In Honduras as an action of urban management Historical Centers have initiated recovery processes, as goal to protect cultural patrimony. Among the identified actions in these processes, is the patrimony documentation. In order to facilitate later retrieval, several criteria and methodologies are required in the gathering of information. So that there is a need to identify instruments that guide these processes territorial management.

Technologies as well as specialized software in cartographic data are very useful in this area. Now days the systems of geographic information are a strong tool for the analysis socio - spatial and the territorial planning. As a substantial contribution of

the thesis investigation "The geographic information system as a technological tool for the patrimony management", has been generated conceptually and a methodologically since technical criteria, a box of tools for the historical centers management to provide technological support to the process patrimony management.

We present the necessary tools for building geographic information systems, designed as a support tool in the management of the territory, in this case historical centers Hondurans.

**Keywords:** GIS. Tools GIS. Management of historical centers.

---

**Erika Argentina Zambrano Irías** (erikazambranoi@yahoo.com). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Sociales, Maestría en Gestión Social Urbana. Centro Nacional Suizo de Competencia en Investigación Norte - Sur (NCCR North – South).

## 1. INTRODUCCIÓN

La participación con esta comunicación parte del producto central de la tesis: “Los sistemas de información geográfica como una herramienta tecnológica en la gestión de centros históricos en Honduras”.

Se logran identificar una serie de herramientas básicas que en su conjunto facilitan el proceso de gestión de centros históricos, pero que a su vez la versatilidad, flexibilidad y tendencias en el desarrollo tecnológico permite incorporar otros instrumentos conforme a la necesidad de cada territorio. Esta identificación y aplicación de herramientas nos permite validar la potencialidad de los SIG.

Presentamos la metodología utilizada para la concepción de la caja de herramientas, las orientaciones teóricas que nos permiten desarrollar el tema, los instrumentos que componen la caja de herramientas y las conclusiones preliminares de este estudio.

La caja de herramientas está compuesta por cinco herramientas básicas, estas a su vez (en algunos casos) disponen de instrumentos que se presentan y son descritos brevemente en este documento: 1) Flujograma de información para la gestión territorial del patrimonio cultural 2) Instrumentos para la delimitación del centro histórico 3) Inventario de bienes inmuebles de la República de Honduras 4) Software SIG y 5) Datos cartográficos.

## 2. APUNTES METODOLÓGICOS

Esta propuesta se realiza con el fin de proporcionar las herramientas que faciliten el vínculo entre dos áreas del conocimiento: la gestión del patrimonio cultural, particularmente los centros históricos y los SIG

Para la construcción de esta caja de herramientas, metodológicamente partimos de la definición de SIG y sus componentes, así como de los procesos de gestión del patrimonio cultural, específicamente el patrimonio tangible en el cual están catalogados los centros históricos.

El objeto de aplicación de esta comunicación son los centros históricos y considerando que este tema es solo una parte de una investigación más extensa, es pertinente explicitar que el primer instrumento que ofrece la caja de herramientas es un flujograma de información y recursos disponibles para la gestión territorial del patrimonio cultural.

Los instrumentos que componen la caja de herramientas son producto de los procesos obtenidos en el flujograma de información y se describen conforme a los componentes de un SIG; los datos, el software, el hardware, los métodos y el recurso humano.

Inicialmente se realiza la búsqueda e identificación de instrumentos disponibles; elementos jurídicos, normativos y manuales de gestión de los centros históricos hondureños.

Paralelamente se definieron los elementos (instrumentos) de la caja de herramientas, que son clasificados temáticamente a partir de los componentes de un SIG, se determinó una escala de prioridades teniendo como punto de partida las deficiencias, vacíos y el desaprovechamiento de recursos. Los datos, el software y los métodos fueron los elementos seleccionados para ser desarrollados con mayor precisión. Definidos los componentes principales se determinan los instrumentos específicos.

Finalmente se diseña una propuesta conceptual y metodológica de la caja de herramientas para SIG de centros históricos, presentando los elementos disponibles, su utilización y el proceso de construcción de capas temáticas que facilitaran la gestión de centros históricos a partir de recursos disponibles. Se ha hecho uso de Google Earth y del software Quantum GIS versión 1.8.0 Lisboa para la presentación de imágenes.

El proceso de esta investigación presenta las herramientas que a partir de una planificación sistemática, facilitan los procesos de gestión territorial como es el caso los de los centros históricos hondureños.

### **3. MARCO CONCEPTUAL**

En esta sección presentamos los conceptos centrales que giran alrededor de esta comunicación, los centros históricos como contexto de aplicabilidad y los SIG como herramienta tecnológica para la gestión de este territorio.

#### **3.1 Centros Históricos**

Toda ciudad posee un núcleo original, que en la actualidad y para las futuras generaciones conserva la historia de sus antepasados, posee un valor patrimonial, y en la mayoría de los casos, son espacios donde se han establecido las principales actividades político-administrativas y económicas de nuestras ciudades.

En la recomendación de la UNESCO (1976) relativa a la salvaguardia de los conjuntos históricos y su función en la vida contemporánea, los centros históricos:

“Se considera *conjunto histórico o tradicional* todo grupo de construcciones, y de espacios, inclusive los lugares arqueológicos y paleontológicos, que constituyan un asentamiento humano tanto en medio urbano como en medio rural y cuya cohesión y valor son reconocidos desde el punto de vista arqueológico, arquitectónico, prehistórico, histórico, estético o sociocultural. Entre esos ‘conjuntos’, que son muy variados, pueden distinguirse en especial: los lugares prehistóricos, las ciudades históricas, los antiguos barrios urbanos, las aldeas y los caseríos, así como los conjuntos monumentales homogéneos, quedando entendido que estos últimos deberán por lo común ser conservados cuidadosamente sin alteración” (UNESCO, 1976, p. 142).

Se define la gestión de centros históricos como el conjunto de actuaciones destinadas a hacer efectivo el conocimiento, conservación y difusión de los bienes patrimoniales, lo que incluye ordenar y facilitar las intervenciones (físicas y culturales) que en el centro histórico se realice. (Abejón y Maldonado, 2006, p. 15).

Los conceptos de gestión del patrimonio y la definición particular de gestión de centros históricos, nos permite identificar tres acciones en el proceso de gestión del patrimonio cultural, que a su vez corresponden a la propia gestión de centros históricos: la planificación, el control y la difusión. Estas acciones deben ser desarrolladas conjuntamente (Ver Figura 1).

Figura 1: Procesos de gestión



Fuente: Elaboración propia.

**La planificación** es una actividad articuladora en el proceso de gestión, comprendiendo por planificar, la organización o estructuración de actividades, en un tiempo determinado, asignación de responsables y recursos necesarios para el logro de fines establecidos. La ejecución y la no ejecución de estas actividades, que normalmente se presentan a través de planes, programas y proyectos, deben ser vigiladas a través de la acción de **Control** con el fin de promover la toma de decisiones correctoras y preventivas. Finalmente es preciso **Difundir** a la sociedad (las comunidades) con el fin de dar a conocer los valores y bienes que se poseen, de tal manera que logren valorarlos, protegerlos y sobre todo disfrutarlos.

En Honduras el ente responsable de la gestión de los espacios geográficos denominados centros históricos es el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IAHAH), creado con el nombre de Instituto Nacional de Antropología e Historia mediante el Decreto No. 245 del 22 de julio de 1952, sin embargo “el proceso de delimitación y declaratoria de centros urbanos con valor histórico, antropológico y arquitectónico, comienza en el año de 1972 con la declaratoria del Centro Histórico de Comayagua” (AMHON-PGU, 2012, p. 10).

Esta en vigencia la Ley para la Protección del Patrimonio Cultural (PPC), Decreto 220-97, que constituye el marco legal en lo concerniente a la protección y conservación del Patrimonio Cultural de la Nación, el Estado a través de esta ley faculta al IAHAH para ello. Actualmente Honduras cuenta con 14 centros históricos declarados (Ver Mapa 1) y 15 en proceso de declaratoria.

Mapa 1: Centros Históricos Hondureños con declaratoria mediante Decreto - Marzo 1013





### 3.2 Sistemas de información geográfica

La relevancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) conocido también por sus siglas en inglés Geographic Information System (GIS), es la utilidad que estos brindan a la gestión, planificación y ordenación del territorio.

Distintos autores han conceptualizado los SIG, algunos de ellos acentúan su componente de base de datos, otros sus funcionalidades y otros enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todos coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones. A partir de la identificación de los elementos esenciales de una discusión teórica hemos definido los *"SIG como un sistema compuesto de hardware, software, recursos humanos, datos y métodos para la captura, relación, análisis, actualización y representación territorial de un **espacio físico determinado**"* (Ver Figura 2).

Figura 2: SIG



Fuente: Elaboración propia.

Describimos brevemente los elementos que componen los SIG, los instrumentos o herramientas que componen la caja son clasificados a partir de estos.

**Software (SF):** Esta definido como un conjunto de programas, instruccio-

nes y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora<sup>1</sup>. El SF SIG, es el encargado de realizar las operaciones y manipulación de los datos tanto geográficos como cuantitativos y cualitativos mediante el uso de bases de datos. Estos permiten visualizar datos geográficos y alfanuméricos en forma conjunta e integrada, administrar la información geográfica por capas y en distintos tipos y formatos, y desarrollar análisis espaciales sobre dichos conjuntos de datos con el fin de obtener nueva información (Piumetto, 2007).

**Hardware<sup>2</sup> (HW):** Es definido como el conjunto de los componentes físicos que integran un sistema de cómputo. Cuando nos referimos a hardware, hablamos de alguna plataforma de computador, son factibles el uso de modestos ordenadores personales los que conocemos como PC o potentes estaciones de trabajo. Para el desarrollo de SIG son de suma importancia otros dispositivos como las tablas digitalizadoras, escáneres, plotters o impresoras de carriles anchos, GPS, entre otros.

**Datos:** De acuerdo a la Real Academia Española, dato es: *antecedente necesario para llegar al conocimiento exacto de algo o para deducir las consecuencias legítimas de un hecho*. El dato o los datos por sí solos no tienen significado, pero son importantes ya que son la base para la creación de información, toman importancia cuando añadimos algún tipo de valor. Es decir, un número que no esté acompañado de un sustantivo, un adjetivo o un calificativo no nos proporciona información más que un número.

Los datos que utilizamos en un SIG son de tipo, espaciales y temáticos. Los datos espaciales pueden representarse a través de modelos; raster y vectorial, mientras que los datos temáticos pueden estar determinados por información cuantitativa o cualitativa, generalmente estructurados en bases de datos o tablas.

**Métodos:** Se entiende por método una ruta que nos lleva a un destino, pasos o procedimientos a seguir para la obtención de un fin. Para la construcción de un SIG es indispensable una clara definición de objetivos y tareas, esto permitirá la optimización de datos y recursos tecnológicos así como la correcta selección de los demás componentes de un SIG. El uso de esos recursos será más eficiente.

**Recursos humanos:** De acuerdo con Chiavento (2001), los recursos huma-

<sup>1</sup> Una palabra del vocabulario inglés pero que ya ha sido aceptada por la Real Academia Española, la definición es tomada del Diccionario de la RAE.

<sup>2</sup> Ibid.

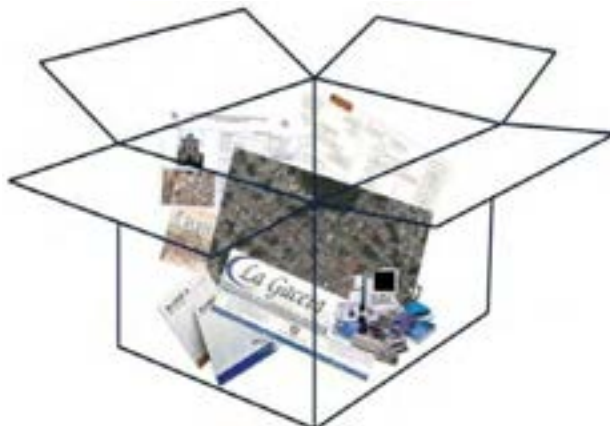
nos son personas que ingresan, permanecen y participan en una organización, en cualquier nivel jerárquico, realizando cualquier tarea. En cuanto al recurso humano SIG quizás sea el componente más complejo, la conformación de equipos, la capacitación y actualización permanente de estos, la especialización en las diferentes áreas de implicación en los SIG, significan una alta inversión en cuanto recurso tiempo y costo económico. Los SIG son herramientas utilizadas en diferentes disciplinas por lo tanto han dejado de ser un campo de y para expertos del sector.

#### 4. CAJA DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE CENTROS HISTÓRICOS

Entenderemos por caja de herramientas; el conjunto de instrumentos o herramientas que facilitan la construcción de un determinado bien, a partir de esta definición de construcción propia y para efectos de esta investigación; una caja de herramientas SIG consistirá en el conjunto de instrumentos o herramientas básicas que facilitaran la construcción de un sistema de información geográfica para centros históricos, investigaciones posteriores podrán nutrir esta herramienta con nuevos elementos (Ver Figura 3).

Como se presenta en el referente teórico, los componentes de un SIG son: los datos, el software, el hardware, el recurso humano y los métodos. Los datos y el software, pueden representar la mayor inversión de recursos (tiempo y dinero) en proyectos SIG, en ese sentido, la caja de herramientas se abre a la posibilidad de estar compuesta por instrumentos o herramientas existentes, como por ejemplo el Inventario Nacional de Bienes Inmuebles elaborado por el IHAH y las municipalidades, una fuente primaria de datos y la promoción del uso de software libre.

Figura 3: Contenido de la caja de herramientas



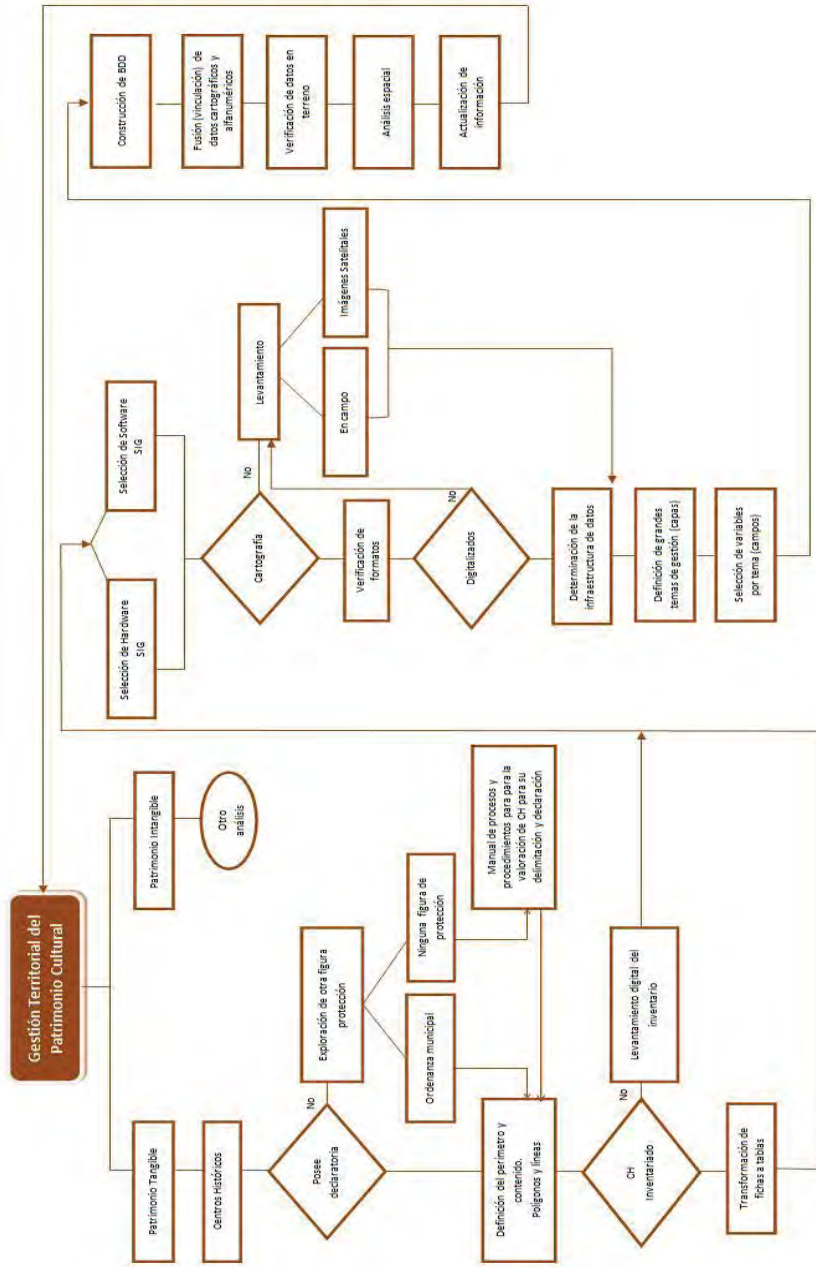
Fuente: Elaboración propia.

A continuación describimos cada una de las herramientas que componen la caja que facilitarán la construcción de SIG para la gestión de los centros históricos hondureños:

#### **4.1 Herramienta N° 1: Flujograma de información para la gestión territorial del patrimonio cultural**

Tal como su nombre lo indica se presenta un flujograma que determina los pasos o procesos a seguir para la construcción de un SIG y facilitar con este la gestión territorial del patrimonio, particularmente los centros históricos (Ver Figura 4).

Figura 4: Flujoograma para gestión territorial del patrimonio cultural. Fuente: Elaboración propia.



## 4.2 Herramienta N° 2: Instrumentos para la delimitación de centros históricos

De acuerdo con el vocabulario de Gestión del Patrimonio Cultural y del Turismo Cultural (Abejón y Maldonado s.f.) se define como delimitación del entorno, la fijación precisa del perímetro de protección de un inmueble con el fin de controlar y proteger las relaciones entre dicho inmueble y el entorno que lo rodea.

Se identifican dos figuras legales que permiten delimitar con precisión los centros históricos:

a) Conforme a la legislación hondureña y a los procesos establecidos por el Instituto Hondureño de Antropología e Historia, los centros históricos son declarados mediante decretos legislativos y acuerdos ejecutivos y b) En los sitios donde aun no se logra la declaratoria, es posible la existencia de una ordenanza municipal que especifique los límites geográficos con el fin de proteger el patrimonio.

Estos instrumentos nos permiten construir lo que conocemos como perímetro (polígono) así como los elementos principales de la estructura urbana: calles, avenidas, ríos (líneas) conformación de barrios, manzanas y lotes (polígonos) que conforman este territorio (Ver Figura 5).

Para los sitios que no cuentan con la declaratoria o con una ordenanza municipal, hemos identificado un valioso instrumento: el Manual de Procesos y Procedimientos para Valoración de Centros/Conjuntos Históricos para su Delimitación y Declaratoria, elaborado por la Asociación de Municipios de Honduras (AMHON) a través del Programa de Gestión Urbana en Centros Históricos con el apoyo del IHAH y la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo (AECID).

Figura 5: Delimitación y estructura urbana de del Centro Histórico de Comayagua



Fuente: Diario Oficial La Gaceta 1972 No. 20,869. Imagen Satelital *Google Earth* 2013

### 4.3 Herramienta N° 3: Inventario de bienes inmuebles de la República de Honduras

Es deber del IHAH la realización del inventario y registro nacional de los bienes culturales hondureños, en ese sentido esta institución con el apoyo de la cooperación internacional y las municipalidades ha estandarizado una serie de fichas que permiten la recolección de información; la ficha de inventario de edificios, la ficha de inventario de conjuntos históricos, la ficha de inventario de espacios públicos abiertos, entre otras.

La ficha que nos facilita la información para la gestión territorial del patrimonio es la de inventario de edificios, se recogen por lo menos 14 categorías temáticas, entre datos generales, régimen de propiedad, uso de suelo, marco legal, referencia histórica, esquema arquitectónico, datos arquitectónicos, características formales, descripción del inmueble, medidas, servicios, alteraciones tipológicas, patología del edificio y peligros potenciales.

La disponibilidad de esta información nos permitirá estructurar tablas o bases de datos que también forman parte de este conjunto de herramientas, se presentan algunas que se consideran prioritarias para la construcción del SIG (Ver Figura 6).

Figura 6: Estructura de datos

Identificación	Localización	Régimen de Propiedad	Uso de Suelo
Código del Edificio	Departamento	Nombre del Propietario	Tradicional
Clave Catastral IP	Municipio	Régimen de Propiedad	Actual
Clave Catastral Municipal	Ciudad/Aldea	Domnio	
Nombre Actual	Barrio/Caserío	Condición de Predio	
Nombre Tradicional	Dirección exacta		

Características del Inmueble	Alteraciones Tipológicas	Peligros potenciales	Patología del Edificio
Tipo de predio	Subdivisión del predio	Generales	Datos
Número de niveles	Modificaciones	Riesgos Externos	Causas
Línea de construcción	Eliminación de elementos estructurales	Otros riesgos	
Materiales paredes exteriores	Nuevos elementos	Exposición a Desastres	
Estado paredes exteriores			
Materiales paredes interiores			
Estado paredes interiores			
Tipo de techo			
Material de techo			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Herramienta N° 4: Software SIG

Existen en el mercado una serie de distintos paquetes de SIG, todos ellos realizan ciertas operaciones en común, pero cada uno presenta aspectos particulares en cuanto al modelo de datos espaciales que utiliza, operaciones que puede efectuar y cómo las realiza, la manera de almacenar los datos en la base de datos, capacidad y procesamiento de datos y otros (Gómez, Barredo 2005).

El Cuadro 1 nos muestra una descripción de algunos de los software SIG más reconocidos en nuestro contexto, tipo de licencia, principales productos, sus desarrolladores y el link de las páginas web para mayor exploración.



Cuadro No. 1 Algunos Software SIG

Nombre del Software	Tipo de Licencia	Principales productos/Aplicaciones	Desarrollador	Descripción/Potencialidades	Página Web
Arc GIS	Comercial	Arc Gis for Desktop Arc Gis for Server Arc Gis Online Arc Gis for Mobile	ESRI Environmental System Research Institute	Herramientas de Análisis Espacial Gestión de Datos	<a href="http://www.esri.com/">http://www.esri.com/</a>
Geo Server	Libre – GPL Licencia Pública General	Open Layer Geo Tool	Open Geo Geo Solutions Refractions Research	Compartir y editar datos geoespaciales (servidor de código abierto)	<a href="http://geoserver.org">http://geoserver.org</a>
Quantum GIS	Libre – GPL Licencia Pública General	Distintas versiones 1.0.0, 1.1.0, 1.2.0, 1.3.0, 1.4.0, 1.5.0, 1.6.0, 1.7.0 y 1.8.0	Equipo de Desarrolladores QGIS	Manejo de archivos vectoriales y raster de distintas fuentes Herramientas de Análisis Espacial Corre en todos los sistemas operativos	<a href="http://www.qgis.org/">http://www.qgis.org/</a>
GRASS Geographic Resources Analysis Support System	Libre – GPL Licencia Pública General	Distintas versiones la actual 6.4.3	Equipo de Desarrolladores GRASS	Manejo de archivos vectoriales y raster Creación gestión y almacenamiento de datos espaciales	<a href="http://grass.osgeo.org/">http://grass.osgeo.org/</a>

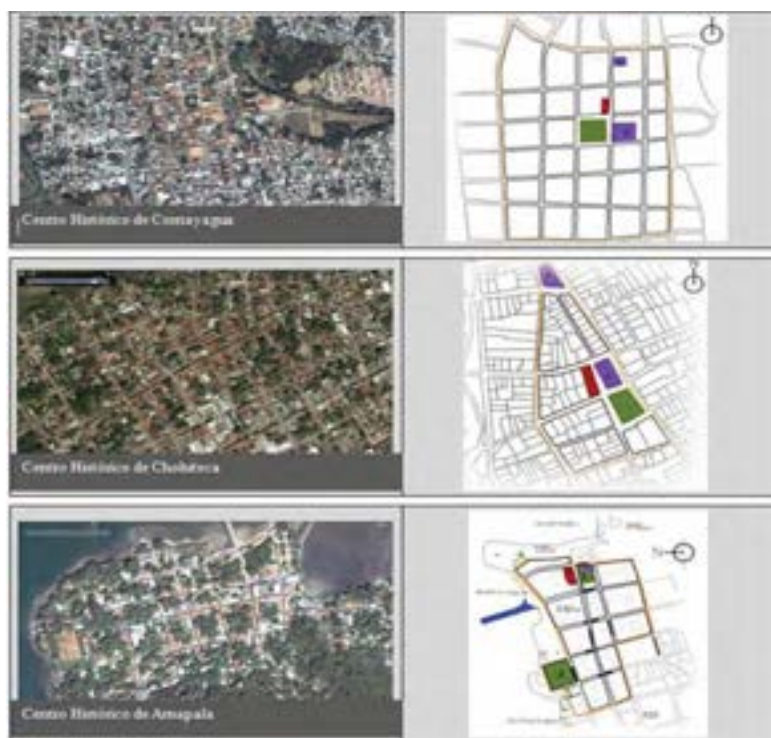
#### **4.5 Herramienta N° 5: Datos cartográficos, recursos disponibles de acceso gratuito**

Los catorce centros históricos declarados en Honduras disponen de levantamientos cartográficos, entre dibujos CAD, planos sin digitalizar y en algunos casos disponen de información cartográfica en formatos para SIG. La herramienta que aquí se presenta, facilita la digitalización (archivos shapefile), sobre todo para los sitios en los que la información aun no es digitalizada y para los centros históricos por declararse, Google Earth (GE).

Google Earth es un sistema informático basado en la tecnología de sistemas de información geográfica, su función principal y de uso común es visualización imágenes satelitales y mapas del globo terráqueo. La versión básica de GE es gratuita, dispone de otras versiones que tienen un costo y cuentan con características más especializadas entre ellas la resolución de las imágenes, Google Plus, Pro y Enterprise.

En la imagen No. 3 se muestra la disponibilidad de imágenes de centros históricos hondureños (de los catorce se dispone de doce con claridad en la imagen), todas tomadas de la versión básica. El sistema de coordenadas utilizado por GE es el WGS84, muy común en la cartografía hondureña lo que facilita de georeferenciación de las imágenes.

Figura 7: Disponibilidad de imágenes satelitales en GE



Fuente: Imágenes Google Earth y trabajos de la clase de Urbanismo de la Universidad Católica de Honduras (II período 2011)

## 5. CONCLUSIONES

Se dispone de un marco jurídico, instrumentos legales, producción de instrumentos institucionales; como las metodologías e inventarios realizados por el IHAH con el apoyo de diferentes instituciones y organizaciones, instrumentación que debe ser explotada para la extracción de datos que faciliten la gestión de los centros históricos y conforme a esta propuesta diseñar herramientas tecnológicas como los SIG, considerados una potente herramienta en la planificación territorial.

Los software SIG comerciales siguen presentando limitaciones en cuanto a adquisición por sus altos costos, hoy en día la disponibilidad de software gratis así como del internet, facilita el acceso y el conocimiento de estos paquetes. Las imágenes satelitales que nos ofrece el Google Earth básico, nos permiten contar con una cartografía base de mucha utilidad.

La caja de herramientas que hemos presentado, facilita la construcción de SIG para centros históricos, indistintamente de la tipología de estos, así como la posibilidad de utilizar los instrumentos y herramientas ya disponibles con el fin de evitar la duplicidad de esfuerzos, reducción en los costos, tiempos y promover la especialización del recurso humano.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abejon, Teresa y Maldonado, Ángeles (2006). "El vocabulario de gestión del turismo y del patrimonio cultural" CINDOC del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Disponible en: [http://www.gestioncultural.org/recursos\\_culturales.php?id\\_enlaces=140763](http://www.gestioncultural.org/recursos_culturales.php?id_enlaces=140763)
- Asociación de Municipios de Honduras, Programa de Gestión Urbana de Centros Históricos (2012). Manual de procesos y procedimientos para la valoración de centros/conjuntos históricos para su delimitación y declaratoria. Tegucigalpa: Gráficos Tegucigalpa.
- Chiavenato, Idalberto (2001). Administración de recursos humanos, McGrawHill, Interamericana S.A. 5ta edición.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), (1976). "Actas de la Conferencia General" 19ª reunión. Volumen 1, Resoluciones. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001140/114038s.pdf#page=137>
- Piumetto, Mario (2007). Conceptos básicos de Sistemas de Información Geográfica. Lincoln Institute of Land Policy, Educación a Distancia, Programa para América Latina.

# Aplicación de tecnologías de información geográfica en el análisis socio espacial

Mario René Baide Muñoz

## Resumen

Las tecnologías de información geográfica y los sistemas de posicionamiento global han sido fundamentales en el trabajo de campo y análisis de los datos de la investigación de tesis Asentamientos en laderas en Tegucigalpa: morfología y riesgo urbano, que busca aportar a las intervenciones en el tema de riesgo urbano vinculado a la forma de emplazamiento, las condiciones topográficas del sitio y el manejo de las aguas en asentamientos irregulares en laderas.

Se realizó un estudio de caso desde dos aproximaciones metodológicas: en primer lugar, la investigación social propiamente, que permitió estudiar las categorías de análisis socioeconómicas, factores de vulnerabilidad, recursos de la comunidad y los usos del suelo, por medio de técnicas participativas. Por otro lado, el análisis espacial, donde las variables refieren a la forma urbana del asentamiento y su relación con la topografía del sitio, los sistemas de agua y saneamiento, los sistemas constructivos, y las amenazas a las que la comunidad está expuesta.

Para llevar a cabo el análisis espacial, se utilizaron distintas herramientas de información geográfica que facilitaron el análisis de las pendientes del terreno, la localización de elementos naturales y construidos, el mapeo de la evolución del asentamiento en el tiempo, la elaboración de planos de estructura y forma urbana del asentamiento, y la elaboración de mapas de amenazas.

El modelo digital de elevación, que fue la base de esta parte del estudio, se realizó a partir de un levantamiento de la topografía del sitio haciendo uso de equipo GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global) con arreglo RTK (Cinémático de Tiempo Real), con el apoyo técnico del IHCIT-UNAH y el involucramiento de los pobladores de la comunidad.

**Palabras clave:** Análisis socio espacial. Aplicación de los SIG. Morfología urbana en laderas. Riesgos.

## Abstract

Geographical information technologies and global positioning systems have been fundamental tools in the research data analysis and fieldwork for the thesis "Settlements in Slopes in Tegucigalpa: Morphology and Urban Risk", which intends to

generate pertinent knowledge towards interventions regarding the urban risk linked to type of placement, topographical conditions of the site, and water management in irregular settlements located in slopes.

A case study was done from two methodological approximations: on one side, the proper social investigation, which allowed to study the socio-economical analysis categories, vulnerability factors and community resources, through participative techniques. On the other side, spatial analysis, where the variables refer to the urban form and structure of the settlement and its relation with the sites topography, the water and sanitation systems, the constructive systems and the hazards which the community is exposed to.

Different geographical information tools were used to conduct the spatial analysis. These tools eased the analysis of the terrain inclinations, the localization of natural and constructed elements, the mapping of the evolution of the settlement over time, the creation of structural and urban form of the settlement and the development of threat maps.

The Digital Elevation Model, which was the basis of this part of the study, was created from a topographical survey of the site, using GNSS (Global Navigation Satellite System) RTK (Real Time Kinematic), with technical support from IHCIT-UNAH and involvement of the inhabitants of the community.

**Keywords:** Socio spatial analysis. GIS application. Urban morphology in slope terrains. Risks.

---

**Mario Rene Baide Muñoz** ([mariobaidemunoz@gmail.com](mailto:mariobaidemunoz@gmail.com)). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Sociales, Maestría en Gestión Social Urbana. Centro Nacional Suizo de Competencia en Investigación Norte - Sur (NCCR North-South).

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente comunicación corresponde a la experiencia en la utilización de tecnologías de información geográfica en el proyecto de investigación de tesis de maestría Asentamientos en laderas en Tegucigalpa: morfología y riesgo urbano, específicamente en el levantamiento físico del sitio de estudio, generación de mapas temáticos, y su aplicación en técnicas participativas.

Se presentan, de forma general, los conceptos principales que definen el proyecto de investigación, así como su aproximación metodológica y los criterios para la selección del sitio de estudio. La comunicación se centra en la descripción de las técnicas aplicadas haciendo uso de las tecnologías de información geográfica, la pertinencia de las mismas con las variables de estudio, y finalmente los productos obtenidos con su aplicación.

## 2. MARCO CONCEPTUAL DEL ESTUDIO DE CASO

La investigación plantea la relación entre la intervención humana no planificada sobre el territorio y la generación de condiciones de riesgo de desastres, incorporando el manejo inadecuado de las aguas como factor detonante de desastres.

Con el fin de analizar el resultado de la intervención humana sobre el territorio se partió del concepto de morfología urbana, definida en el contexto de esta investigación como la configuración física del espacio urbano en sus tres dimensiones espaciales (largo, ancho y alto); siendo resultado de la modificación del entorno natural a través de adaptaciones tecnológicas condicionadas por la naturaleza física del territorio y la situación socioeconómica de los ocupantes (Caballero, 2012). La construcción y evolución de un asentamiento responde a una dinámica funcional constituida por un conjunto de actividades sociales, económicas y culturales que se llevan a cabo sobre una plataforma espacial.

El sitio de emplazamiento del asentamiento en estudio, la ladera, posee pendientes de terreno pronunciadas que requieren de medidas en armonía con las condiciones inherentes al sitio, como la construcción de edificaciones adaptadas al entorno, con movimientos de adecuación del terreno realizados con criterios técnicos, estructuras de contención y cimentaciones que se adapten al relieve, así como una infraestructura de soporte que atienda la estabilidad y el manejo de las aguas (Escobar, 2002).

Dadas las características físicas (geomorfológicas, geológicas e hidroló-

gicas) del terreno y la intervención sin planificación sobre el mismo, se asocia el concepto de riesgo de desastres desde la perspectiva de la construcción social del riesgo (Lavell, 1999) donde tienen especial importancia las amenazas del tipo socio-natural, que nacen cuando se da la intersección de la sociedad con la naturaleza, y surgen como consecuencia del inadecuado manejo del entorno natural del espacio construido.

Desde la remoción de la capa vegetal natural y la modificación de la topografía se cambia la dinámica del proceso natural del control de las aguas, con consecuencias graves si no se compensa con la construcción de sistemas adecuados de drenaje (Lavell, 1999). En el contexto del caso de estudio, el manejo inadecuado del agua y residuos sólidos incrementa las condiciones de riesgo inherentes a un terreno escarpado intervenido sin una adecuada planificación.

### 3. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA Y SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Partiendo de los conceptos de morfología urbana, riesgo de desastres y saneamiento ambiental en asentamientos irregulares en laderas, se diseñó una metodología de estudio de caso que permitiera analizar las variables relacionadas a la forma de emplazamiento del asentamiento, saneamiento ambiental, condiciones físicas del sitio y la dinámica funcional y organizacional, que constituyen un conjunto de factores que pueden incidir en la generación de condiciones de riesgo a desastres.

Al enfrentar un tema de investigación que requiere analizar variables físicas y espaciales, y por otro lado, estudiar variables referidas a dinámicas sociales, se planteó un abordaje desde dos aproximaciones metodológicas:

#### Aproximación desde el análisis espacial:

**A. Morfología urbana y función del espacio** (estudio de la forma urbana y su relación con la topografía del sitio, estructura urbana, dinámica funcional del hábitat, análisis físico del sitio).

#### Aproximación desde el análisis social

**B. Territorio y riesgo urbano** (situación socioeconómica de la población del barrio, reconstrucción histórica participativa, generación de un mapa de riesgos y recursos mediante un instrumento participativo con la comunidad del asentamiento).

El proceso partió con la definición de una serie de criterios que permitieran



escoger un asentamiento irregular en ladera que pudiera representar una realidad física, urbanística, social, y de exposición a amenaza de movimiento de ladera compartida por gran parte de los barrios y colonias informales de la zona urbana y periurbana de la ciudad: localización, geología del sitio de emplazamiento, topografía, estructura y forma urbana, proceso histórico de formación del asentamiento, organización comunitaria, ubicación en zona de riesgo, acceso y tipo de sistemas de agua y saneamiento, y situación actual respecto a proyectos de intervención estructural/no estructural por parte de las instituciones locales, nacionales y externas.

Se llevó a cabo una valoración de las siguientes colonias de la ciudad capital: Col. Villanueva, Col. Los Pinos, Col. Guillén, Col. Campo Cielo, Col. Nueva Oriental/Mirador de Oriente, y Bo. El Reparto. Los criterios que tuvieron un mayor peso en la escogencia del sitio de estudio de acuerdo a la pertinencia con los objetivos de la investigación fueron:

- a. Topografía
- b. Ubicación en zona de riesgo
- c. Niveles de organización comunitaria
- d. Forma/estructura urbana

Finalmente se seleccionó la colonia Nueva Oriental, asentamiento periurbano que nace como consecuencia de un proceso de toma de tierras desde el año 2002 en la periferia este de la ciudad inmerso en el mercado informal de tierras posterior al paso del huracán Mitch. Ubicado en una zona catalogada como altamente amenazada por movimientos de ladera (IHCIT-UNAH-UNDP, 2011), cuenta con una población de más de 2000 habitantes procedentes en su mayoría de otros asentamientos irregulares de la ciudad, que encontraron en el sitio una oportunidad de acceder a un lote propio. Además de la ausencia de infraestructura adecuada para enfrentar la amenaza de deslizamiento, la comunidad no tiene acceso a la red de agua potable ni al sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad.

#### **4. APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL ESTUDIO DE CASO**

Las tecnologías de información geográfica y los sistemas de posicionamiento global han sido fundamentales en el trabajo de campo y análisis de los datos de la investigación. Una de las dos aproximaciones que componen el planteamiento metodológico del estudio, el análisis espacial, incluye variables que refieren a la forma urbana del asentamiento y su relación con la topografía del sitio, la ubicación espacial de los componentes de los sistemas de agua y saneamiento, los sistemas constructivos, y las amenazas naturales, socionaturales y antrópicas

a las que la comunidad está expuesta.

El modelo digital de elevación, que fue la base de esta parte del estudio, se realizó a partir de un levantamiento de la topografía del sitio haciendo uso de equipo GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global) con arreglo RTK (Cinemático de Tiempo Real), llevando a cabo el análisis de los datos y la generación de mapas en Quantum Gis.

Por otro lado, el análisis sobre el proceso de construcción del asentamiento a lo largo de la historia se llevó a cabo mediante una técnica participativa donde las imágenes satelitales de distintos años disponibles en Google Earth se utilizaron como base para la discusión.

## **4.1 Técnicas aplicadas**

### *4.1.1 Evolución del asentamiento en la historia*

Como parte del taller correspondiente al tema de "Morfología y riesgo urbano" se llevó a cabo un ejercicio participativo de la evolución del asentamiento en la historia, haciendo uso de imágenes satelitales de los años disponibles en Google Earth (2003, 2007, 2008 y 2010) proyectadas en pantalla (Ver Figura 1), sobre las cuales los distintos participantes aportaron de manera dinámica e interactiva elementos que permitieron dibujar los sitios iniciales de emplazamiento, desplazamientos de la población y cambios en el uso del suelo, expansión de la colonia, y otros elementos relativos al crecimiento o densificación del asentamiento, así como identificar hitos y actores responsables del desarrollo de la comunidad (ver Tabla 1 y Figura 2).

Figura 1. Secuencia de imágenes de crecimiento del asentamiento y cronología de hitos



Tabla 1. Técnica: Evolución del asentamiento en la historia. Indicadores, variables y unidades de observación

Técnica: Evolución del asentamiento en la historia	Indicadores	Variables	Unidad de observación
<b>Morfología / Territorio y riesgo urbano</b> análisis socio espacial	- Sitio original del emplazamiento - Zonas de expansión - Hitos - Actores	<b>Historia del asentamiento</b>	<b>Proceso de construcción del asentamiento</b>

Figura 2. Ejercicio participativo de la evolución del asentamiento en la historia, haciendo uso de imágenes satelitales de los años disponibles en Google Earth (2003, 2007, 2008 y 2010)



#### 4.2.2 Levantamiento físico del sitio

Al momento de iniciar el trabajo de investigación en este sitio solo se contaba con un croquis elaborado con fines catastrales y con las imágenes satelitales disponibles en Google Earth.

Dada la naturaleza de la investigación era imprescindible contar con un levantamiento topográfico con curvas de nivel a cada 2.00 metros mínimo para poder elaborar un modelo digital de elevación que permitiera hacer un análisis de pendientes, así como poder ubicar los elementos que conforman físicamente el asentamiento para determinar los factores naturales condicionantes de riesgo y analizar la forma de emplazamiento del asentamiento respecto al terreno natural.

Debido al alto costo económico que significa la realización de un levanta-

miento topográfico de manera tradicional (teodolito y nivel, estación total), se optó por buscar otras alternativas que permitieran obtener el mínimo de información espacial requerida para llevar a cabo los análisis planteados en la metodología.

Se hizo una alianza con el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la UNAH, llevando a cabo el levantamiento de la topografía del sitio haciendo uso de equipo GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global) con arreglo RTK (Cinemático de Tiempo Real), con el apoyo técnico del IHCIT-UNAH y el involucramiento de los pobladores de la comunidad. Con los resultados del levantamiento fue posible, a partir de la construcción del Modelo Digital de Elevación (MDE) del sitio de estudio, el mapeo de las variables espaciales correspondientes a la estructura urbana, trama urbana, y los elementos del medio físico natural y construido que se constituyen en factores condicionantes del riesgo (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Levantamiento físico del sitio. Indicadores, variables y unidades de observación

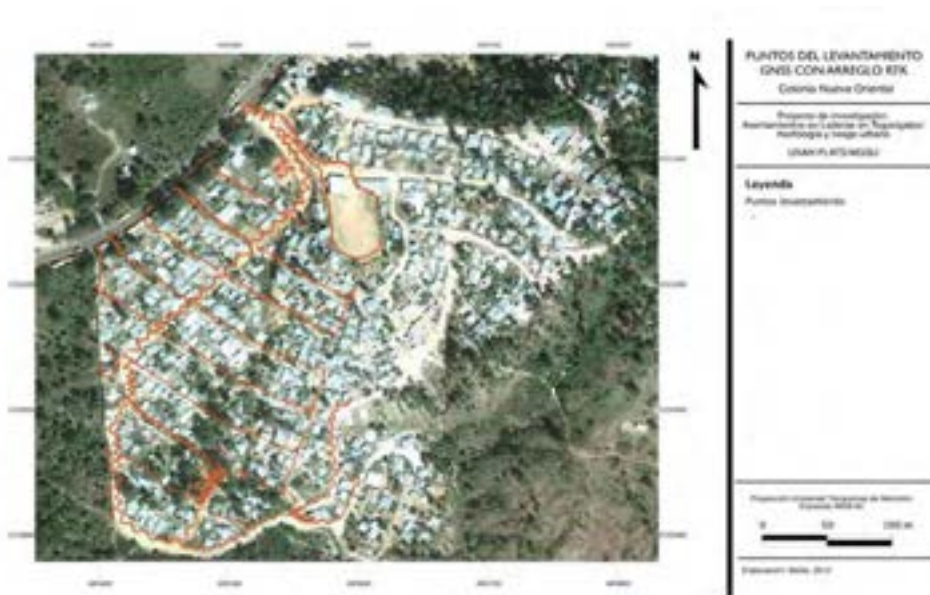
<b>Técnica:</b> <b>Levantamiento físico del sitio</b> <small>GNSS con arreglo RTK</small>	Indicadores	Variables	Unidad de observación
<b>Morfología urbana y función del espacio</b>  <small>análisis espacial</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura vial y peatonal</li> <li>- pendientes de calles</li> <li>- pendientes de callejones</li> <li>- Ancho</li> </ul>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Estructura Urbana</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límites naturales</li> <li>- Límites construidos</li> </ul>	<b>Jerarquización de vías</b>  <b>Límites</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calles de acceso y articulación con el resto de la ciudad</li> </ul>	<b>Conectividad</b>	
<b>Medio físico natural y construido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ortogonal</li> <li>- reticular</li> <li>- orgánica</li> <li>- Irregular</li> </ul>	<b>Tipología</b>	<b>Trama urbana</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- correderos naturales de invierno</li> <li>- quebradas</li> <li>- pozos</li> </ul>	<b>Hidrología</b>	<b>Elementos naturales y siconaturales</b> <small>factores condicionantes del riesgo</small>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- pendiente del terreno</li> <li>- cortes</li> <li>- taludes</li> <li>- terracería</li> </ul>	<b>Topografía</b>		

El levantamiento se inició con la instalación de una estación base en un punto fijo en la parte sur del área de estudio, la cual se mantuvo captando la señal satelital y corrigiendo la lectura del punto por un lapso de 4 horas. Posterior a esta primera etapa del levantamiento en el sitio, se hizo uso de la aplicación en línea Gipsy<sup>1</sup> para lograr una mayor corrección que permitiera obtener la precisión deseada.

La segunda visita al campo consistió en la instalación de la estación base de referencia en el punto definido en la visita previa, procediendo a realizar el recorrido con el rover GNSS por las vías principales, callejones, espacios públicos y límites del área de estudio.

El levantamiento tuvo una duración aproximada de 12 horas y dio como resultado una capa de 2816 puntos con sus coordenadas x,y,z (ver Mapa 1), que son la base para la generación del Modelo Digital de Elevación utilizado posteriormente en el análisis.

Mapa 1. Puntos del levantamiento GNSS con arreglo RTK

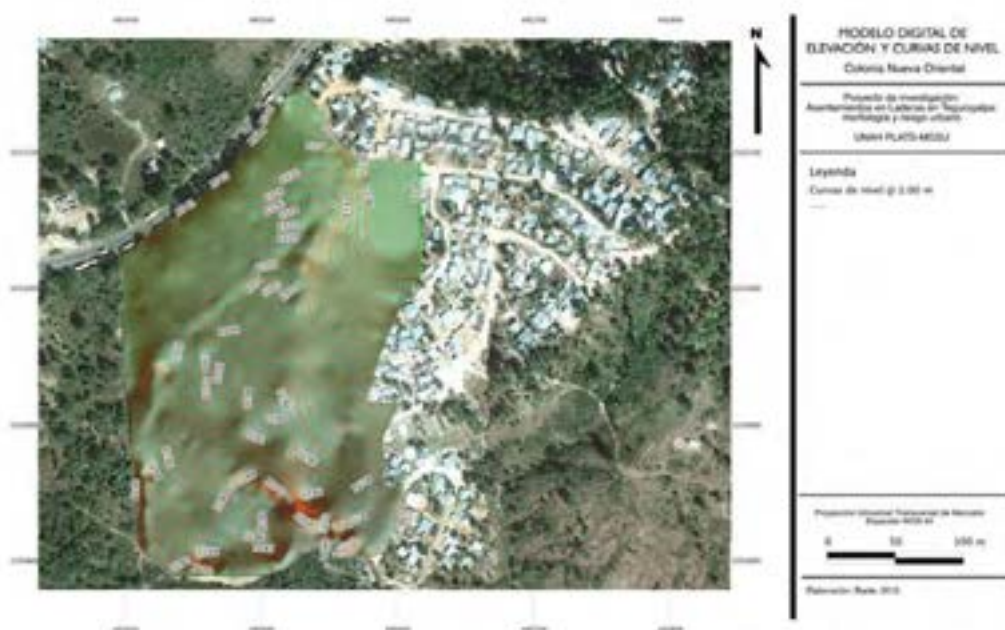


<sup>1</sup> Software científico para el procesado y ajuste de datos GNSS desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA.

## 4.2 Productos obtenidos

Para el procesamiento y análisis de los datos espaciales obtenidos en el levantamiento físico del sitio se utilizó el software SIG de licencia pública general Quantum GIS versión 1.8.0-Lisboa, en Mac OSX versión 10.7.5. A partir de la capa de puntos se obtuvo, mediante interpolación, el Modelo Digital de Elevación (ver Mapa 2), del cual se generaron las curvas de nivel a cada 2.00 metros (ver Mapa 2) y el mapa de pendientes (ver Mapa 3). El análisis se llevó a cabo utilizando los algoritmos de GRASS<sup>2</sup> contenidos en el SEXTANTE Toolbox<sup>3</sup>, específicamente los referidos a interpolación, curvas y análisis de pendientes.

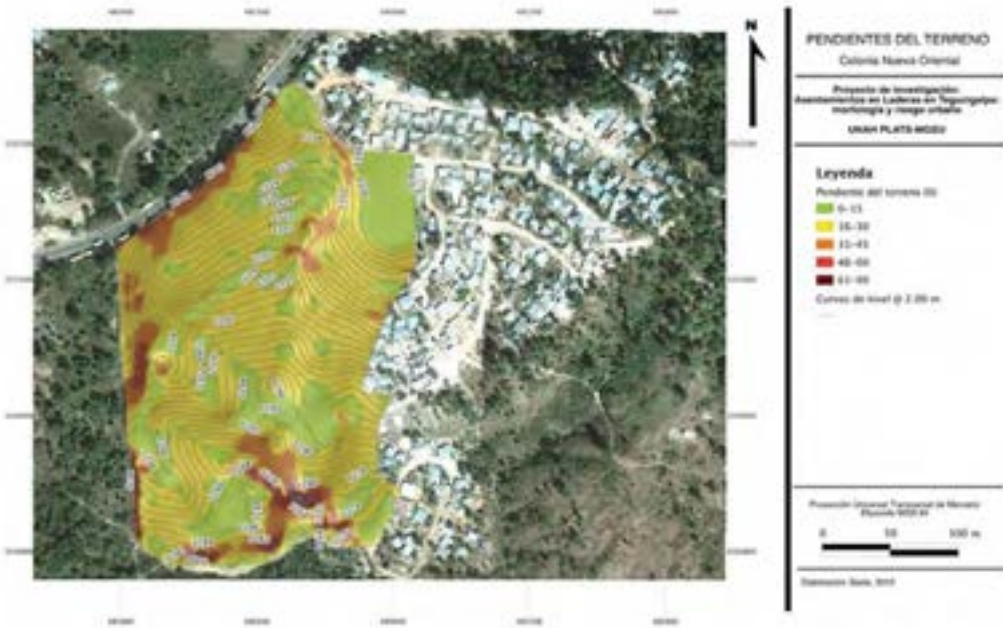
Mapa 2. Topografía del sitio de estudio



<sup>2</sup> GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), es un software de SIG gratuito utilizado para la gestión y análisis de datos geoespaciales, procesamiento de imágenes, producción de mapas y gráficos, modelado espacial y visualización.

<sup>3</sup> SEXTANTE Toolbox es un marco de proceso de datos espaciales que brinda capacidades avanzadas de análisis al Quantum GIS. Aparte de los algoritmos nativos, soporta aplicaciones externas como GRASS, SAGA o Orfeo Toolbox, facilitando su utilización en Quantum GIS e integrándolos en un marco común y homogéneo.

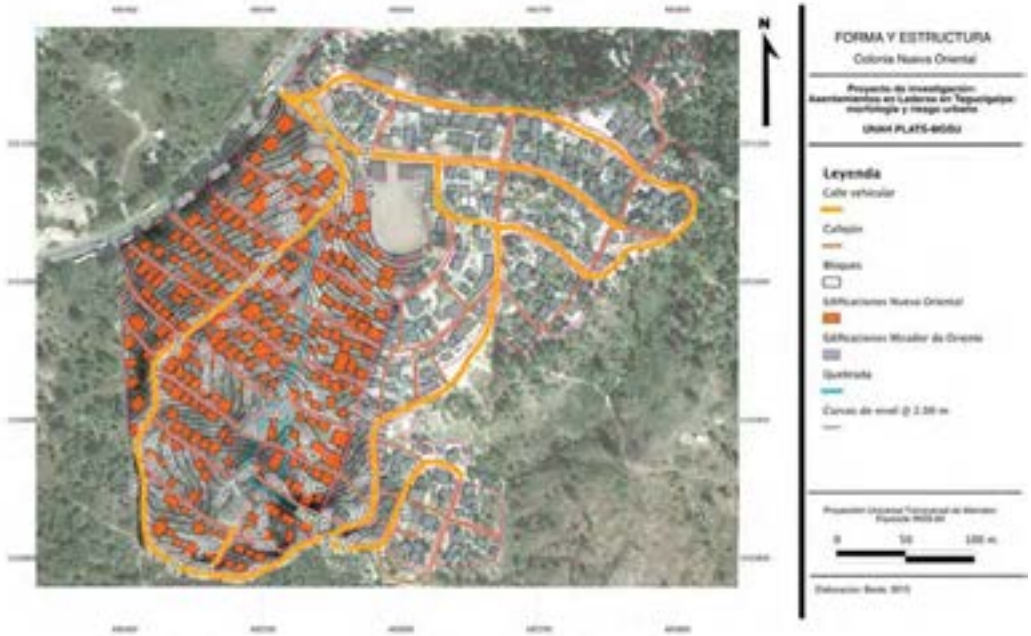
Mapa 3. Pendientes del terreno del sitio de estudio



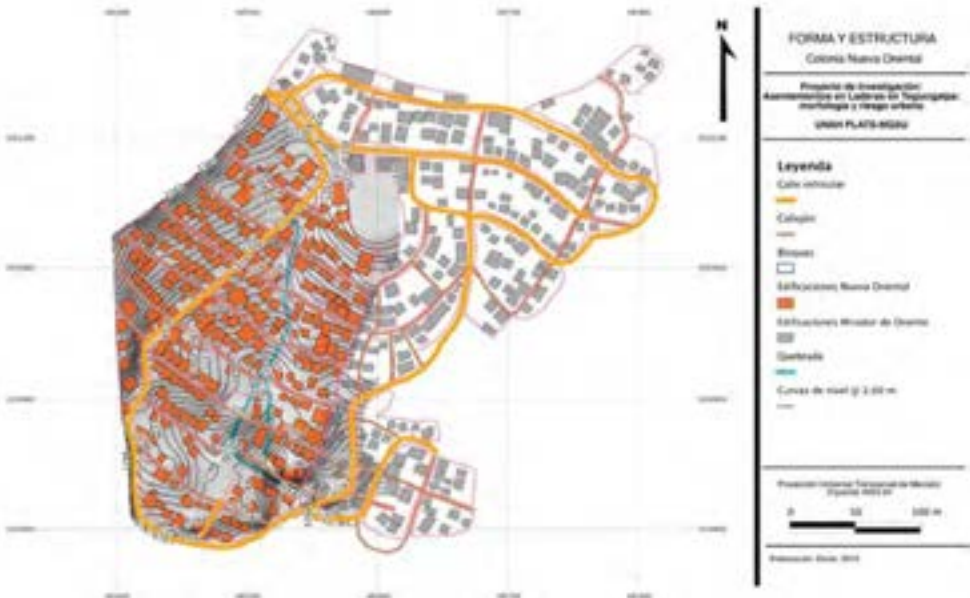
Además de los datos espaciales producto del levantamiento, se generaron las capas correspondientes a la forma y estructura del asentamiento en estudio (ver Mapas 4 y 5): calles vehiculares, callejones, bloques, edificaciones y elementos naturales principales. Se tomó como base la imagen satelital del sitio disponible en Google Earth y la información recolectada en los recorridos de campo realizados. La superposición de las capas permitió realizar el análisis de la forma de ocupación del terreno respecto a la topografía, analizar la densidad de ocupación del terreno, e identificar las zonas más expuestas a movimientos de ladera debido a la ocupación de terrenos con pendientes pronunciadas carentes de adecuadas obras de infraestructura.



Mapa 4. Forma y estructura del asentamiento con imagen satelital



Mapa 5. Forma y estructura del asentamiento



## 5. CONCLUSIONES

Ante la ausencia de datos espaciales disponibles a escalas adecuadas para llevar a cabo análisis socioespacial a nivel comunitario en nuestro medio, el uso de equipos GNSS con arreglo RTK es una alternativa que permite llevar a cabo el levantamiento topográfico de una forma rápida, precisa de acuerdo a la naturaleza del estudio, y de bajo costo, tomando en cuenta la disponibilidad del equipo y de los especialistas para fines investigativos académicos en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Por otra parte, el uso de software SIG de licencia pública como el Quantum GIS es una opción gratuita que permite llevar a cabo el análisis de los datos espaciales y la generación de mapas para su divulgación en el campo académico y para la sociedad en general. Finalmente, herramientas disponibles en línea de forma gratuita, como Google Earth, permiten reforzar las técnicas participativas de una forma interactiva, proporcionando la información de base para generar una discusión con los actores comunitarios sobre la evolución de su asentamiento en el tiempo producto de sus propias acciones y, de igual forma, apoyar a la comunidad en la toma de decisiones sobre la planificación de su desarrollo futuro.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Caballero, Elsa Lily (2012). "El concepto de ladera urbana". UNAH-MGSU, NCCR North-South.
- Escobar, Carlos (2002). "La degradación de laderas urbanas y su relación con la pobreza" en *Revista Luna Azul* (Manizales) Universidad de Caldas, julio-diciembre, No. 15. URL: [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Revista15\\_4.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Revista15_4.pdf)
- IHCIT-UNAH-UNDP (2011). Mapa multiamenaza (inundaciones y movimiento de laderas) del municipio del Distrito Central, República de Honduras. UNAH-UNDP
- Lavell, Allan (1999). *Gestión de riesgos ambientales urbanos*. Costa Rica: FLACSO, La Red.

# MÉTODOS Y ANÁLISIS CON TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



# *Determinación y análisis de áreas de potencial conflicto en el uso del suelo en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Patagonia, Argentina, utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

María Andrea Dzenoletas

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es la identificación y el análisis de las áreas con aptitud potencial para el desarrollo de actividades de producción primaria, expansión del uso urbano y conservación de vegetación nativa, a partir de la obtención de mapas de aptitud continua y posteriormente sus combinaciones tendientes a identificar las localizaciones de las áreas de potencial conflicto entre dichos usos en el ejido de San Carlos de Bariloche.

La metodología propuesta utilizando la Evaluación Multicriterio (EMC) integrada en un Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporciona el marco adecuado para la integración de los distintos factores (medio ambiente, economía y sociedad) que intervienen en la aptitud del suelo para cada uso.

La EMC permitió simular correctamente las pautas espaciales de evolución real producida sobre el objeto de estudio, el espacio ambiental urbano a lo largo de la investigación, identificar y valorar cada alternativa, realizar consultas a expertos y volver a reorientar la evaluación, sin alejarse del objetivo propuesto a lo largo del proceso de decisión.

La aplicación del modelo de resolución estandarizada, denominado *Land Use Conflict Identification Strategy (L.U.C.I.S.)* fue propuesto en este trabajo, como un nuevo avance en el análisis espacial y permitió la detección de áreas de potenciales conflictos a partir de un estudio de localización, brindando una imagen anticipada de los cambios del uso del suelo y estimando aquellos futuros conflictos.

Finalmente se demuestra que la combinación de la EMC y el modelo *L.U.C.I.S.* integrados en un SIG se constituyen en interesantes herramientas para el análisis de las complejas situaciones, capaces de asistir en los procesos de planificación territorial, gestión ambiental y en la toma de decisiones en términos de desarrollo sustentable.

**Palabras clave:** Evaluación multicriterio. SIG. Conflictos. Uso del suelo. Modelo *L.U.C.I.S.*

## Abstract

The objective of this thesis is to identify and analyze suitable potential urban areas to develop primary production activities, urban use expansion as well as nature conservation features through continuous mapping of competence which on combination tend to locate possible conflictual areas among the urban activities mentioned in San Carlos de Bariloche City.

The method of Multi-Criteria-Evaluation (MCE) joined to the Geographic Information System (GIS) provides the right framework for integrating environmental, economic and social factors involved in the soil competence for each activity.

The MCE allowed to correctly simulate the spatial patterns of the real evolutionary development on the object of research, urban environment, identifying and assessing each alternative, consulting experts and re-orientating the assessment itself while keeping its aim throughout the decision-making process.

The standard resolution model applied, called *Land Use Conflict Identification Strategy (L.U.C.I.S.)* was proposed in this thesis as a new progress in spatial analysis and it allowed the detection of potential conflictual areas from a study of localization providing an early picture of the changes in the use of land and previewing those possible future conflicts.

Finally, it has been proved that the combination of MCE and the *L.U.C.I.S.* as part of a GIS becomes an interesting tool at complex situational analysis. These methods are functionally useful in regional environmental planning processes management and decision making on terms of sustainable development.

**Keywords:** Multi-Criteria Evaluation. GIS. Conflicts. Land Use. *L.U.C.I.S.*

---

**María Andrea Dzendoletas** (dzendoletasma@comahue-conicet.gob.ar , dzendoletasma@gmail.com). Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA - CONICET). Grupo de Estudios Ambientales, GEA. Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue. Quintral 1250. San Carlos de Bariloche. Río Negro. Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de San Carlos de Bariloche, como tantas otras ciudades de tamaño intermedio de Argentina y de América Latina tuvo en las últimas décadas un acelerado crecimiento demográfico acompañado por una rápida expansión urbana con ocupación del espacio y construcción de infraestructuras. Este proceso de crecimiento urbano afectó a los ambientes naturales produciendo modificaciones sobre el soporte natural (vegetación) y favoreciendo la fragmentación del hábitat. A partir de esta situación, resulta necesario elaborar estrategias que prioricen el ordenamiento territorial compatibilizando el crecimiento y expansión de la ciudad junto con las demandas de conservación del medio natural y la calidad de vida de sus habitantes.

Conocer y analizar las áreas urbanas a escala municipal que presentan conflictos a futuro, permitiría movilizar mecanismos de toma de conciencia, gestión y planificación que posibiliten tender a una ciudad sustentable.

Los objetivos de este trabajo son: a) Determinar y analizar la distribución espacial de las áreas de potenciales conflictos en el uso del suelo entre los espacios ambiental urbano, de producción primaria y conservación en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche y b) Demostrar que la Evaluación Multicriterio (EMC) integrada en un SIG y aplicada al problema local constituye una herramienta de gran importancia y utilidad para la planificación y la gestión ambiental. Esta herramienta permite trabajar con la complejidad que presenta el ambiente, determinado por la intervención de múltiples variables que actúan simultáneamente junto con las acciones humanas y en respuesta a ellas. La EMC integrada en un SIG permite la realización de los objetivos propuestos en este trabajo, mediante la identificación y el análisis de las áreas con aptitud para el desarrollo de actividades de producción, conservación y uso urbano con la obtención de mapas continuos de aptitud, y posteriormente la localización de las áreas de potencial conflicto entre dichos usos.

Se utilizará el modelo de resolución estandarizada, denominado Land Use Conflict Identification Strategy (*L.U.C.I.S.*) desarrollado por Carr y Zwick (2007), que permite la identificación empírica de áreas potenciales de conflicto entre los diferentes usos del suelo. Las fases de aplicación de esta metodología se realizan siguiendo la sistematización desarrollada por Buzai y Baxendale (2007 y 2008) basadas en las técnicas de EMC con SIG.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El área de estudio comprende el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, que se extiende en una faja de ancho variable a lo largo de la margen sur del lago Nahuel Huapi, provincia de Río Negro, noroeste de la Patagonia Argentina, entre los 71° 35'40" W, 41° 01'40" S y 71° 07'41" W, 41° 13'12" S. (Figura 1). La extensión del ejido alcanza 45 km. de longitud en el sentido oeste-este y 9 km. de ancho máximo norte-sur, con una superficie de 22652 ha. y se encuentra enmarcado dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi. Presenta un relieve de colinas y planicies, con orientación norte-noreste, con una cota promedio que apenas supera en 78 m el nivel medio del lago (765 m.s.n.m.) y pendientes medias de 4 a 6°.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



### Análisis de Evaluación Multicriterio (EMC)

El análisis de EMC se desarrolla a partir de la información básica compuesta por las variables en formato cartográfico que sirven de criterios para realizar los procedimientos de evaluación, estos son de dos tipos: los que presentan valores continuos de aptitud en cada variable para asignar el uso del suelo que se intenta ubicar, llamados *factores*; y las capas temáticas que actúan con el propósito de limitar los resultados en un sector específico del área de estudio, denominadas *res-*



*tricciones*. Cómo se caracteriza o valora un criterio es de trascendental importancia, ya que de él dependerá el resultado final del proceso de evaluación.

A partir de la selección de variables se elaboran los criterios y restricciones que a través de distintas formas de combinación, permitirán alcanzar los resultados. Se trata de la decisión entre diferentes alternativas o posibilidades de selección. La combinación de variables en factores se produce dentro de la “regla de decisión”, que es parte esencial de la investigación, siendo indispensable un conocimiento preciso de las características del área de trabajo y del objeto de estudio, el *espacio ambiental urbano*, sobre el cual se realiza la evaluación.

### La decisión locacional

A partir de la utilización de capas–criterio para el apoyo a la resolución de problemas de localización espacial de actividades, el tipo de evaluación a desarrollar en este trabajo, será **uniobjetivo y multicriterio** y se planteará una alternativa, por ejemplo: “determinar las áreas con mayor aptitud para conservación” (uniobjetivo) y varias capas-criterios (multicriterio). Esta técnica permite encontrar la mejor solución de asignación ante la posibilidad de varias alternativas de naturaleza complementaria o conflictiva en relación con el uso del suelo.

El propósito de la aplicación de las técnicas EMC dentro del SIG es alcanzar, por este procedimiento, una valoración sobre la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos de la evaluación. Además, se basa en otros conceptos ampliamente experimentados en la evaluación y ordenación espacial: el de *aptitud* (que resume el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado) y el de *restricciones* (los factores que son incompatibles con el objeto).

La EMC es un proceso en el cual la decisión (elección de variables y su valoración), se va construyendo a través de una progresiva delimitación y clasificación de los criterios, las bases de los “juicios de valor” aplicados y del análisis en función de ellos y de las alternativas reales. Las ventajas de este tipo de EMC en un SIG se basan en poder resolver la interrelación de las diversas variables del territorio utilizadas simultáneamente (Gómez y Barredo, 2006).

## Modelo de resolución

### 1. Definición de los objetivos:

Se considera que cada localización puede tener tres posibilidades potenciales de ocupación de usos del suelo, las cuales pueden estar dedicadas a actividades urbanas, de conservación o producción. Cada una de estas tiene como meta la maximización de oportunidades, el uso urbano considera la expansión residencial, el uso agrícola o forestal<sup>1</sup> para la expansión de plantaciones y el uso de conservación, en este caso entendido como protección de las áreas con bosques nativos.

### 2. Recopilación y confección la base de datos geográfica:

Se realizó la recopilación de la información a partir de antecedentes y trabajos en el área de estudio. Para la confección de la base de datos, se seleccionó el trabajo de Pereyra *et al.* (2005) que presenta cartografía actualizada en formato digital. Las unidades de vegetación se elaboraron siguiendo los trabajos de Mermoz y Martín (1987) y de Dzenoletas *et al.* (2006). El análisis de aptitud agroforestal se realizó de acuerdo a López *et al.* (2002). La base de datos se estructuró a partir del análisis de la imagen satelital ASTER del área Bariloche, con combinación de bandas en una sub escena RGB (Rojo, Verde, Azul): 3 2 1 pertenecientes al subsistema VNIR, que posibilitó la clasificación y la diferenciación de las principales fisonomías presentes en el área de estudio, como base topográfica y de su Modelo Digital del Terreno (MDT) a escala 1:50.000. El sistema de referencia corresponde a la proyección UTM, zona 19 S y resolución espacial de 15 metros.

## Mapas base

A partir del MDT se obtuvieron las capas: pendientes del terreno y orientación de laderas, en formato raster y la capa curvas de nivel en formato vectorial. Los mapas seleccionados (Pereyra *et al.* 2005), fueron modificados de acuerdo al área de estudio. La base de datos inicial se estructuró a partir de las capas temáticas (layers) vectoriales: 1. urbano, 2. rutas, 3. suelos, 4. vegetación, 5. usos del suelo, 6. ríos, 7. lagos 8. curvas de nivel. Estas capas fueron convertidas a formato raster en el SIG IDRISI K<sup>2</sup>. Todas presentan los siguientes parámetros: columnas:

<sup>1</sup> Se realiza el análisis de aptitud agroforestal como aplicación del modelo de resolución estandarizada L.U.C.I.S. La actividad forestal se desarrolla fuera del ejido de S. C. de Bariloche en jurisdicción provincial. La actividad agrícola es escasa y se centra en el cultivo de lavanda, fruta fina y hortalizas.

<sup>2</sup> Agradezco el uso de la licencia IDRISI al Dr. Pablo Vigliano de la Universidad Nacional del Comahue.

2576, y filas: 1285. Cada capa se considera un tema diferente en el nivel cartográfico.

## **Análisis de aptitud**

En este punto se conforma la regla de decisión, que se realiza de acuerdo a los objetivos enunciados y se desarrolla la metodología a través de la superposición de las capas temáticas en forma de *criterios* para la determinación de áreas con aptitud para uso *urbano, conservación y productivo (agro-forestal)* en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche.

Cada capa temática representa un criterio que se transforma en un *factor de aptitud* al momento de reclasificar sus *categorías de acuerdo al objetivo*. Un mismo criterio utilizado para cada uno de los tres diferentes objetivos generará tres diferentes factores con valores de aptitud para la expansión del determinado uso del suelo. Los objetivos para determinar las diferentes áreas con aptitud se consideran como objetivos parciales de localización, necesarios para alcanzar la determinación de áreas de conflicto entre los distintos usos. Acorde con el método *L.U.C.I.S.* se considera una estandarización de aptitud continua (*ac*) en números enteros en el siguiente rango:  $1 \leq ac \leq 9$ . Se utilizan nueve valores para ponderar las categorías con el método de ranking recíproco (RRWM) de Malczewski (1999).

## **Aplicación de la evaluación multicriterio al caso de estudio**

A partir de la base de datos inicial, se seleccionan las capas temáticas en formato raster que se consideran como criterios y de estos, derivaran los factores y restricciones. En este trabajo se presentará en forma conjunta la creación de factores para cada una de las tres EMC, necesarias para determinar las áreas de potencial conflictos en el uso del suelo.

## **Aptitud urbana, conservación y producción agro-forestal**

### *Creación de factores*

#### 1. Altitud

Se considera que las "áreas con menor altitud del terreno tienen mayor aptitud para urbanización y para producción". Se aplica estandarización continua *fuzzy* (255-0) lineal decreciente hasta 1000 metros. Para conservación, se considera que las "áreas con mayor altitud deben conservarse" se aplica estandarización continua *fuzzy* (0.255) lineal creciente de 750 a 2100 metros. Criterios: "Altitud de terreno".

Tabla: 1

<b>Criterio: 1</b>		<b>ALTITUD DEL TERRENO</b>		
		<b>Aptitud para</b>		
		<b>Urbanización</b>	<b>Conservación</b>	<b>Producción</b>
<b>Categoría</b>	<b>Rango (m)</b>	<b>Valores</b>		
1	750-800	9	7	9
2	800-850	8	8	9
3	850-900	7	8	8
4	900-950	5	8	7
5	950-1000	3	9	5
6	> 1000	0	9	0

### 2. Pendientes

Se considera que las áreas con “bajas pendientes tienen mayor aptitud para urbanización”. Se aplica estandarización continua *fuzzy* (0-255), lineal decreciente entre 0 y 48%, para producción las áreas con “bajas pendientes son las más aptas”. Para conservación se aplica estandarización continua *fuzzy* (0-255) lineal creciente, en “áreas con pendientes mayores de 15%”.

Tabla:2

<b>Criterio: 2</b>		<b>PENDIENTE DEL TERRENO</b>		
		<b>Aptitud para</b>		
		<b>Urbanización</b>	<b>Conservación</b>	<b>Producción</b>
<b>Categoría</b>	<b>Rango (%)</b>	<b>Valores</b>		
1	0-5	9	4	9
2	5 a 10	8	5	8
3	10 a 15	7	6	2
4	15 a 20	6	7	0
5	20 a 25	3	8	0
6	> 25	0	9	0

### 3. Distancia a rutas

Se considera que las “áreas más aptas para urbanización están cerca de rutas principales” hasta 2.500 metros. Se aplica cálculo de distancia, estandarización continua *fuzzy* (255-0) lineal decreciente de 0 a 2.500. Para producción se favorecen las “áreas entre 500 y 2500 metros de las rutas”. Para conservación las “áreas más alejadas de rutas”. Se aplica la estandarización continua *fuzzy* (255-0) lineal creciente de 0 a 4000 metros. Reclasificación directa. *Criterios*: “distancia a rutas”.

Tabla: 3

<b>Criterios: 3</b>				
<b>DISTANCIA A LAS RUTAS</b>				
		<b>Aptitud para</b>		
		<b>Urbanización</b>	<b>Conservación</b>	<b>Producción</b>
<b>Categoría</b>	<b>Rango (m)</b>	<b>Valores</b>		
1	< 500	8	2	6
2	500 a 1000	7	3	8
3	1000 a 1500	6	4	8
4	1500 a 2000	5	6	6
5	2000 a 2500	4	7	4
6	> 2500	3	8	0

#### 4. Expansión urbana

Las "áreas contiguas al sector urbano son las más probables de ser urbanizadas". Cálculo de distancia y estandarización continua *fuzzy* lineal decreciente hasta 3000 metros. Reclasificación directa de 9 a 1. Para aptitud producción y conservación, se consideran las "áreas alejadas de la zona urbana tendrán mayor valor", cálculo de distancia, estandarización continua *fuzzy* lineal creciente de 0 a 3000 metros. Reclasificación de 1 a 9. (Tabla 4) *Criterios: "expansión urbana"*.

Tabla: 4

**Tabla: 4**

<b>Criterios: 4</b>				
<b>EXPANSIÓN DEL USO URBANO</b>				
		<b>Aptitud para</b>		
		<b>Urbanización</b>	<b>Conservación</b>	<b>Producción</b>
<b>Categoría</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Valores</b>		
1	0	9	1	1
2	↓	8	2	2
3		7	3	3
4		6	4	4
5		5	5	5
6		4	6	6
7		3	7	7
8		2	8	8
9		3000	1	9

#### 5. Suelos

Se consideraron las características de los suelos para cada aptitud en estudio. Reclasificación directa. (Tabla 5). *Criterios: "suelos"*.

Tabla: 5

<b>Criterio: 5</b>		<b>SUELOS</b>		
			Aptitud para	
		Urbanización	Conservación	Producción
<b>Categoría</b>	<b>Tipos de Suelos</b>	<b>Valores</b>		
1	de Altas divisorias	1	9	0
2	de laterales de valle	1	8	2
3	de ambiente serrano subandino	3	5	8
4	de amb. Erosivo-deposit glaciario	7	6	6
5	de rocas aborregadas	2	8	1
6	de Morenas accidentales	6	7	4
7	de Morenas orientales	8	4	8
8	de Terrazas glacifluv. y glacialac. Occidentales	8	3	9
9	de Terrazas glacifluv. y glacialac. Orientales	9	5	9
10	de Terrazas fluv y abanicos occidentales	6	8	1
11	de Terrazas fluv y abanicos orientales	2	8	1
12	de Mallines y bajos	5	7	9

### 6. Vegetación

Se consideraron las “áreas vegetadas más urbanizables y de producción” según el valor fisonómico-florístico de los bosques nativos. Para conservación se ponderó por el “valor ecológico de la formación”. Reclasificación directa entre 0 y 9.

Tabla: 6

<b>Criterio: 6</b>		<b>VEGETACIÓN</b>		
			Aptitud para	
		Urbanización	Conservación	Producción
<b>Categoría</b>	<b>Formaciones</b>	<b>Valores</b>		
1	Bosque de Lengua	1	9	1
2	Bosque Mixto de coihue y	5	8	4
3	Bosque de Ciprés	4	8	1
4	Bosque ribereño	1	7	5
5	Matorral	7	7	7
6	Estepa	8	4	9
7	Especies exóticas	9	2	7
8	Vegetación de Mallín	6	6	8
9	Forestaciones	8	3	7
10	Semidesierto de Altura	1	7	1
11	Lago	R	R	R
12	Afloramiento rocoso	R	R	R

### 7. Usos del suelo

Se consideran las “áreas de usos del suelo con mejor aptitud para cada uno de los objetivos. Reclasificación directa entre 0 y 9. (Tabla: 7) “Criterios: usos del suelo”.

Tabla:7

Criterio: 7	USOS DEL SUELO			
		Urbanización	Aptitud para Conservación	Producción
Categoría	Uso	Valores		
1	Aeropuerto	R	R	R
2	Afloramiento rocoso	R	R	R
3	Agrícola	7	6	9
4	Agrícola- forestal	8	6	9
5	Area Natural protegida	0	0	0
6	Bosque nativo	5	1	3
7	Bosque ribereño	1	1	6
8	Cantera	R	R	R
9	Espacio verde	0	1	0
10	Estepa	8	1	8
11	Forestal	6	6	8
12	Industrial	0	0	0
13	Mallin	4	1	8
14	Matorral	7	1	7
15	Parque urbano	0	0	0
16	Turístico	2	8	5
17	Urbano actual	0	0	1
18	Urbano recreativo	0	0	0

### 8. Ríos

Este criterio se elaboró sólo para aptitud para conservación, se evaluaron las márgenes de arroyos y ríos, aplicando una protección de 50 metros. Reclasificación directa con valor 8. *Criterio: "conservación ríos y arroyos"*.

### 9. Exposición de laderas

Este criterio se elaboró sólo para la aptitud para producción, se preferencia las orientaciones de laderas más favorables para el desarrollo de plantaciones forestales. *Categorías: Plano, NNE, NEE, ESE, ESS, SSO, SOO, ONO, NON. Reclasificación: 9, 0, 0, 9, 9, 8, 0, 0, 0 Criterio: "exposición de laderas"*.

10. Restricciones: Los factores limitantes o restricciones, se aplicaron en la EMC incorporados como máscaras booleanas (0-1).

### 3. Determinación de preferencias – ponderación de los factores

A partir de los factores obtenidos, se establece la importancia de cada uno en relación con el objetivo planteado. Se realiza la *toma de decisión* y se evalúan las ponderaciones a través de la matriz de comparación por pares de Saaty (1990), método de ponderación, dentro del método de jerarquías analíticas (AHP *Analytical Hierarchy Process*) que permite establecer la importancia relativa de los factores que intervienen en los procedimientos de la EMC. El procedimiento utiliza

una técnica apareada de comparación que permite generar un conjunto de pesos de factores que sumarán 1 y una razón de consistencia (cr.).

Los pesos asignados a los factores para obtener la **Aptitud urbana**, en orden de importancia son: pendientes: 0.3526, altitud: 0.2149, expansión urbana: 0.1602, distancia a rutas: 0.1115, suelos: 0.0739, vegetación: 0.0566, usos del suelo: 0.0298. cr.: 0.02.

Para **Aptitud para conservación**: los pesos son: vegetación: 0.3207, suelos: 0.2109, altitud: 0.1412, pendientes: 0.1314, ríos: 0.0805, expansión urbana: 0.0547, usos del suelo: 0.0360, distancia a rutas: 0.0245. cr.: 0.02 y para **Aptitud producción agro-forestal** los pesos son: suelos: 0.2878, pendientes: 0.1789, altitud, 0.1789, orientación 0.1073, usos del suelo 0.1073, vegetación: 0.0666, expansión urbana: 0.0436, distancia a rutas: 0.0295. cr.: 0.01

#### 4. Aplicación de la regla de decisión y reclasificación de los resultados

Se realiza la EMC a partir de los pesos obtenidos, estos se asignan a los criterios elaborados en el paso anterior con el procedimiento de *Combinación Lineal Ponderada (CLP)* obteniéndose un valor síntesis para cada localización en base a la definición de factores y los correspondientes valores de ponderación para cada uno de ellos. El resultado es un mapa continuo que contiene la información de las áreas con **aptitud** de la localización para cada uno de los tres objetivos. Cada imagen de **aptitud** continua resultante es multiplicada por las restricciones. Cada imagen final de aptitud obtenida se reclasifica en tres categorías:  $1 \leq ac \leq 3$  (alta, media y baja) que posteriormente se combinará con los otros mapas de aptitud. Los resultados son tres mapas: *Aptitud Urbana* (Figura 2), *Aptitud para Conservación* (Figura 3) y *Aptitud para Producción Agro-forestal* (Figura 4).

Figura 2: Mapa con Aptitud Urbana con restricciones en San Carlos de Bariloche

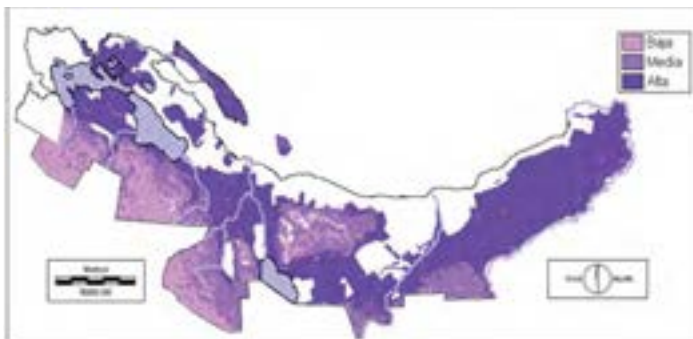




Figura 3: Mapa de Aptitud para conservación con restricciones en San Carlos de Bariloche

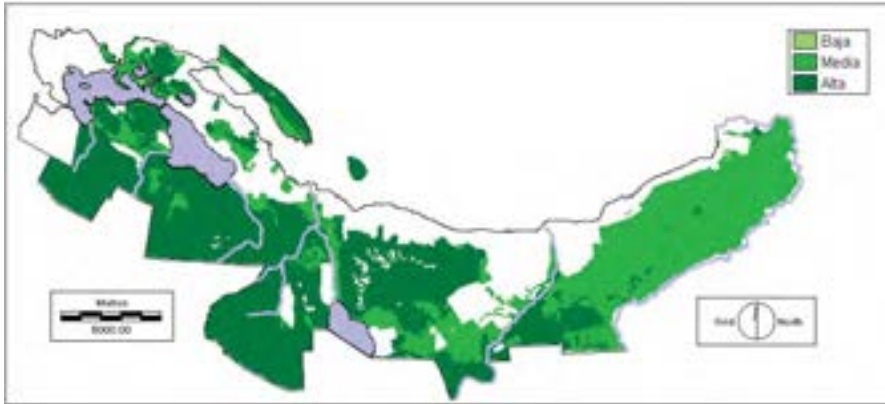
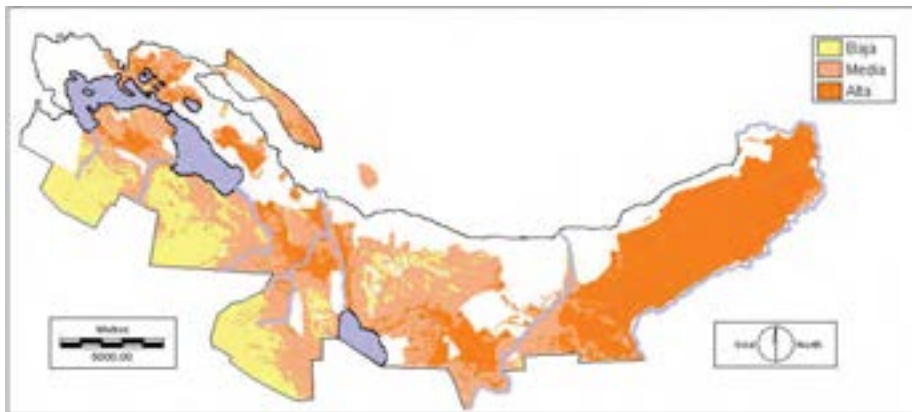


Figura 3: Mapa de Aptitud para conservación con restricciones en San Carlos de Bariloche



## IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE POTENCIAL CONFLICTO EN EL USO DEL SUELO: APLICACIÓN DEL MÉTODO L.U.C.I.S.

A partir de los mapas de *Aptitud* obtenidos y reclasificados en tres categorías se realiza la superposición de los mismos para determinar las áreas de conflicto entre los diferentes usos del suelo (Buzai y Baxendale, 2008). El resultado del total de combinaciones producidas por cada objetivo 1. Baja, 2. Media y 3. Alta, para las tres categorías de aptitud (urbano, agro-forestal y conservación) genera una combinatoria de veintisiete posibilidades, de las cuales doce son potencialmente conflictivas y quince sin conflicto (Tabla 8.).

Tabla 8: Combinación de 27 posibilidades de potencial conflicto entre los medios.

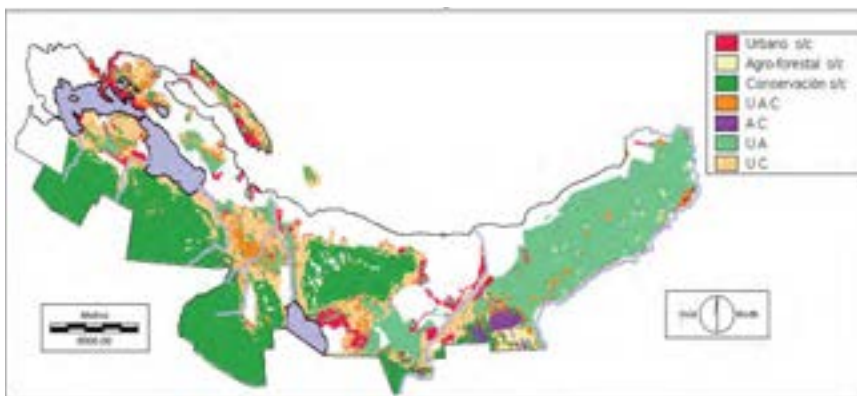
Tabla 8: Combinación de 27 posibilidades de potencial conflicto entre los medios

<b>Urbano, Productivo y Conservación</b>					
<b>12 Áreas con conflicto</b>			<b>15 Áreas sin conflicto</b>		
Código	Combinación	Descripción	Código	Combinación	Descripción
BBB	111	Todos conflicto BAJO UAC	BBM	112	Preferencia MEDIA C
MMM	222	Todos conflicto MEDIO UAC	BBA	113	Preferencia ALTA C
AAA	333	Todos conflicto ALTO UAC	BMB	121	Preferencia MEDIA A
BMM	122	Conflicto Medio AC	BMA	123	Preferencia ALTA C
BAA	133	Conflicto ALTO AC	BAM	132	Preferencia ALTA A
MBM	212	Conflicto Medio UC	BAB	131	Preferencia ALTA A
MMB	221	Conflicto MEDIO UA	MBB	211	Preferencia MEDIA U
MAA	233	Conflicto ALTO AC	MBA	213	Preferencia ALTA C
ABA	313	Conflicto ALTO UC	MMA	223	Preferencia ALTA C
AMA	323	Conflicto ALTO UC	MAB	231	Preferencia ALTA A
AAB	331	Conflicto ALTO UA	MAM	232	Preferencia ALTA A
AAM	332	Conflicto ALTO UA	ABB	311	Preferencia ALTA U
	Código	Combinación	ABM	312	Preferencia ALTA U
	1- Bajo	Centenas - Urbano. (U)	AMB	321	Preferencia ALTA U
	2- Medio	Decenas - Agroforestal (A)	AMM	322	Preferencia ALTA U
	3- Alto	Unidades - Conservación ( C )			

Elaboración ptopia

Para identificar las áreas de potencial conflictos, el Mapa de aptitud urbana se reclasifica en centenas, el Mapa de aptitud agro-forestal se reclasifica en decenas y el Mapa de aptitud para conservación, mantiene los valores originales. Por reclasificación y suma de los tres mapas de aptitud obtenidos, se genera el Mapa de aptitud final (Figura 5) que presenta quince combinaciones sin conflicto agrupadas según las tres categorías de aptitud (urbana, agro-forestal y conservación) y doce combinaciones conflictivas según los usos del suelo: tres combinaciones entre UAC, tres entre AC, 3 entre UA y 3 entre UC (Dzendoletas, 2012).

Figura 5: Mapa de Aptitud final. 15 Combinaciones sin Conflictos y 12 potenciales conflictos



## RESULTADOS

El mapa de **Aptitud final** con las áreas de potencial conflicto en San Carlos de Bariloche presenta una superficie con zonas de potencial conflicto del 56% del área de estudio. Los conflictos entre el uso urbano y de producción agro-forestal (U-A) representan el 35%, en el este del ejido. El conflicto entre el uso urbano y de conservación (U-C) de 16 % ocurre en zonas de contacto entre las áreas de bosque en el oeste y en centro del ejido, donde existe presión por expansión por urbanización. El conflicto entre los tres usos (U-A-C) se presenta en zonas puntuales de contacto a lo largo del área de estudio (3%). El conflicto potencial entre producción y conservación (A-C) es de 2% y queda restringido a un sector sudeste que es apto para forestación y actualmente conserva elementos del bosque nativo.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió alcanzar los objetivos propuestos, determinando las áreas de aptitud para los usos de suelo y conocer las áreas de potencial conflictos entre las diferentes localizaciones con aptitud para el uso urbano, de conservación y producción agro-forestal.

La EMC integrada en un SIG permitió la identificación y el análisis de las áreas con Aptitud para el desarrollo de actividades de producción, conservación y uso urbano. La metodología LUCIS permitió la detección de áreas de potenciales conflictos a partir de un estudio de localización, brindando una imagen anticipada de los cambios del uso del suelo y estimando aquellos futuros conflictos, constituyéndose como una herramienta para la planificación territorial de gran aptitud para el apoyo del proceso de toma de decisiones enmarcado en los aportes de la ciencia aplicada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G. D. y Baxendale, C. (2007). "Áreas de potencial conflicto entre usos del suelo: identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Primera parte: descripción metodológica)". *Fronteras*. 6(6):45-49.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. (2008). "Áreas de potencial conflicto entre usos del suelo: identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Segunda parte: Aplicación)". *Fronteras*. 7(7):33-39.

- Carr, M. H.; Zwick, P. (2007). *Smart Land-Use Analysis*. Redlands: ESRI Press.
- Dzenoletas M.A., Cavallaro S., Crivelli E., y Pereyra, F. (2006). "Mapa de vegetación del ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina". *Ecología*, 20:65-88. Madrid.
- Dzenoletas, M.A. (2012) "Determinación y análisis de áreas de potencial conflicto en el uso del suelo en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica". Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. Argentina. Inédita. 184pp.
- Gómez Delgado M. y Barredo Cano, J. I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México. D. F.: Alfaomega- Ra-Ma.
- Lopez, C., Bran, D. y Ayea J. (2005). Evaluación de aptitud forestal de las tierras en la región andino patagónica. *IDIA*. XXI (8).
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Pereyra F, Albertoni. J, Bréard. C, Cavallaro. S, Cocía. Crivelli. E, Ducós, E., Dzenoletas, M. A, Fookes. (2005). "Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial en San Carlos de Bariloche. Río Negro". *Anales* N° 42. 181 pp. Cooperación Argentino-Alemán. Instituto de Geociencias de Alemania (BGR - IGRM) y Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
- Saaty, T.L. (1990). "How to make a decision: The analytic hierarchy process". *European Journal of Operational Research*. 84(1):9-26.

# *Evaluación del cambio de uso de suelo en el parque nacional “La Marquesa” (1994-2007), aplicando tecnología SIG*

Mónica Chico Avelino, Miguel Ángel Trinidad  
Trinidad y Raymundo Montoya Ayala

## **Resumen**

El Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, conocido como “La Marquesa”, fue decretado en 1936 como Área Natural Protegida. A pesar de su condición de protección y conservación ha sufrido modificaciones en la cobertura vegetal, lo que ha generado problemáticas en sus ámbitos eco sistémicos. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los cambios de uso de suelo del año 1994 al 2007, con el fin de establecer una propuesta orientada a la conservación de esta Área Natural Protegida y la preservación de sus características ecológicas. Para cumplir con el objetivo se emplearon ortofotos correspondientes al periodo 1994, 1999 y 2007 a escala 1:75,000 para la digitalización de los distintos tipos de vegetación y usos del suelo logrando definir once categorías. Los resultados evidenciaron que el área ha experimentado modificaciones en la dinámica de utilización del territorio, siendo las actividades agrícolas y la mancha urbana, sobre todo para las actividades recreativas y de turismo que han tenido la mayor expansión, favoreciendo la deforestación y el crecimiento de los pastizales como consecuencia de la ganadería mal planeada, lo cual conlleva al disminución de la recarga de acuíferos y un gran impacto en los sistemas ambientales, por falta de políticas de manejo. De igual manera se logró identificar que entre las temporalidades de 1999 y 2007 es donde se presentaron los cambios más evidentes.

**Palabras clave:** Cambio de uso de suelo. La Marquesa. SIG. Mancha urbana. Gestión territorial.

## **Abstract**

The National Park Miguel Hidalgo y Costilla, commonly known as “La Marquesa”, was established in 1936 as a Natural Protected Area. In spite of the status as a protected area, its vegetative cover has suffered considerable modifications during the last decades, resulting in severe ecosystemic problems. This paper aims, firstly, to describe land-use changes between 1994 to 2007. Secondly, on the basis of this

diachronic description, we will propose conservation strategies in order to better protect the national park and its ecological characteristics. Orthophotographs of 1994, 1999, and 2007 at the 1:75000 scale have been used to digitize and analyze types of vegetation over the sample period. Based on this analysis, we defined eleven categories of land use. The results demonstrate that the area has undergone changes regarding the dynamics of land use, for example with respect to agricultural activities and urban sprawl. Expansion of touristic and recreational facilities caused deforestation, while poorly planned livestock farming resulted in pasture growth, which in turn led to decreasing groundwater resources and, therefore, had a major impact on environmental systems. These transformations are particularly apparent for the period 1999-2007.

**Keywords:** Land-use changes. La Marquesa. GIS. Urban growth. Regional planning.

---

**Mónica Chico Avelino** (vocessantiguas@hotmail.com); **Miguel Ángel Trinidad Trinidad** (principe\_maquiavelo@comunidad.unam.mx); **Raymundo Montoya Ayala** (lcazallas@terra.es). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de SIG y Análisis Espacial, Unidad de Biotecnología y Prototipos.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el cambio del uso de suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, que ha generado alteración en ciertos procesos y ciclos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios en donde se hace evidente la relación entre el hombre y su entorno (Lambin *et al.*, 1999). Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997).

Esta dinámica del uso de suelo, tiende al reemplazo de paisajes naturales por tierras agrícolas y urbanas, lo cual repercute negativamente en la diversidad, coherencia, identidad y en los servicios ambientales que los sistemas naturales ofrecen (Antrop, 2005).

El fenómeno de cambio de uso de suelo, ha sido muy acelerado lo que ha llevado a la pérdida sobre todo de la cubierta forestal, que trae consigo el agotamiento de la biodiversidad. De igual manera el potencial de uso de los múltiples bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano, así como el calentamiento global, alteración de ciclos hidrológicos y bio-geoquímicos, la introducción de especies exóticas, desplazamiento de especies nativas y la pérdida de hábitats (Velázquez *et al.*, 2002).

La deforestación y el uso del suelo en México se encuentran muy relacionados siendo problemáticas que se han presentado desde tiempos precolombinos, sin embargo, durante las últimas cinco décadas estos procesos han incrementado dramáticamente, con un panorama poco alentador, las 52 millones de hectáreas de bosques y selvas con que contaba el país en el año 2000, presentaron una tasa de deforestación promedio de 631 mil ha/año (FAO, 2005).

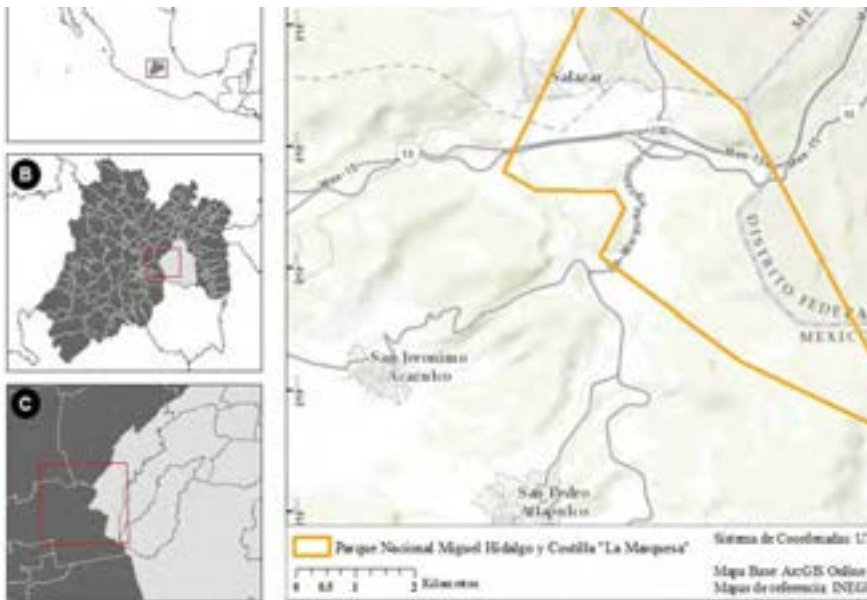
Bajo este contexto en donde las actividades humanas han sido determinantes resultando en efectos como la degradación ambiental, debido a que los usos de suelo son diversos y varían en intensidad, duración y extensión, que repercuten en la sustentabilidad de los sistemas y por lo tanto en la calidad de vida de la población. Es por eso que la evaluación y análisis de los cambios de uso del suelo como factor territorial son fundamentales para entender cómo, dónde y qué tanto se están perdiendo los recursos naturales, que contribuya a la toma de decisiones que contribuyan en los ámbitos ecológicos y sociales.

El Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, fue decretado en

1936 como Área Natural Protegida (ANP) (SEMARNAT, 2010), el parque se localiza en la región central de México en el Valle de México, dentro del Sistema Volcánico Transversal (ver Mapa 1-A) en el centro del Estado de México y al occidente del DF (Mapa 1-B) comprendiendo tres municipios Lerma, Ocoyoacac y Huixquilucan, en el Estado de México, y la Delegación Cuajimalpa en el D.F. (Mapa 1-C). Tiene una extensión de 1,760 ha, una altitud que va de los 2,400 a 3,100 msnm.

El área cuenta con una superficie boscosa del 70%, dentro de la cual se hallan importantes elevaciones. El resto de la superficie del parque está conformada por lomeríos, llanos, claros boscosos y la Laguna de Salazar. Dentro de estas áreas forestales se localiza infraestructura de recreación como una estación piscícola y diversos espacios dedicados al servicio de alimentos y bebidas, renta de caballos y cuatrimotos, que se encuentran próximas a la carretera México-Toluca. Este sitio es la parte más conocida y visitada de todo el ANP a la que popularmente se conoce como "La Marquesa".

Mapa1. Localización del Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla



Fuente: ArcGis Online (World Topographic Map) e INEGI

A pesar de contar con las características físicas y ambientales para cumplir con las funciones de investigación, educación y recreación, presenta una serie de problemas administrativos derivados de su condición como ANP y además por su



gran actividad recreativa y turística, por lo que ha sufrido de una fuerte presión ambiental. Por ello este análisis determina los cambios de uso de suelo de 1994 al 2007 para establecer una propuesta orientada a la conservación de esta área natural protegida y la preservación de sus características ecológicas.

## METODOLOGÍA

Se recopiló la información hasta el momento existente del área, como cartografía base de hidrología, geología, vegetación, edafología, a escala 1: 250 000 de Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI), con el fin de caracterizar el área.

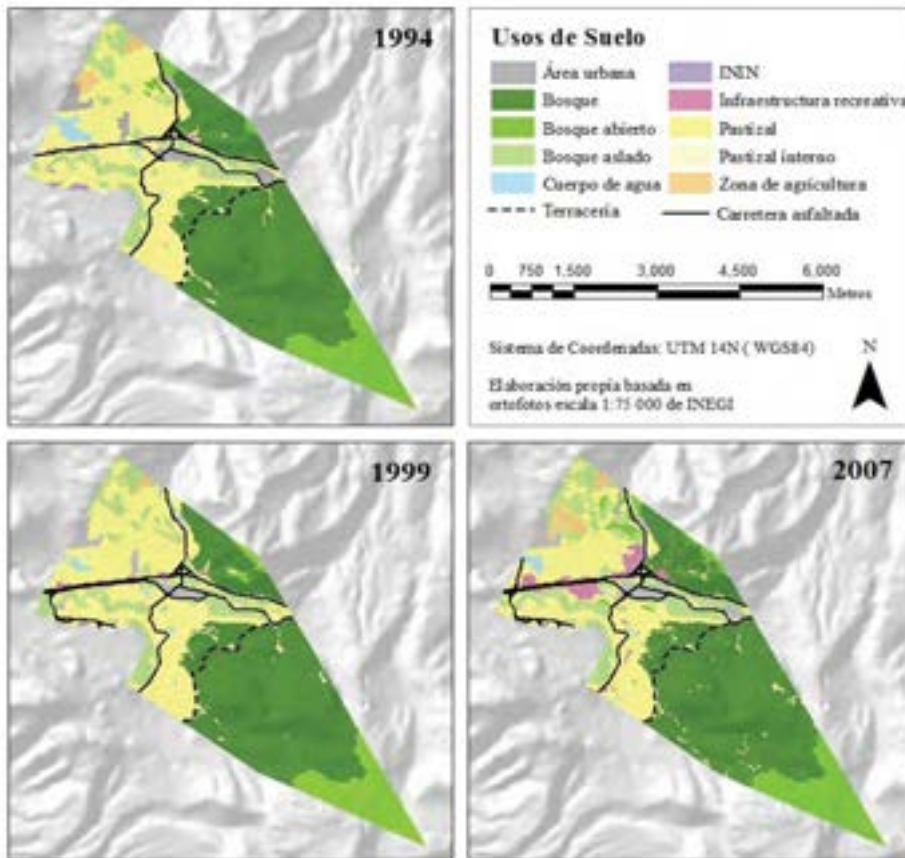
Para la evaluación del cambio del uso del suelo se realizó la digitalización de las distintas clases de uso del suelo del parque, la cual se basó en la identificación de la variedad de coberturas en el territorio, en las temporalidades de 1994, 1999 y 2007, lo cual permitió expresar las diferencias entre tres momentos para las unidades de observación.

Se utilizaron ortofotos basadas en las fotografías aéreas escala 1:75,000 del mes de abril para cada uno de los años, en proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 14Q, con resolución espacial de 2 m, para el caso de las ortofotos del año 1994 se encontraban referidas al Datum NAD27 y al elipsoide Clarke 1866, mientras que las de los años 1999 y 2007 al Datum ITRF92 y al elipsoide GRS 80, a las primeras se les realizó un cambio en la proyección, con el fin de tener la información en el mismo sistema de referencia. Una vez definidas las clases, se procedió al análisis del cambio en los usos de suelo de las tres temporalidades, mediante los las pérdidas y ganancias en hectáreas de las clases definidas.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

El método a partir de la digitalización permitió la determinación y clasificación de 12 categorías de vegetación y usos de suelo, que se pueden observar en el Mapa 2 de los usos de suelo correspondientes a las tres temporalidades.

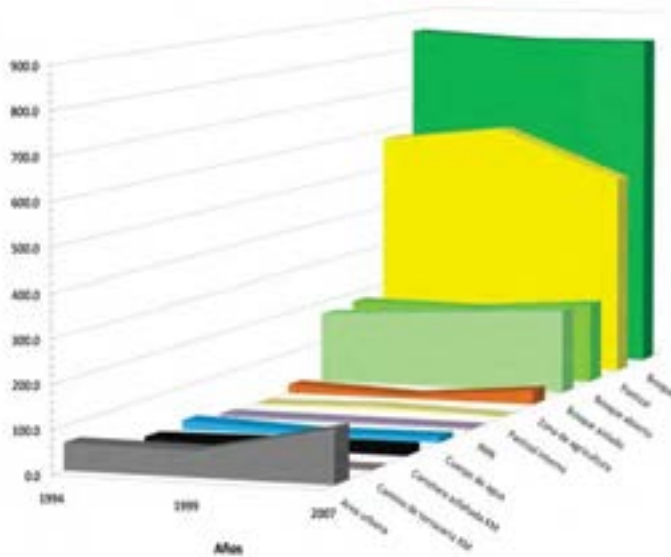
Mapa 2. Categorías de uso de suelo para el año 1994, 1999 y 2007 del ANP



Fuente: Elaboración propia.

La sobre posición de los polígonos evidenció que no obstante su condición como ANP, ha experimentado modificaciones en los patrones de uso de suelo, siendo las actividades agrícolas y principalmente la mancha urbana (incluyendo aquí las actividades recreativas y el turismo) que han tenido mayor expansión, mientras que las zonas forestales han sufrido una dinámica contraria presentando procesos de fragmentación, por otro lado el cuerpo de agua inmerso en el ANP, la laguna Salazar disminuyó su superficie (Figura 1).

Figura 1. Cambio de uso de suelo de 1994 al 2007, de las 11 categorías de uso definidas



Fuente: Elaboración propia.

El bosque de *Abies* es la vegetación dominante en el parque, el cual se encuentra principalmente en lugares protegidos, como son cumbres y laderas de montañas, cañadas o barrancas. Este tipo de vegetación se presenta en un intervalo altitudinal que va de los 2,600 a 3,660 msnm. Esta cobertura forestal es motivo la declaratoria de la zona como ANP, debido a su importancia biológica, ecológica, cultura y social. El principal atractivo del bosque es su belleza escénica y natural con vegetación original y abundante, por lo que cuenta con grandes servicios para la recreación y el esparcimiento de sus visitantes.

Sin embargo, a pesar de su gran importancia se ha enfrentado a diversas problemáticas como la tala clandestina de arbolado, la explotación de los recursos de manera descontrolada, la ganadería y la agricultura intensiva, así como el constante crecimiento de comercios, ganando superficie a la vegetación de tipo forestal. Es así que el cambio en la cobertura del bosque a lo largo de 13 años (Figura 2a) se ha visto afectado, reduciendo su distribución. El análisis de las imágenes de 1994 a 1999 resalta que se tiene una pérdida del 2% en su cobertura, y de 9 % del 1994 al 2007. El cambio de este tipo de vegetación a otros usos de tipo antrópico ha generado una evidente fragmentación, lo que implica una gran vulnerabilidad de las especies nativas, ya que al aumentar la fragmentación aumenta el efecto

borde generando mayor presión a los manchones que quedan aislados, provocando la pérdida de la cobertura que alberga especies de importancia ecológica. Es importante hacer notar que del año 2000 a la fecha se han hecho programas de reforestación del bosque (SAGARPA, 2011), como parte de algunos esfuerzos de conservación de los espacios protegidos, contrariamente a estas estrategias el Estado de México en el 2007 se encontraba dentro de los cinco estados con más deforestación en todo el país (Reyes et al., 2003). Es decir existe una fuerte dinámica negativa incluso al contar con programas de restauración no se alcanzan los objetivos debido al incumplimiento de políticas que se encuentran asociadas a la gestión de estas áreas.

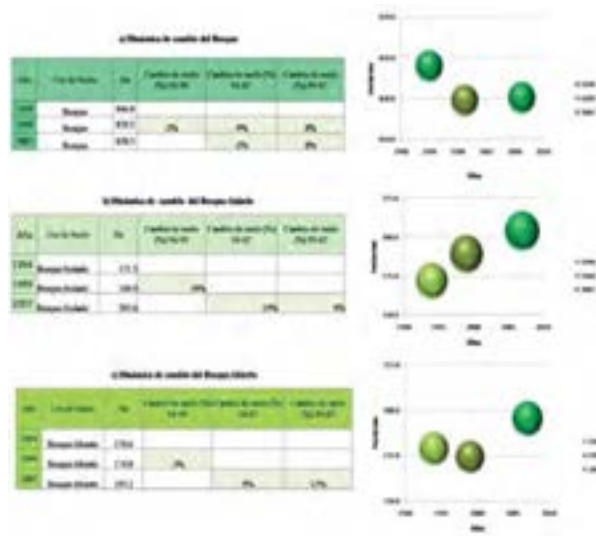
Otro punto importante radica en determinar cuáles son los factores socioeconómicos que más inciden en los procesos de deforestación, de los cuales algunos estudios consideran como principal causa los aspectos demográficos (Lambin, 1997). En la comunidad de La Marquesa se contaba con 692 habitantes en 1995 (INEGI, 1995), mientras que para el 2010 (INEGI, 2010) el censo reportó 981 habitantes, esto significa que el crecimiento demográfico es mayor al 40%, lo cual explicaría la pérdida en la cobertura del bosque.

El avance demográfico afecta significativamente al bosque y a cualquier tipo de vegetación. Este concepto va de la mano con los siguientes usos de suelo reportados en La Marquesa, como el bosque abierto (Figura 2c), el cual disminuyó su cobertura en el periodo de 1994 a 1999 (5 años) tiene -3% de cobertura; sin embargo para el periodo de 1999 a 2007 (8 años) aumentó hasta un 12% su distribución espacial. Probablemente se deba a la tala clandestina, lo que ocasiona básicamente formaciones con una distribución discontinua de árboles (fragmentación). Además la actividad agrícola que incrementa la distribución y superficie en el área, debido a que en el parque se han realizado desmontes, para introducir sistemas agrarios y usos de tipo turístico, para satisfacer las necesidades de los visitantes.

El caso contrario pasa con el bosque aislado (Figura 2b), el cual en 1994 tenía 171.5 ha y para el 1999 aumentó un 10% contando con 188.9 ha, mientras que, de las 188.9 Ha que comprendía en 1999, para el 2007 tenía 203.6 ha, lo que significa un aumento de cobertura del 8%. Estos resultados tienen dos vertientes; por una parte los esfuerzos para contrarrestar los efectos por cambio de uso de suelo como son los programas de reforestación que han favorecido hasta cierto punto a la cobertura del bosque pero que presenta un patrón de plantación aislada. Por otro lado aquellos de tipo antrópico como el aumento de la actividad agrícola, en las zonas de vegetación forestal; en ambos casos son principalmente los pastizales quienes seden sus áreas y en consecuencia lo que ocasiona estas nuevas islas

de bosque, localizadas principalmente en las áreas cercanas a Huixquilucan. Por lo que si esta dinámica fragmentaria permanece puede derivar en la discontinuidad de la vegetación, y por lo tanto el desplazamiento de especies nativas por especies exóticas y deterioro en los servicios eco sistémicos. En tanto a las acciones que se han tomado para conservar y restaurar el parque, como son la reforestación, estas mejoran la calidad de vida de los habitantes sin depredar o exceder el consumo de los recursos, ya que son la fuente básica del turismo del lugar, es por eso que sería conveniente establecer estrategias de turismo alternativo que no involucren procesos de pérdida de cobertura vegetal y por lo tanto de biodiversidad, ya que este fenómeno pone en riesgo la categoría del ANP, al no cumplir con los objetivos de su categoría que son como Parque Nacional la conservación de la flora y de la fauna, y de las aguas del área; además de potencializar su valor científico, histórico escénico, educativo, de recreo y su aptitud para el desarrollo del turismo, sin comprometer su sustentabilidad.

Figura 2. Cambios del bosque (a), bosque aislado (b) y bosque abierto (c) en 13 años (94, 99, 07)



Fuente: Elaboración propia.

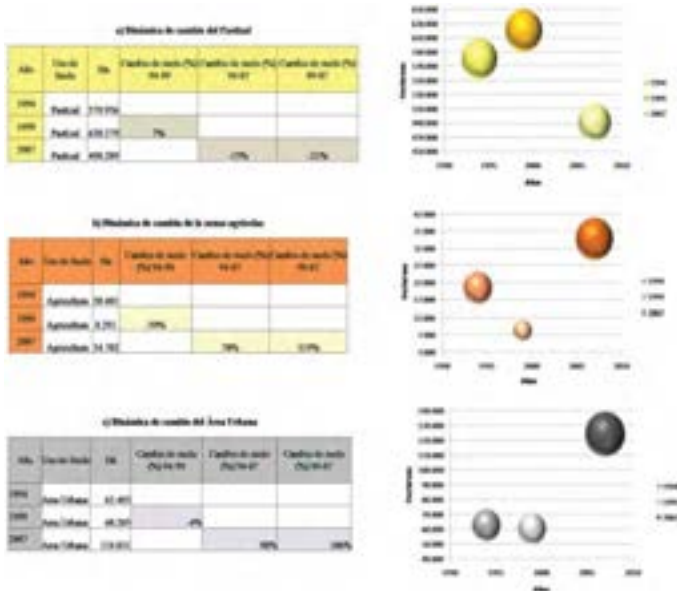
Esta tendencia indica que de manera constante el bosque en general se ha visto vulnerable ante los proceso de fragmentación, ya que los bosques aislados y abiertos han ganado superficie como se puede apreciar en la Figura 2 y en el Mapa 1, siendo remplazados por usos como son pastizales en el interior de los bosques e infraestructura recreativa principalmente. Esto indica que se requiere de un esfuerzo más dedicado para combatir la tala clandestina, las actividades agrícolas y

sobre todo el crecimiento urbano dentro del parque, que generan una fuerte presión ambiental en estos paisajes.

Por su parte el pastizal ha tenido pérdidas en su cobertura sobre todo en el intervalo de 1999 al 2007 (Figura 3a). En 1994 contaba con 579.9 ha y en 13 años perdió el 21% de su distribución contemplando hasta el 2007 con 490.3 ha, esto debido a la gran expansión urbana, sobre todo del tipo recreativo (turístico), el cual ha resultado en una mayor demanda de agua, y esto aunado a la reducción de los sistemas forestales ha disminuido la recarga de los mantos acuíferos por lo que la Laguna Salazar ha experimentado una dinámica bastante severa de reducción en su superficie.

Como ya se mencionó la población es un eje directriz en la dinámica de la utilización del suelo, es así como las actividades agrícolas han perturbado gran parte del bosque, lo que ha ocasionado modificaciones en el hábitat. Las zonas agrícolas (Figura 3b) han aumentado en 13 años un 70% en su cobertura, mientras que la zona urbana (Figura 3c) han incrementado en un 98% su plaza.

Figura 3. Cambios en 13 años de pastizal (a), zonas agrícolas (b), áreas urbanas (c) en donde se muestran las hectáreas siendo del 99 al 2007 el intervalo de tiempo con mayores modificaciones

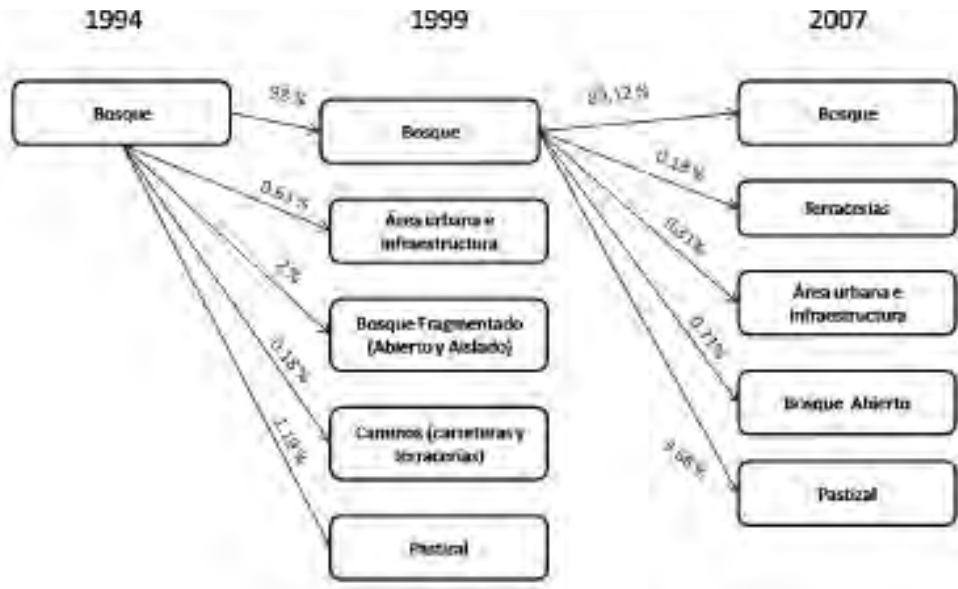


Fuente: Elaboración propia.

Los factores urbanístico y agrícola, tienen un comportamiento similar, ya que de 1994 a 1999 la agricultura disminuyó un 59%, de 1999 a 2007 la agricultura aumentó más del 300%, en tanto que la zona urbana está enfocada principalmente a la creación de infraestructura de servicios turísticos y recreativos también tuvo un ascenso del 106%, es decir, el crecimiento de estas actividades de esparcimiento han ganado superficie sobre los pastizales e incluso el bosque.

La superficie del bosque, ante los escenarios de fragmentación, ha presentando una dinámica fuerte ya que contaba para el año 1994 con 486 ha, mostrando una distribución espacial con poca segmentación, sin embargo en el año 1999 esta superficie cambio a 829 ha, pasando a usos de suelo del tipo antrópico como son áreas urbanas, infraestructura (recreativa, terracerías y carreteras ), pastizal (interno) y a la propia fragmentación del bosque (abierto y aislado), que fue la que mayor aumento en superficie evidencio, mientras que para el año 2007, aumentó 1 ha y cambió a las clases de uso del mismo orden sólo que en este caso el pastizal fue el que mayor cobertura ganó.(Figura 4).

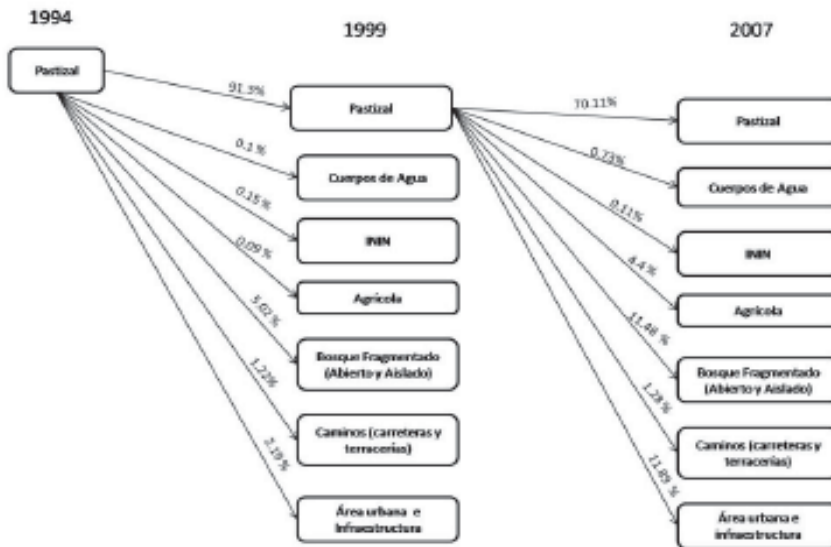
Figura 4. Cambios del bosque en las 3 temporalidades representado en porcentaje, mostrando los usos en los que ha derivado, siendo el bosque fragmentado y el pastizal los que más superficie han ganado



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte la mancha urbana ha crecido considerablemente en el área, sobre todo para satisfacer la demanda por parte de las actividades turísticas, siendo también el pastizal el que ha sido susceptible a ser cambiado a usos urbanos, ya que para el pastizal en el año 1994 comprendía 579 ha de superficie mientras que para el 1999 esta disminuyó el 10%, siendo transformado a usos como son agricultura, INNIN, cuerpos de agua, pastizal interno, bosque aislado, área urbana, infraestructura recreativa y caminos (terracerías y asfaltadas), para el año 2007 disminuyó en un 20 %, mientras que las zonas agrícolas aumentan su cobertura 4%; la zona urbana, la infraestructura recreativa y los caminos incrementaron su superficie en conjunto en un 10%, siendo la infraestructura la que ganó más área con un 8%. (Figura 5).

Figura 5. Cambios de pastizal en las 3 temporalidades representado en porcentaje de los cambios de uso, la que mayor superficie ganó fueron las áreas urbanas



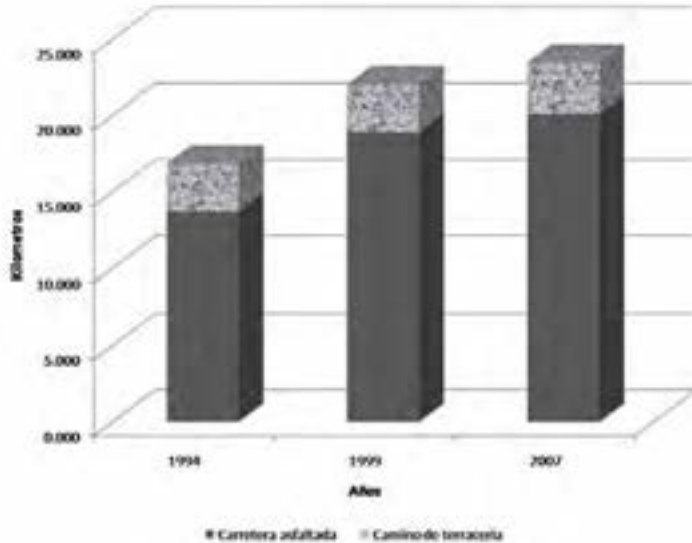
Fuente: Elaboración propia.

Esta dinámica tan acelerada de los espacios urbanos trae consigo cambios significativos en la vegetación, en este caso, la infraestructura vial (Figura 6) es la que ha tenido un aumento importante debido a que mientras más cobertura presenta las zonas de servicios recreativos y turísticos, mayor necesidad de comunicación entre estos espacios se requiere. Como se observa en el Mapa 1, en 1994 el área no contaba con una red viaria tan compleja como la que se presenta en el año 2007, en este momento incluso las terracerías se conectan con las carreteras asfaltadas y estas últimas aumentan considerablemente. En 1994 había 13.7 km destinadas a carreteras asfaltadas y 3.1 km de terracería, igualmente, en el 2007



se incrementó en un 47% la superficie ocupada por las carreteras asfaltadas con 20.1 km y un 7% los caminos de terracería con 3.3 km.

Figura 6. Distribución espacial de las vías de comunicación a lo largo de 13 años

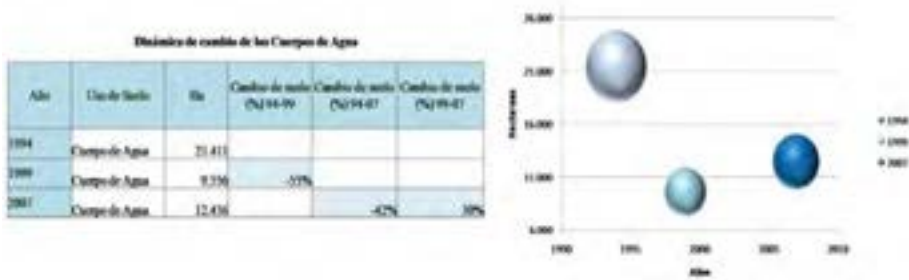


Fuente: Elaboración propia.

Es así como las vías de comunicación también afectan directamente las zonas boscosas y de pastizales, disminuyendo la calidad de la vegetación del parque, que son el hábitat de especies endémicas y en peligro de extinción como el conejo zacatuche y el gorrión serrano.

Otro uso de suelo muy importante son los cuerpos de agua que alberga el parque, ya que aporta de sus aguas a la Ciudad de México; vierte sus aguas a la cuenca del Río Lerma y al Río Amacuzac, que forma parte de la cuenca media del Río Balsas. A lo largo de 13 años estos cuerpos de agua (Figura 7) se han visto afectados por la influencia humana principalmente. En 1994 había 21.4 ha, mientras que para el 2007 solo habían 12.4 ha, lo que significa una pérdida del 42%.

Figura 7. Cambios de los cuerpos de agua, en donde las pérdidas mayores se evidencian en el periodo del 1994 al 1999, reduciendo su superficie en un 55%



Fuente: Elaboración propia.

El área que abarca el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) que tiene parte de sus instalaciones en las inmediaciones e incluso dentro del parque, no ha tenido repercusiones significativas sobre el área, ya que tiene vallada sus instalaciones e incluso protege el bosque que mantiene en su interior; al contrario de las actividades humanas, el ININ tiene acciones de reforestación, en el 2011 desarrollaron una campaña en donde se plantaron un total de 3,500 árboles (ININ, 2011).

## CONCLUSIONES

El Parque Nacional “La marquesa”, a pesar de albergar diversos sistemas naturales, que se encuentran bajo la categoría de protección, ha sufrido diversas modificaciones en los usos de suelo, siendo las actividades agrícolas y principalmente la mancha urbana, sobre todo las actividades recreativas y el turismo que han tenido mayor expansión e impacto, los principales cambios que se identificaron se dieron en el intervalo del año 1999 a 2007.

Los sistemas forestales han sido los más vulnerables ante los patrones de utilización del territorio, generando así un escenario de fragmentación de la vegetación natural, aumentando el efecto borde que puede derivarse en el desplazamiento de especies nativas frente a especie exóticas, de fragilidad del paisaje, además de un decremento en los servicios ambientales del área como la captura de carbono, y la recarga de acuíferos. Es así como el crecimiento demográfico ha derivado en el aumento de los bosques abiertos, que se atribuye a la tala, que genera los manchones de esta vegetación.

Las zonas agrícolas han aumentado en 13 años su cobertura de manera significativa, un 70 % de su superficie del tiempo inicial tomado para este trabajo. Sin embargo el uso que ha presentado una dinámica mucho mayor y acelerada es el urbano que ha incrementado en un 98% su ocupación en el territorio, generando una intensa presión a los sistemas forestales principalmente.

Además este crecimiento urbano sobre todo la infraestructura recreativa para satisfacer las demandas de las actividades turísticas del área, ha tenido como resultado mayor demanda del recurso agua, este patrón de consumo, ha derivado en una sobreexplotación de los acuíferos, que a su vez ha disminuido la capacidad de recarga de estos mantos acuíferos por la reducción del tamaño del bosque.

En la zona se han implementado diversas estrategias de conservación, como campañas de reforestación de ciertas zonas boscosas del área, que permitieron una recuperación de la cobertura vegetal, sin embargo esto también contribuyó al incremento de las zonas urbanas, ya que dentro los principales atractivos de este tipo de espacios son la vegetación y la fauna que alberga que ofrece a los visitantes una interacción con la naturaleza, es por eso que la dinámica de los sistemas forestales se encuentra determinado por la actividades turísticas del sitio. Bajo este panorama, sería importante además del desarrollo de prácticas de conservación, establecer políticas de manejo que permitan una mejor gestión del territorio que permita por un lado satisfacer necesidades sociales y recreativas sin comprometer a los sistemas ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antrop, M. (2005): "Why landscapes of the past are important for the future", in *Landscape and urban planning*, 2005, No. 70, pp. 21-34.
- FAO (2005). "Forest Resource Assessment" Disponible en: <http://www.fao.org>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). "Censo de Población y Vivienda 2010, Estadística > Censos y Conteos de Población y Vivienda" Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1995). "Censo de Población y Vivienda 1995, Estadística > Censos y Conteos de Población y Vivienda" Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx>.

- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) (2011). Inicia en el ININ el Programa Reforestación PROÁRBOL en el Sector Energía. México: PRO-ALBOL.
- Lambin, E. F. (1997). Modeling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observation by satellites. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre- Institute for Remote Sensing Applications. European Space Agency.
- Lambin, E. F., N; Baulies, G; Bockstael, T; Fisher, R; Krug, E. F; Lemmans, R. R; Moran, Y; Rindfuss, D; Sato, B. L; Skole, Turner II and C. Vogel. (1999). Land use and land cover change implementation strateg. Estocolmo: Comité Científico de Dirección y la Oficina de Proyectos Internacionales de LUCC.
- Reyes, H. H; Cortina, S; Perales, H; Kauffer, E. y Pat-Fernández, J. M. (2003). "Efecto de los subsidios agropecuarios y apoyos gubernamentales sobre la deforestación durante el periodo 1990-2000 en la región de Calakmul, Campeche", en Investigaciones geográficas, 2003, No. 15, pp. 88-106.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). Áreas naturales protegidas. México: SEMARNAT.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2011). "Desarrollo de proyectos para reducir emisiones por degradación de suelos y deforestación, SAGARPA> sala de prensa>" Boletines. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines>.
- Velázquez, A; J.F. Mas; J.R. Díaz-Gallegos; R. Mayorga-Saucedo; P.C. Alcántara; R. Castro; T. Fernández; G. Bocco y J.L. Palacio (2002) "Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México", en Gaceta ecológica, 2002, No. 62, pp. 21-37.

# *Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011*

Alicia Maricela Cárcamo y  
Juan Gregorio Rejas Ayuga

## **Resumen**

El municipio de Danlí se encuentra situado en la zona oriental de Honduras. Tiene una extensión aproximada de 2500 km<sup>2</sup>, cuenta con 37 aldeas y una población proyectada de 181,500 habitantes. Está constituido por zona urbana, zonas productoras de tabaco, granos básicos, ganado vacuno y cuenta además con áreas de vegetación principalmente bosques de conífera y bosque mixto. A pesar de ser una de las ciudades más importantes de la región no cuenta con planes de desarrollo bien establecidos por lo que se ha experimentado un crecimiento urbano desordenado y establecimiento de zonas agropecuarias sin el control adecuado que asegure el desarrollo sostenible.

La teledetección espacial permite la disponibilidad de imágenes satelitales, las cuales pueden ser analizadas usando Sistemas de Información Geográfica para establecer de manera automatizada los cambios ocurridos en el territorio en un amplio período de tiempo. En el presente artículo se expone el análisis multitemporal de imágenes LandSat y la evaluación de los cambios de cobertura del terreno ocurridos en un período de 11 años, entre 1987 y 2011. Para ello se ha desarrollado clasificación digital de imagen que ha sido supervisada en el área de estudio. Se presentan la cartografía temática generada y los resultados obtenidos, indicativos de la dinámica de usos de suelo en la región. Finalmente se analiza la metodología aplicada en lo referente a su impacto como importante herramienta de diagnóstico, así como en las tendencias que serán de utilidad para una mejor toma de decisiones en pro del desarrollo y bienestar de la zona y sus habitantes.

**Palabras clave:** SIG. Clasificación digital. Análisis multitemporal. Detección de cambios. Desarrollo.

## Abstract

Danlí town is located in the eastern of Honduras. It has an area of approximately 2500 km<sup>2</sup>, has 37 villages and a projected population of 181.500 inhabitants. It consists of urban, snuff producing areas, basic grains, cattle and also has vegetation areas mainly conifer forests and mixed forest. Despite being one of the most important cities of the region has well established development plans so it has experienced urban sprawl and agricultural zoning without careful management to ensure sustainable development.

The remote sensing allows the availability of satellite images, which can be analyzed using GIS to establish an automated changes in the territory in an extended period of time. This article outlines the multitemporal analysis of Landsat and evaluation of land cover changes occurred in a 11-year period between 1987 and 2011. This classification was developed digital image that has been monitored in the study area. Thematic mapping presents the results generated and indicative of the dynamic soil uses in the region. Finally we analyze the methodology applied in relation to its impact as an important diagnostic tool, and trends that will be useful for better decision-making for development and welfare of the area and its inhabitants.

**Keywords:** GIS. Digital Classification. Multitemporal Analysis. Change Detection. Development.

---

**Alicia Maricela Cárcamo** (aliciacarcamou@gmail.com), Universidad Autónoma Nacional de Honduras, UNAH. **Juan Gregorio Rejas Ayuga** (juangregorio.rejas@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de técnicas de teledetección para la identificación y el estudio de los cambios de estas coberturas de suelo ha supuesto un importante avance en cuanto al detalle y cantidad de información obtenidos. Se muestran en este trabajo el material disponible en la actualidad para realizar este tipo de estudios en la región y se discute el potencial de cada uno dependiendo de la zona, los recursos disponibles y el detalle buscado.

La teledetección espacial permite la disponibilidad de imágenes satelitales, las cuales pueden ser analizadas usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para establecer de manera automatizada los cambios ocurridos en el territorio en un amplio período de tiempo. La aplicación de técnicas de teledetección en conjunción con SIG para la identificación, estudio y análisis de los cambios de estas coberturas de suelo ha supuesto un importante avance en cuanto al detalle y extracción de clases espectrales e informacionales en un determinado área de estudio. Se presenta en este trabajo la cartografía temática generada y los resultados obtenidos, indicativos de la dinámica de usos de suelo en la región de Danlí y su entorno. Finalmente se analiza la metodología aplicada en lo referente a su impacto como importante herramienta de diagnóstico, así como en las tendencias que serán de utilidad para una mejor toma de decisiones en pro del desarrollo y bienestar de la zona y sus habitantes.

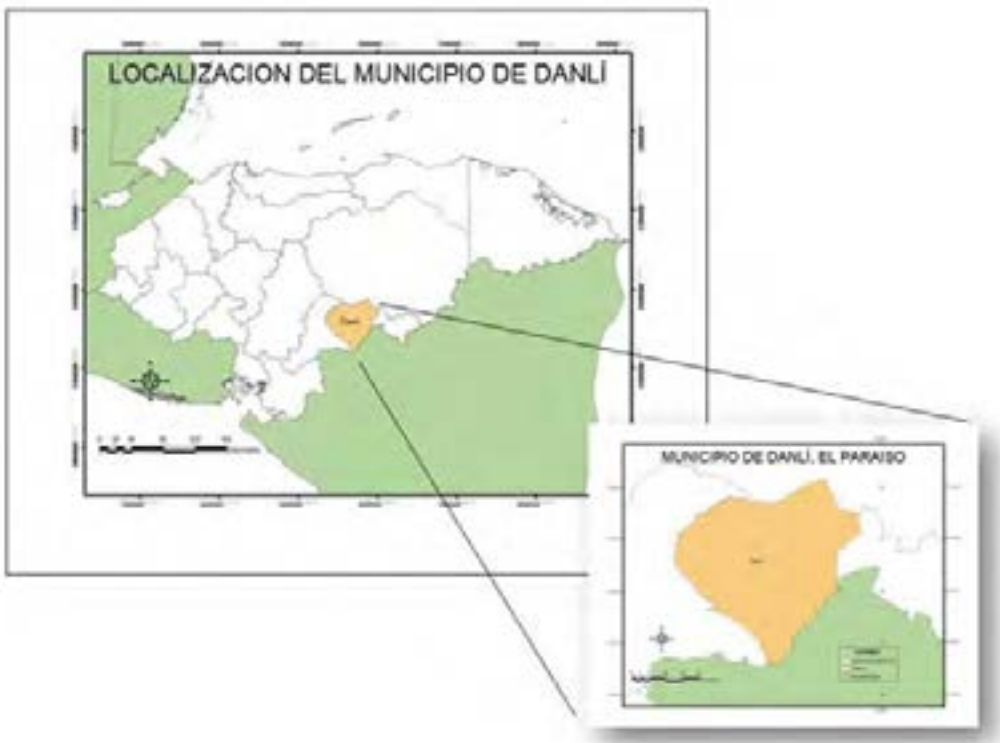
## 2. ÁREA DE ESTUDIO. MUNICIPIO DE DANLÍ Y ENTORNO

El municipio de Danlí, en el departamento de El Paraíso, tiene una extensión de aproximadamente 2,500 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en la zona oriental de Honduras, fronterizo con Nicaragua. Se compone de 37 aldeas, 652 caseríos con una población proyectada al 2010 de 181,587 habitantes (Secretaría de Gobernación).

El territorio es irrigado por los ríos San Francisco, Vallecillo, Siale, Guayambre y la quebrada El Magullar, entre otros de menor caudal. Dentro de los límites del municipio se encuentra una gran porción del Valle de Camastrón que es una zona dedicada a las labores agropecuarias, asimismo podemos encontrar bosques de Coníferas denso, coníferas ralo, latifoliado y bosque mixto (según clasificación de usos del suelo de 1995) y las zonas urbanas que incluye aldeas, caseríos y la zona urbana principal que lleva el mismo nombre del municipio. En la Figura 1 se muestran la localización de la zona de estudio.

La economía del municipio de Danlí está en la maquila del tabaco y sus productos agropecuarios. El tabaco suministra alrededor de 30.000 empleos directos en la fabricación de puros tipo cubano de exportación, el mayor comprador es los Estados Unidos con 80% de sus productos el resto Europa. En agricultura es uno de los mayores productores de maíz, sorgo y frijol del país junto al café, en menor escala tomate, chile picante y dulce, sandías, maracuyá. Se tiene un buen pie de cría en ganado, cerdos y pollos. En cuanto a la producción artesanal, se generan en la zona tallas en madera, fabricas de rosquillas, de queso y quesillo, dulces, vinos de frutas y la famosa mistela.

Figura 1: Zona de estudio. Municipio de Danlí, El Paraíso (Honduras)



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo de los SIG y la teledetección han abierto un amplio abanico de posibilidades de análisis territoriales, siendo en la actualidad una herramienta sumamente importante y útil para conocer la dinámica de cambio de coberturas y hacer proyecciones acertadas basadas en procesos analíticos. La teledetección permite, mediante sensores instalados en plataformas espaciales, la obtención de



imágenes de la superficie terrestre. Las imágenes captadas por estos sensores, imágenes satelitales, proveen una visión amplia de la superficie terrestre permitiendo una mejor comprensión de la organización espacial y brindan información que pasa desapercibida ante nuestros ojos como las bandas infrarrojas.

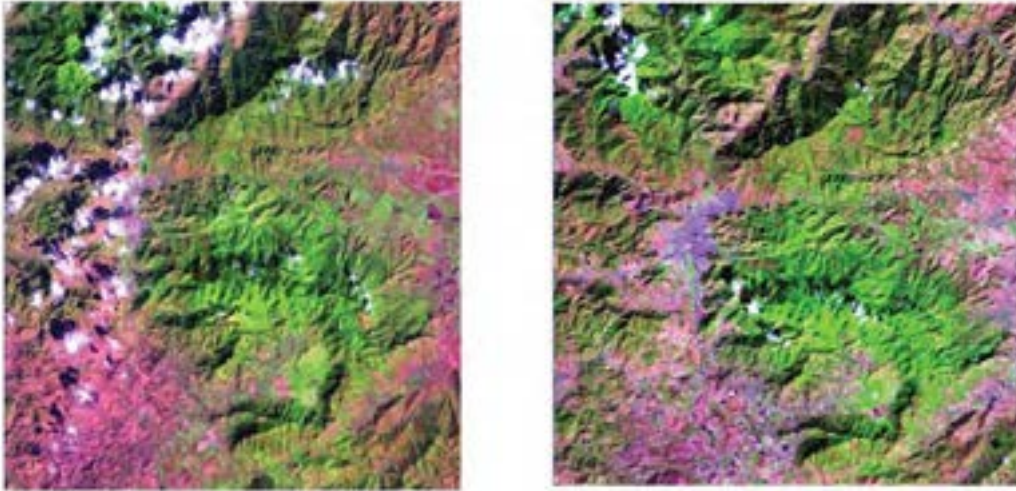
En este estudio se utilizó una serie de imágenes TM de LandSat 5 de los años 1987, 1997 y 2011, analizadas con el software Erdas Imagine. Se utilizaron coberturas existentes en el país, de límites administrativo para delimitar el área de estudio, áreas protegidas, capacidad de uso y clasificación Simmons del suelo, vías de comunicación, hojas cartográficas digitales así como de cobertura del suelo, que son generales para todo el país. Se realizó verificación de campo para la validación de los resultados obtenidos del análisis haciendo un recuento fotográfico y georreferenciación.

### 3.1 Datos Espaciales

El trabajo que se presenta supone un estudio inédito hasta la fecha en la zona, sobre los cambios de usos de suelo y su dinámica temporal en el período comprendido entre 1987 y 2011, utilizando una serie de imágenes TM de LandSat 5 y ETM+ de LandSat 7 USGS adquiridas a través de la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos – United States Geological Survey USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Las imágenes han sido pre procesadas, transformando a valores de reflectancia y aplicando fusión de imagen a los canales multi-espectrales del sensor con el canal pancromático en el caso del sensor ETM+.

Asimismo, el conjunto de datos espaciales ha sido georreferenciado en Sistema de Referencia WGS84 (*World Geodetic System 1984*) y proyección cartográfica UTM zona 16.

Figura 2: TM 1987 (izqda.) y 2011 (dcha.) rgb 5, 4, 1. Detalle de la ciudad de Danlí y entorno



### 3.2 Clasificación digital de imagen

Se ha seguido una técnica sucesiva de clasificación digital mediante un método no supervisado, extrayendo siete tipos de cubiertas principales en el área de estudio. El estudio de las coberturas vegetales se ha abordado desde una perspectiva global, intentando adoptar un sistema de clasificación adoptado internacionalmente que uniforme los estudios de coberturas que se realizarán en diferentes áreas de la región centroamericana. Se ha aplicado una variante del sistema LCCS (*Land Cover Classification System*) propuesto por la FAO (Di Gregorio y Jansen, 2000) y adaptado a las características y coberturas del terreno propias, y que ha sido ya utilizado con anterioridad en Centroamérica para estudios a nivel regional (Latifovic et al., 2004).

Las superficies objeto de estudio son las cubiertas presentes en las áreas urbanas y no urbanas de Danlí y su entorno. Los principales tipos de cubierta presentes en la zona responden a vegetación, suelos, cultivos y materiales artificiales habitualmente empleados en edificios destinados a vivienda y en edificios industriales, y asfalto en muy pequeño porcentaje respecto al global de la escena. Dentro de estos resultan de especial interés los que puedan producir una contaminación por contacto, como pueda ser el amianto, y los que por su propia naturaleza induzcan procesos dinámicos, como son los cultivos y las grandes áreas forestales (Arango et al., 2005).

La primera tarea, por lo tanto ha sido definir una leyenda (ver Tabla) con las

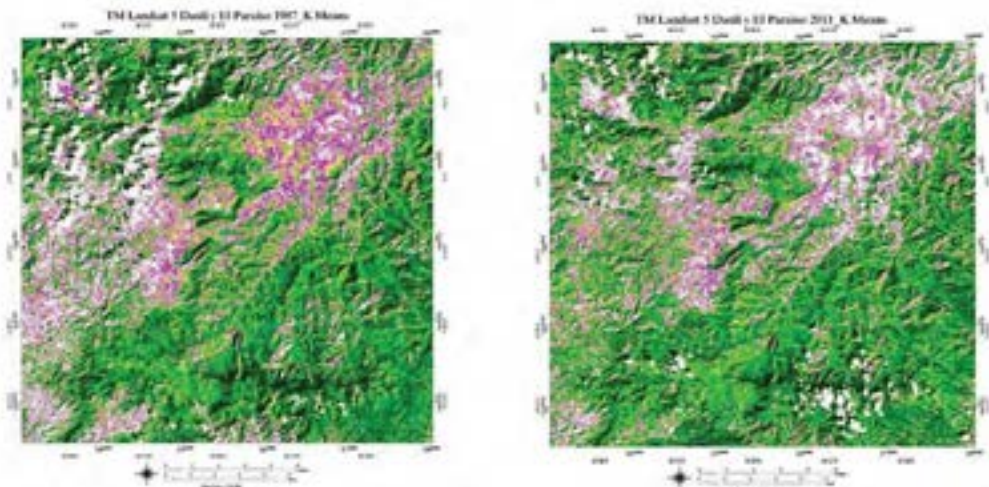
superficies de interés susceptibles de producir una respuesta registrada en el píxel de 15m y 30m de resolución espacial de la imagen, que abarcara la variabilidad de materiales y que supusieran a priori un valor añadido a la hora de confeccionar una actualización de la cartografía temática en un espacio, salvo las ciudades de Danlí y El Paraíso, eminentemente natural y rural.

El planteamiento metodológico propuesto está enfocado a la extracción de la información a partir de la propia imagen, minimizando el trabajo de campo y la información procedente de librerías espectrales.

La precisión de la clasificación obtenida fue testeada aplicando el método de la matriz de error. Como valor real de las clases se han empleado las imágenes de fotografía aérea. Se ha utilizado la orto imagen (fuente Google Maps, <http://maps.google.es>) resultante para el establecimiento de las áreas de chequeo de la clasificación.

Posteriormente, se ha calculado la matriz de contingencia, obteniéndose un parámetro kappa de 0.72. El margen de precisión de la clasificación ha resultado mayor del 79%, y el porcentaje de píxeles no clasificados el 1%, parámetros muy dependientes de las clases, del entrenamiento aplicado y de la resolución espacial de las imágenes.

Figura 3. Algoritmo K-Means aplicado a las imágenes TM 1987 (izqda.) y 2011 (dcha.)



Los algoritmos aplicados K-Means e Isodata discriminan satisfactoriamente distintos tipos de cubierta entre sí como puedan ser monte alto, monte en la-

dera, suelo desnudo, cultivos, vegetación en distintos estados fenológicos y en distintas ubicaciones (vegetación de ladera, vegetación de ribera, etc.), superficies artificiales típicas de entornos urbanos (hormigón, asfalto, cubiertas de edificios, tejas, etc.). Asimismo, se detecta aunque no se separan, dos clases informacionales más, sombras y nubes.

Las principales confusiones se han producido entre nubes y superficies de una reflectividad alta, como lo son las presentes en áreas urbanas, y entre sombras y distinto tipos de vegetación. También ha habido algún problema de confusión entre cubiertas con relleno de grava y caminos. Es decir, superficies de fondo que contienen materiales de composición coincidentes con los de las cubiertas muestran errores de confusión. Trabajos previos (Rejas et al., 2009) ponen de manifiesto la utilidad de líneas de contorno extraídas de la propia imagen para diferenciar espacios cerrados a nivel de suelo respecto de las cubiertas de edificios.

#### **4. DETECCIÓN DE CAMBIOS. VALIDACIÓN DE RESULTADOS**

Se ha realizado una validación de campo mediante el muestreo in situ de punto de test, que han sido georreferenciados y en los que se ha recogido información exhaustiva de las cubiertas presentes.




Para realizar la validación en las áreas de entrenamiento seleccionadas, se ha visitado la zona identificando el tipo de material en las cubiertas de interés. La clasificación basada únicamente en la imagen no requiere de un conocimiento previo de las diferentes tipos de superficie presentes, ni necesariamente de su firma espectral que se puede extraer de la imagen calibrada. Pero la validación y comprobación de la clases espectrales extraídas de los algoritmos K-Means e Isodata aplicados, sí que necesita de una supervisión e identificación de campo.

Se han registrado seis áreas de supervisión que eran accesibles, de las que se han tomado muestras para ser medidas con espectro radiómetro ASD Field-Pro

En la Tabla 1 se presentan fotografías con las coordenadas geográficas respectivas y descripción de las características de la cobertura del sitio para validar la clasificación digital realizada. Se hizo un recorrido por la zona, tomando los datos de las diferentes zonas de interés, tomando en cuenta la accesibilidad de los mismos.

Tabla 1. Áreas de verificación

Descripción y coordenadas	Fotografía
<p>Área de cultivo extensivo, pasto, granos básicos según la estación del año. El Benque, Jamastrán. Coordenadas (UTM) 16 P 0561787 1550609</p>	
<p>Grandes extensiones dedicadas al pastoreo de ganado vacuno principalmente. Para la obtención de productos cárnicos así como leche y sus derivados Coordenadas 16 P 0560733 1553703</p>	
<p>Bosque de Pino, en las afueras de Danlí, adyacente a la carretera, hace unos años esta zona fue afectada por una plaga de gorgojo del pino. Coordenadas 16 P 0549486 1553075</p>	

<p>Bosque mixto en el que se pueden identificar pino, roble, acacias entre otras,                  Coordenadas                  16 P 0550883                  1553271                  797 msnm</p>	
<p>Zona recientemente deforestada, anteriormente cubierta de pino.                   Coordenadas                  16 P 0553131                  1553295</p>	
<p>Parcela de suelo desnudo posterior a la cosecha de maíz, es espera de ser preparada para un nuevo ciclo de siembra.                  Coordenadas                  16 P 0559112                  1553862</p>	
<p>Guamil, área que fue utilizada para cultivo pero que ha sido cubierta por vegetación natural secundaria, principalmente espinos.                  Coordenadas                  16P 0559069                  1553740</p>	

Asimismo, se realizó un análisis espectral de laboratorio con el objeto de determinar los rasgos espectrales característicos de cada una de las áreas de entrenamiento seleccionadas. Para ello se han empleado los espectros medidos in situ en las mismas condiciones de observación e iluminación de las imágenes, y espectros de superficies artificiales procedentes de librerías espectrales. Se ha calculado la tasa de cambio, obteniéndose un parámetro kappa de la matriz de

confusión de 0.71, valor admisible e indicativo de la elevada precisión alcanzada en el proceso.

Figura 4: Detección de cambios entre 1987 (izqda.) y 2011 (dcha.), con áreas en rojo (+5) y en azul (-5) que mayor dinámica de cambio han experimentado (centro). Detalle de la ciudad de Danlí y alrededores.

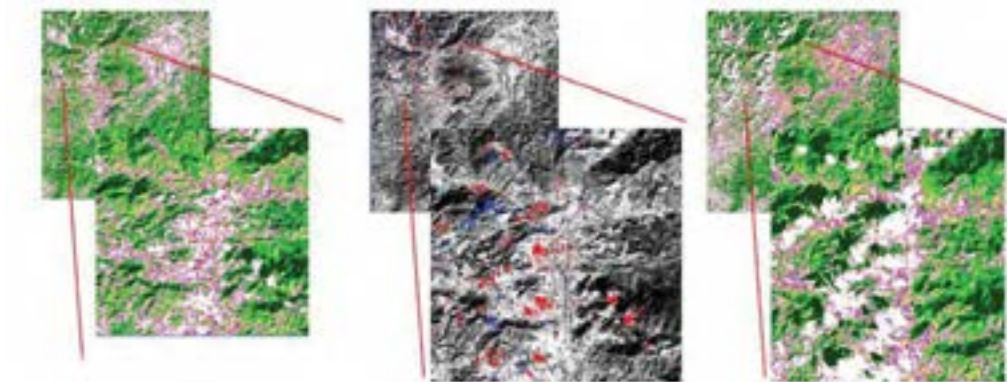


Tabla 2. Ejemplo de porcentajes de cambio en Danlí, ciudad y entorno, entre 1987 y 2011

	Mont2	Veget1	Urbano	Urb/C/N	Mont1	Veget2/P	Suelo lad
Monte1/sombra	22.381	5.677	0.716	1.991	54.605	2.117	1.174
Monte2/quebs	37.807	19.899	0.860	1.997	14.464	5.044	1.432
Veget 1/laderas	19.865	35.886	3.450	3.340	7.770	23.230	9.059
Veget 2/pastos 26.496	8.371	21.546	16.186	8.899	6.545	34.870	
Suelo/laderas 30.522	4.217	9.305	29.051	18.159	5.839	19.932	
Urbano 18.893	2.674	3.790	25.590	23.990	4.427	8.908	
Urba/Cul/Nubs 12.423	4.685	3.897	24.148	41.624	6.350	5.899	
Class Changes	62.193	64.114	74.410	58.376	45.395	65.130	69.478
<b>Image Difference</b>	<b>0.607</b>	<b>7.574</b>	<b>15.091</b>	<b>-21.274</b>	<b>-19.319</b>	<b>14.554</b>	<b>14.580</b>

Si bien se aprecia un cambio real entre determinadas clases informaciones (vegetación de ladera, urbano y cultivos, por ej.) en el período comprendido entre 1987, 1997 y 2011, se comprueba no obstante cómo los mayores porcentajes de cambio son debidos a causas coyunturales en las imágenes utilizadas, principalmente a la presencia de nubes y sombras, y también a los distintos estados fenológicos de cultivos y vegetación natural.

## 5. CONCLUSIONES

El área no presenta un cambio significativo en las diferentes coberturas, la variación en el uso es debido a la naturaleza agropecuaria de la zona, la estacionalidad de los diferentes cultivos y la dinámica normal de la población.

Es recomendable realizar monitoreos periódicos en las áreas de cultivo y establecer la dinámica de los mismos, realizar mapas de cultivo por estación del año, presencia de principales plagas agrícolas y zonas de incidencia para tomar medidas de prevención y saneamiento.

Verificar el crecimiento urbano y establecer si existen zonas de riesgo, establecer las mejores áreas para la expansión de núcleos urbanos, asegurando la sostenibilidad y sustentabilidad de los mismos.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración brindada por la coordinación de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y la Universidad de Alcalá de Henares para la realización de este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosio. Gonzales, J. y Arévalo, V., (2005). Detección de cambios urbanos mediante comparación de imágenes multitemporales. Málaga: Departamento de Ingeniería de Sistemas y automática. Universidad de Málaga.
- Antón-Pacheco, C., de Miguel E., Gumiel, J.C., Gómez, J.A., Gutiérrez, O., Rejas, J. G., Arranz, J., López, J.E., Baretino, D. y Jiménez, M., (1999). "Cartografía del vertido de lodos de la mina de Aznalcóllar mediante imágenes Dae-dalus ATM". Revista de teledetección de la Asociación Española de Teledetección (AET). Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc3\\_1.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc3_1.pdf)



- Arango G.,M.,Branch, John y Botero V. (2005). “Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: Landsat-ETM+” Revista FNA, Medellín. Vol. 58, No. 1, pp. 2611-2634.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental. Madrid: Editorial Ariel.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M. (2000). “Land Cover Classification System (LCCS)”. F.A.O.
- Latifovic R., Zhi-Liang Zhu, Cihlar J., Giri C., Olthof I. (2004). “Land cover mapping of North and Central America--Global Land Cover 2000” Remote Sensing of Environment, 89: 1, 116-127.
- Rejas J.G. Malpica J. A. y Martínez R. (2007). “Aplicación de teledetección hiperespectral en la identificación de cubiertas en áreas semi-urbanas”. Congreso Internacional, 7ª Semana de Geomática, Barcelona (España) 20-23, febrero 2007.
- Salvatierra, H. y Pérez U. (1997). “Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra con apoyo de los sensores remotos” VIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Mérida, Venezuela. Disponible en:[http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home\\_1/rec/arc\\_6010.pdf](http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_6010.pdf)
- Secretaría de Gobernación y Justicia de Honduras (s.f.). “Cuadro de intervenciones de ordenamiento territorial en el municipio” Unidad de registro de normativas de ordenamiento territorial RENOT. Disponible en: <http://www.gobernacion.gob.hn/MapasDGOT/mapapot.html>

# *Detección de anomalías mediante espectrometría de imagen en la cordillera volcánica central de Costa Rica. Implicaciones en la exploración planetaria*

Juan Gregorio Rejas Ayuga, Rubén Martínez Marín, Javier Bonatti, Jesús Martínez-Frías y Miguel Marchamalo Sacristán

## **Resumen**

El objetivo del presente trabajo es el estudio comparativo de métodos de cálculo de anomalías espectrales a partir de espectrometría de imagen en distintas áreas de test de la Cordillera Volcánica Central (CVC) de Costa Rica. En la detección de respuestas anómalas se asume un no conocimiento previo de los objetivos, de tal manera que los píxeles se separan automáticamente en función de su información espectral significativamente diferenciada respecto de un fondo que se estima, bien de manera global para toda la escena, bien localmente por segmentación de la imagen.

Se han utilizado rangos del espectro visible-infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR) y térmico (TIR) de cubos de datos hiperspectrales procedentes de los sensores aeroportados HyMAP y MASTER. Se han diseñado experimentos sobre escenarios naturales de la CVC, urbanos y semiurbanos de diferente complejidad, analizando el comportamiento del detector de anomalías estándar RX y métodos distintos basados en proyección de imagen y reducción de la dimensionalidad. Se discuten los resultados obtenidos y se realiza una aproximación sobre la implicación como homólogos terrestres en exploración planetaria.

**Palabras clave:** Anomalías espectrales. Hiperspectral. Reconocimiento automático de patrones. Exploración planetaria.

## **Abstract**

The aim of this work is the comparative study of methods for calculating spectral anomalies from imaging spectrometry test in several areas of the Central Volcanic Range (CVC) of Costa Rica. In the detection of anomalous responses is assumed

no prior knowledge of the targets, so that the pixels are automatically separated according to their spectral information significantly differentiated with respect to a background to be estimated, either globally for the entire scene, either locally by the image segmentation.

We used spectral ranges of visible-near infrared (VNIR), shortwave infrared (SWIR) and thermal (TIR) data cubes hiperepectrales from HyMAP airborne sensors and MASTER. We have designed experiments on natural scenes of the CVC, urban and semi-urban of different complexity, analyzing the behavior of the standard RX anomaly detector and different approaches based on imaging and dimensionality reduction. We discuss the results and is an approximation of the involvement as terrestrial counterparts in planetary exploration.

**Keywords:** Spectral Anomaly. Hydrothermal Alteration. Hyperspectral. Multisensor.

---

**Juan Gregorio Rejas Ayuga** (rejasaj@inta.es, juangregorio.rejas@upm.es), Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA; Universidad Politécnica de Madrid, UPM. **Rubén Martínez Marín** (ruben.martinez@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM. **Javier Bonatti** (jbonatti2011@gmail.com), Universidad de Costa Rica, UCR. **Jesús Martínez-Frías** (jmfrias@cab.inta-csic.es), Centro de Astrobiología CAB, INTA-CSIC; Universidad Politécnica de Madrid, UPM. **Miguel Marchamalo Sacristán** (miguel.marchamalo@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM.

## INTRODUCCIÓN

La detección de anomalías espectrales tiene por objeto extraer de manera automática píxeles de imagen que responden significativamente diferente respecto su entorno. Distintos métodos (ver Bibliografía) se han desarrollado en las últimas décadas que han supuesto la mejora en el establecimiento de relaciones entre la dimensionalidad de los datos hiperespectrales y la optimización de los procesos de búsqueda (Duran y Petrou, 2007; Shaum, 2005; Stein et al., 2002), así como la diferenciación sub píxel de la mezcla espectral y su implicación en las respuestas anómalas (Bar et al., 2010; Eismann et al., 2009; Manolakis y Shaw, 2002).

En otro sentido, la espectrometría de imagen se ha mostrado eficaz para la caracterización de minerales en base a métodos estadísticos que utilizan las bandas reflectivas y absortivas diagnóstico de estos. Configuraciones hiperespectrales en rangos del infrarrojo de onda corta (SWIR), infrarrojo cercano y visible (VNIR) han permitido cartografiar materiales de alteración hidrotermal en distintos escenarios geológicos (Antón-Pacheco et al., 2001; Crosta et al., 2003). Trabajos previos han demostrado la aplicación en mineralogía de rangos del espectro electromagnético en el infrarrojo térmico y fusión en la región de las microondas para detectar contaminación, materiales enterrados (Nasrabadi, 2008; Rejas et al., 2010), etc.

Un aspecto relevante en nuestro estudio es establecer relaciones que permitan conectar las anomalías espectrales con lo que podemos denominar anomalías informacionales. Es decir, información relacionada con la respuesta anómala más allá de ser producto de una diferenciación significativa respecto de un fondo. Interesa por lo tanto conocer qué información nos proporciona la respuesta anómala detectada y caracterizar en qué condiciones se produce.

Se presenta en este sentido una aproximación multifuente, como estudio de la correlación entre anomalías espectrales y materiales de alteración hidrotermal en los complejos volcánicos de Turrialba, Irazú y Poás, situados en la Cordillera Volcánica Central (CVC) de Costa Rica. Asimismo se analiza la influencia de la resolución espectral en la determinación del fondo, aspecto crítico en el cálculo de anomalías. Se comparan los resultados con índices de vegetación y suelo en una zona con actividad geotérmica y vulcanológica creciente, por lo que, debido a la cercanía de núcleos urbanos, hacen especialmente necesario un seguimiento en la evolución de su estado.

Finalmente, se avanza el estudio de bandas diagnóstico de espectros y su relación como valores atípicos en la detección de anomalías para un análisis

espectral automatizado en geología y exploración planetarias.

## 1. DATOS Y PRE PROCESO

Se han analizado datos de sensores aeroportados y satelitales en una estrategia multiescala. Se ha utilizado imágenes de reflectancia del sensor HyMAP (Cocks et al., 1998) y del sensor MASTER (Hook et al., 2001), adquiridas ambas el 7 de marzo de 2005 sobre el volcán Turrialba y entorno. La escena HyMAP (125 bandas entre 0.4589mm y 2.491mm) tiene una dimensión de 710 x 2415 píxeles, con una resolución espacial de 15 m. La escena MASTER es de 1650 x 4466 píxeles, de resolución espacial de 9m y codificación radiométrica 16 bit. Los 50 canales de imagen de MASTER se agrupan en un puerto de 25 canales en el VNIR-SWIR (0.463mm a 2.427mm), y 25 canales entre 3.075mm y 13mm del MIR-TIR.

- Se han utilizado escenas ASTER comprendidas en un período entre 2002 y 2010, y una escena Hyperion del 5 de marzo de 2010 adquiridas a través de EarthExplorer del USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Se ha aplicado un algoritmo MNF (Minimum Noise Fraction) que ha permitido reducir el ruido en las imágenes HyMAP y MASTER. Se han desechado los canales de los sensores que presentaban una relación señal/ruido elevada, canales 62 a 65 y 125 en el caso de HyMAP, y canales 16 a 19, 25 a 41 y 50 para las imágenes MASTER.

Las imágenes aeroportadas han sido georreferenciadas directamente mediante el algoritmo GLT de ENVI, utilizando para ello la geometría calculada a partir de datos de posición y orientación medidos por sistemas inerciales GPS/IMU en el momento de adquisición sobre el área de estudio.

## 2. ANÁLISIS EXPLORATORIOS

Se han aplicado técnicas exploratorias de imagen cuyo objetivo es contrastar parámetros biofísicos y obtener una primera aproximación del estado de la vegetación y los suelos en el entorno de Turrialba.

Se ha realizado un chequeo de las transformaciones radiométricas y geométricas de las imágenes a partir de datos medidos en campañas de supervisión. En agosto de 2010 y febrero de 2012 se ha llevado a cabo un reconocimiento sobre el terreno, que ha permitido muestrear 29 y 20 puntos respectivamente, medidos en campo y en laboratorio con radiómetros USB400 y ASD FieldSpec

Hi-Re. Los espectros se han utilizado para caracterizar los materiales de alteración hidrotermal y para comprobar la reflectancia de las imágenes HyMAP y MASTER mediante una regresión empírica lineal.

Se ha contrastado la georreferenciación de las imágenes mediante 50 check points medidos en el terreno en proyección cartográfica UTM zona 17 y Datum WGS84, obteniendo un error absoluto planimétrico de 3.2 y 1.9 píxeles, respectivamente para las imágenes MASTER y HyMAP.

Se han calculado índices de vegetación y de suelo para el conjunto de las imágenes. Se han calculado tres índices de vegetación a partir de los valores de reflectancia de las imágenes hiperespectrales. Se ha generado el NDVI (Rouse et al., 1974) para evaluar la estimación de la cubierta (IAF), y el cociente (Berni et al., 2010) entre el índice de reflectancia transformada por la absorción de la clorofila (TCARI) y el índice de vegetación del suelo ajustado optimizado (OSAVI).

$$NDVI = \frac{\rho_{\mu NIR} - \rho_{\mu R}}{\rho_{\mu NIR} + \rho_{\mu R}} \quad (1)$$

Donde  $\rho_{\mu NIR}$  = reflectancia de banda del infrarrojo próximo

$$\frac{TCARI}{OSAVI} = \frac{3 \cdot [(\rho_{\mu 700} - \rho_{\mu 670}) - 0.2 \cdot (\rho_{\mu 700} - \rho_{\mu 550}) \cdot (\rho_{\mu 700} - \rho_{\mu 670})]}{(1 + 0.16) \cdot (\rho_{\mu 800} - \rho_{\mu 670}) / (\rho_{\mu 800} - \rho_{\mu 670} + 0.16)} \quad (2)$$

Donde  $\rho_{\mu i}$  = reflectancia de la banda i.

Con ello se pretende evaluar la influencia de la cubierta de vegetación, abundante en la zona de estudio, en el análisis de imagen posterior, y estimar el impacto de la actividad de los complejos volcánicos en las laderas y zonas próximas. Se observa en los índices calculados a partir de la serie temporal de escenas ASTER, el efecto acusado de lluvia ácida sobre el vigor en la vegetación en una marcada dirección oeste al noroeste de los cráteres.

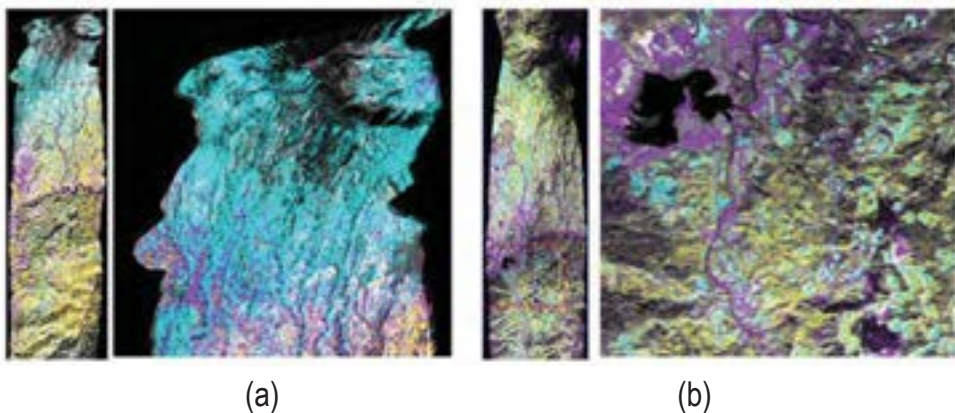
### 3. ANÁLISIS HIPERESPECTRAL Y DETECCIÓN DE ANOMALÍAS

#### 3.1 Alteración hidrotermal en la CVC

Existen minerales claramente indicativos de la presencia de alteración hidrotermal que podemos detectar remotamente a partir de su respuesta espectral en bandas diagnóstico de absorción y reflexión (Antón-Pacheco et al., 2001; Bataller et al., 2010). Estas características espectrales que los hacen únicos, las podemos extraer de imágenes hiperespectrales convenientemente calibradas. Minerales arcillosos, tales como caolinita, illita y alunita, presentan una alta reflectancia entre las longitudes de onda de 1,55mm y 1,75mm, y una alta absorción entre de 2,08mm y 2,35mm. Otra característica adicional para identificar estos minerales es que las rocas que no han sufrido el proceso hidrotérmico, por lo general presentan valores normales en las longitudes de onda antes mencionadas. Los minerales con alto contenido en Fe presentan un contraste muy elevado entre las longitudes de onda 0,63mm y 0,69mm y longitudes de onda de 0,45mm a las 0,52mm.

Hemos seleccionado cuatro variables de imagen para analizar sus componentes principales (ACP) diferenciados por grupos de bandas, dos altamente reflectantes y dos altamente absorbentes para cada mineral (Crosta et al., 2004). En el caso de las imágenes HyMAP se han seleccionado las siguientes bandas en los sucesivos PCA: para illita, canales 6, 25, 105 y 108; para alunita canales 6, 25, 105 y 116; para caolinita canales 6, 81, 108 y 116; para caolinita + esmecita canales 6, 81, 108, 119. Para el grupo de minerales de Fe, como la goethita, hematita y jarosita, se han utilizado los canales HyMAP 4, 32, 62 y 103 y para la montmorillonita los canales 4, 25, 81 y 94.

Figura 1: Abundancia de minerales de alteración hidrotermal (Alu-cyan, Illi-amarillo, Caol-morado, Caol+Esme-morado 2, Mont-marrón) a partir de HyMAP, detalle en el volcán Turrialba de la CVC (a) y MASTER, de talle de la ciudad de Turrialba (b)



En el caso de de las imágenes MASTER se han realizado análisis de componentes principales diferenciados para cada mineral a partir de las siguientes lon-

gitudes de onda: canales 4, 8, 21 y 24 para alunita; canales 4, 8, 21 y 22 para illita; canales 4, 13 22 y 24 para caolinita.

Los resultados obtenidos para HyMAP y MASTER se han clasificado mediante el algoritmo K-Means, calculando matrices de confusión a partir del muestreo de campo como valor real. Para HyMAP se ha obtenido un solape de precisión al 82.56% y coeficiente Kappa de 0.75. Para MASTER se ha obtenido un solape de precisión al 75.11% y coeficiente Kappa de 0.69.

Los resultados están muy influenciados por la cubierta vegetal, que actúa como aporte erróneo de reflectancia en el cálculo de las nuevas variables o CPs. Sin embargo, se observa la escasa presencia de materiales arcillosos de alteración fílica, lo que contrasta con la abundancia de los componentes de óxido de hierro.

### 3.2 Detección de anomalías espectrales en la CVC

Se ha aplicado al conjunto de las imágenes el algoritmo RX (Reed y Xao-li, 1996) admitido ampliamente como un estándar en la detección de anomalías espectrales. Se han contrastado las anomalías obtenidas por RX con las calculadas mediante projection pursuit (Malpica et al., 2008), mediante un método SSRX basado en subespacios hiperespectrales y mediante ortoproyección subespacial - OSPRX (Borghys et al. 2012). Para todos los métodos se ha separado el cálculo por rangos de canales reflectivos y emisivos. En el caso de las imágenes MASTER, se ha focalizado en los canales térmicos de MASTER fusionados con fotografía aérea a 2.5m de resolución, para mejorar la separabilidad de clases manteniendo la información espectral (Rejas et al., 2007). Se han obtenido 8 nuevas variables a partir de los canales MASTER 42 a 49. La variable 6 proyectada registra menor concentración de humedad, y se observa que corresponde a una región amplia y bien delimitada en el noroeste de Turrialba, para esta área analizada.

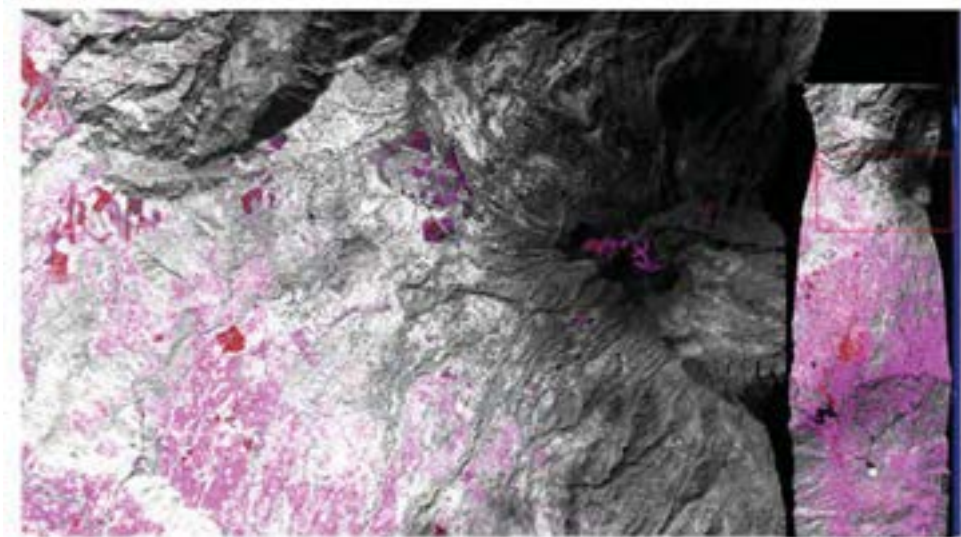
Se ha llevado a cabo además un reconocimiento de patrones. Para las imágenes MASTER y ASTER se ha calculado un índice térmico (Rejas et al., 2012) aprovechando la capacidad de separación entre las cubiertas del espectro emisivo de estos dos sensores. Se han generado convoluciones de imagen utilizando un filtro de mediana, que posteriormente han intervenido en un cociente entre las longitudes de onda 10.16mm y 12.21mm, corregido por la razón entre las ganancias respectivas de los canales. La variable resultante se ha umbralizado para resaltar píxeles detectados como posibles anomalías.



$$THI = \frac{[conv(L_{\mu 10.16}) - conv(L_{\mu 12.21})]}{0.24 \cdot [conv(L_{\mu 10.16}) - conv(L_{\mu 12.21})]} \quad (3)$$

Donde conv = imagen convolucionada y  $L_{\mu}$  = radiancia en el sensor por longitud de onda.

Figura 2: Índice térmico THI (rojo-violeta) entre 10.16mm y 12.21mm sobre canal 6 en nivel de gris de MASTER. Detalle Volcán Turrialba y laderas



### 3.3 Resultados y discusión

Se ha estudiado la relación entre las anomalías espectrales y las alteraciones hidrotermales obtenidas en los anteriores apartados. Para ello se ha ajustado linealmente un espacio muestral de 35 pares de puntos, anomalías espectrales en el eje Y y minerales alterados en el eje X. Todos las regresiones se han calculado a un nivel de confianza del 95%, eliminando en cada ajuste los valores muestrales que presentaban residuos inusuales, que se correspondían principalmente con nubes y sombras. Los resultados obtenidos se resumen en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Comparación de relaciones entre anomalías espectrales y alteración hidrotermal a partir de imágenes HyMAP.

<i>Modelos para HyMAP</i>	<i>P-valor</i>	<i>Correlación</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
$RX = 1101,61 + 9,86744 * Alunita$	0,0001	0,850365	72,31%
$RX = -1528,05 - 1,92404 * Illita$	0,0379	-0,554625	30,76%
$RX = -611,046 + 1,03826 * Caolinita$	0,0515	0,511091	26,12%
$RX = 739,318 - 7,59725 * Caol + Esmecita$	0,0182	-0,599314	35,92%
$RX = 834,65 + 3,50578 * minerales Fe$	0,0153	0,611924	37,45%
$RX = -796,88 - 1,47957 * Montmorillonita$	0,0851	-0,45922	21,09%

Tabla 2: Comparación de relaciones entre anomalías espectrales y alteración hidrotermal a partir de imágenes MASTER

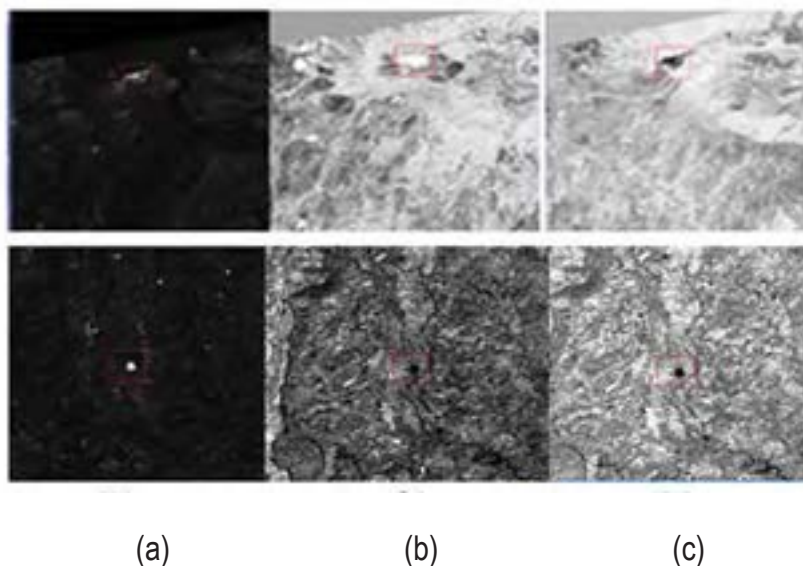
<i>Modelos para MASTER</i>	<i>P-valor</i>	<i>Correlación</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
$RX = 79,4678 - 0,579643 * Alunita$	0,0004	-0,811637	65,88%
$RX = 69,1488 - 0,50982 * Illita$	0,0001	-0,855083	73,12%
$RX = 126,893 - 0,905153 * Caolinita$	0,0178	-0,620723	38,53%

De los modelos lineales generados, el que obtiene un más alto valor de R cuadrado de 73.12% se corresponde con el de RX- Illita para las imágenes de MASTER.

El valor P obtenido inferior a 0.05 en todos los casos, salvo para RX-caolinita y RX-montmorillonita a partir de HyMAP, indica que hay una relación estadísticamente significativa y no hay ninguna indicación de autocorrelación serial en los residuos en el nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-cuadrado indica que los modelos ajustados explican en diferentes porcentajes la variabilidad entre alteración hidrotermal y anomalías espectrales. Los coeficientes de correlación máximos (-0.831632 y 0.850365) indican una relación moderadamente fuerte entre las correspondientes variables.

Figura 3: Detalle anomalías espectrales SSRX (a), Alunita (b) e Illita (c) de HyMAP 2005 (Superior). Detalle de anomalías espectrales OSPRX (a), Alunita (b) e Illita (c) de MASTER

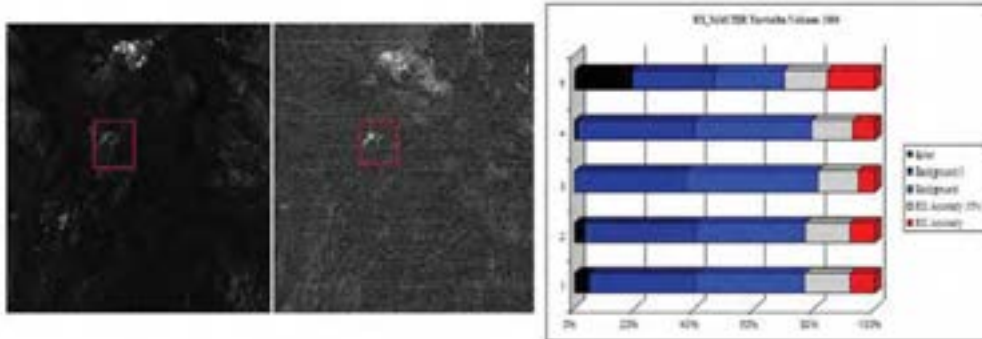


Existe correlación, positiva o negativa dependiendo del caso, entre las alteraciones hidrotermales detectadas y las anomalías espectrales calculadas a partir de los canales reflectivos de HyMAP.

En el caso de las anomalías térmicas, no es tan consistente esta relación. Sin embargo, esta sí se evidencia con parámetros biofísicos calculados y con efectos asociadas a la actividad de los volcanes. Un caso particular es el del propio cráter, que se detectan como anomalías térmicas, pero pasan casi desapercibidos como anomalías espectrales en el rango reflectivo.

La alteración hidrotermal detectada a partir de HyMAP en CVC y entorno, está vinculada a áreas de cultivos o suelo desnudo y a superficies artificiales (cubiertas de edificaciones principalmente). Esto no implica que en los alrededores de estas zonas no existan minerales de alteración hidrotermal. Se observa que la detección está fuertemente influenciada por el aporte de la amplia, densa y homogénea cobertura natural de vegetación en la información espectral registrada por los sensores espaciales.

Figura 4: Anomalías RX de canales VNIR (izqda.) y TIR de MASTER (centro). Comparación de métodos de detección de anomalías RX para MASTER: (1) Todos los canales, (2) sólo VNIR, (3)



Se ha analizado la influencia de las bandas de absorción y reflexión en la detección de anomalías espectrales por los diferentes métodos mencionados. La diferencia entre las anomalías espectrales con y sin bandas de diagnóstico en el VNIR para el caso HyMAP es el 0,75%, y para el caso de MASTER es el 0,84%, mientras que la diferencia para la detección del fondo espectral es de -2,52% y -2,32%, respectivamente.

## CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio comparativo de distintos métodos de detección de anomalías espectrales a partir de imágenes HyMAP y MASTER en áreas de test de la Cordillera Volcánica Central (CVC) de Costa Rica.

Se ha comprobado que la mayor resolución espectral de las imágenes mejora la precisión en la detección de bandas diagnóstico de los minerales de alteración hidrotermal analizados. Una mayor dimensionalidad de los datos implica no obstante un mayor número de muestras para caracterizar clases de materiales.

Mayores concentraciones de minerales de alteración hidrotermal, en escenarios en los que las fuentes de error (principalmente la vegetación) se minimizan, están correlacionadas con las anomalías calculadas en el rango espectral reflectivo. No se ha establecido una relación clara entre anomalías térmicas y minerales analizados.

La mezcla espectral, asociada directamente con la resolución espacial de los sensores aeroportados y satelitales utilizados, repercute significativamente en

la caracterización del fondo, y consiguientemente en las anomalías espectrales calculadas. Los resultados obtenidos por los distintos métodos de detección de anomalías espectrales desarrollados se ven afectados así mismo por la selección de bandas de absorción y reflexión, mejorando estos al considerar en el cálculo la respuesta en longitudes de onda diagnóstico de determinados materiales.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten considerar adecuadas determinadas áreas de la CVC como análogos terrestres en exploración planetaria mediante teledetección hiperespectral.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antón-Pacheco, C., Rowan, L.C., Mars, J.C. and Gumiel, J.C., (2001). "Characterization of mine materials and hydrothermally altered rocks in the rio Tinto minning districy (southwest Spain) using HyMAP data". *Revista de Teledetección*. Number 16: 65-68 pp.
- Bar, D.O., Wolowelsky, K., Swirski, Y., Figov, Z., Michaeli, A., Vaynzof, Y., Abramovitz, Y., Ben-Dov, A., Yaron, O., Weizman, L. and Adar, R. (2010). "Target detection and verification via airborne hyperspectral and high-resolution imagery processing and fusion". *Ieee Sensors Journal*, Vol. 10, No. 3, March.
- Bataller, F.J., Rejas, J.G., Bonatti, J., Marchamalo, M. and Martínez, R. (2010). "Detection of hydrothermal alteration using a principal component analysis applied to hyperspectral HyMAP data on the Turrialba volcano, Costa Rica" *Geomatica Week International Congress*, Barcelona (Spain), 23-25 February 2011.
- Berni, J.A., Zarco-Tejada, P., Suárez, L and Fereres, E. (2010). "Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 47, No. 3., March 2009.
- Borghys, D., Achard, V., Kasen, I. and Perneel, C. (2012). "Comparative evaluation of hyperspec-tral anomaly detection methods in scenes with diverse complexity". In Proc. OPTRO2012 Symposium on Optronics in Defence and Security, Paris, France.
- Cipar, J., Anderson, G. and Cooley, T., (2011). "Active volcano

monitoring using a space-based short-wave infrared imager". *Proceedings WHISPERS 2011*, Lisbon (Portugal) 6-9 June.

- Cocks T., R. Jenssen, A. Stewart, I. Wilson, and T. Shields (1998). "The HyMAP Airborne Hyperspectral Sensor: The System, Calibration and Performance" Proc. 1st EARSeL *Workshop on Imaging Spectroscopy* (M. Schaepman, D. Schläpfer, and K.I. Itten, Eds.), 6-8 October, Zurich, EARSeL, Paris, p. 37- 43.
- Crosta, A. P., Filho, C. R. de Souza, Azevedo, F. and Brodie, C. (2003). "Targeting key alteration minerals in epithermal deposit in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis". *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 4233-4240.
- Duran, O. and Petrou, M. (2007). "A time-efficient method for anomaly detection in hyperspectral images". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 12, December.
- Eismann, M.T., Stocker, A.D. and Nasrabadi, N.M. (2009). "Automated Hyperspectral Cueing for Civilian Search and Rescue" *Proceedings of the IEEE*, No. 6, June.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J. and Dextraze, T. (2002). "Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture". *Remote Sensing of Environment.*, vol. 81, no. 2/3, pp. 416-426, Aug.
- Hook, S. J. Myers, J. J., Thome, K. J., Fitzgerald, M. and A. B. Kahle (2001). The MODIS, ASTER airborne simulator (MASTER), a new instrument for earth science studies." *Remote Sensing of Environment*, vol. 76, Issue 1, pp. 93-102.
- Manolakis, D. and Shaw, G. (2002). "Detection Algorithms for Hyperspectral Imaging Applications". *IEEE Signal Processing Magazine*, January.
- Malpica, J.A., Rejas, J.G. and Alonso, M.C. (2008). "A projection pursuit algorithm for anomaly detection in hyperspectral imagery". *Pattern Recognition* 41 (11) pp. 3313-3327, 2008. Nasrabadi, N.M.

(2008). "Multisensor Joint Fusion and Detection of Mines Using SAR and Hyperspectral". *Proceedings of IEEE Sensors 2008 Conference*.

- Reed, I.S. and Xiaoli, Y., (1990). "Adaptative multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distributio"n. *IEEE Transactions on Acoustics. Speech and Signal Processing*, Vol. 38, No 10, October.
- Rejas, J.G., Martínez R. and Malpica J.A. (2007). "Hyperspectral remote sensing application for semi-urban areas monitoring". URBAN 2007 4th IEEE GRSS/ISPRS Joint Workshop on *Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Paris (France) 11-13 April.
- Rejas, J.G., Burillo, F., López, R., Cano, M.A., Sáiz, M.E., and Farjas, M., (2010). "Integrating SAR data and hyperspectral analysis for the archaeological survey of the Segeda city, Spain. 3th International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Tiruchirapalli (India)" BAR International Series 2118.
- Rejas, J.G., Martínez-Frías, J., Bonatti, J., Martínez, R. and Marchamalo, M. (2012). "Anomaly detection and comparative analisis of hydrothermal alteration materials trough hyperspectral multisensor data in the Turrialba volcano" XXII ISPRS *International Conference*, Melbourne, Australia.
- Rondeaux, G., Steven, M. and Baret, F. (1996). "Optimization of soil-adjusted vegetation indices" *Remote Sening of Environment.*, vol. 55, no. 2, pp. 95–107, Feb.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. and Harlan, J.C. (1974). "Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation". Final Report. NASA/GSFC, Greenbelt, D, p. 371.
- Schaum, A., (2005). "Hyperspectral detection algorithms: Operational, next generation, on the horizon". *Proceedings of the 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop (AIPR05)*.

- Stein, D.W.J., Beaven, S.G., Hoff, L.E., Winter, E.M., Schaum, A.P. and Stocker, A.D. (2002). "Anomaly Detection from Hyperspectral Imagery". *IEEE Signal Processing Magazine*, January.



# *Desarrollo de una solución de inteligencia de negocios para integrar datos de censo y encuesta en un SIG*

R. Cornejo, M. Navarrete,  
R. Valdivia, P. Aroca, S. Aracena

## **Resumen**

En este trabajo se presenta el desarrollo de una solución de Inteligencia de Negocios para gestionar el gran volumen de datos generados a partir de dos instrumentos de recolección, como lo son el censo nacional de personas, hogares y viviendas y la encuesta de hogares (CASEN); con el objetivo de desarrollar una plataforma de gestión de bases de datos en variables socioeconómicas para consulta y visualización cartográfica micro territorial integrada. Esta solución involucra la implementación de un almacén de datos intermedio que permite tener una visión conjunta de ambas fuentes de datos. La integración de datos se realiza mediante la técnica de matching espacial que requiere unas condiciones de homogeneidad entre ambos instrumentos respecto de las características de la muestra, de las unidades administrativas de desagregación espacial y respecto de las preguntas de recolección de datos. Utilizando los códigos de localización espacial incorporados en una base de datos espacial y a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG); se añaden herramientas de visualización cartográfica, lo que facilita la observación y análisis de las relaciones espaciales entre las unidades geográficas administrativas, así como la observación y análisis de las particularidades intrarregionales. Como aplicación, se presenta la distribución del ingreso per cápita de los hogares en unidades intracomunales, información que no se ha obtenido hasta ahora puesto que los datos de ingreso de los hogares que entrega la encuesta de hogares no permiten una desagregación menor a la comuna.

**Palabras clave:** Inteligencia de negocios. Matching espacial. Base de datos espacial. Sistema de Información Geográfica.

## **Abstract**

In this paper we present the development of a Business Intelligence solution to manage the large volume of data generated from two data collection instruments, such as the National Census of people, households and housing and the Household Survey with the aim to develop a platform management integrated of databa-

ses for consultation of socioeconomic variables microterritorial with cartographic visualization. This solution involves the implementation of an Intermediate Data Warehouse that allows an overview of both data sources. Data integration is done by Spatial Matching technique that requires homogeneity conditions between the two instruments on the sample characteristics, the administrative units of spatial disaggregation and the answer or questions in the data. Using spatial location codes incorporated in a Spatial Database a through Geographic Information System (GIS), are added cartographic visualization tools, which facilitates the observation and analysis of spatial relationships between administrative geographical units and as observation and analysis of intra-regional particularities. In the application, we present the distribution of income per capita household in intracommunal units, information that has not been achieved so far as the data of household income in the household survey does not allow one disaggregation less than the Commune.

**Keywords:** Spatial Matching. Spatial Data Base. Business Intelligence Solution. Geographic Information System.

---

**R. Comejo** (rcomejo@uta.cl), Universidad de Tarapacá. **M. Navarrete** (monica.navarrete@gmail.com), Universidad de Tarapacá. **R. Valdivia** (rvaldivi@uta.cl), Universidad de Tarapacá. **P. Aroca** (patricio.aroca@uai.cl), Universidad Adolfo Ibáñez. **S. Aracena** (sebastian.aracena.aguirre@gmail.com), Universidad de Tarapacá.

## INTRODUCCIÓN

Sin duda que la contribución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) al tratamiento y análisis de los datos de tipo espacial han facilitado el estudio de eventos socioeconómicos claves para la elaboración de políticas públicas relacionadas con, por ejemplo, programas de superación de la pobreza, programas de control ambiental y/o programas de intervención urbana. Uno de estos eventos ha sido la representación espacial de la distribución del ingreso per cápita de los hogares (véase Elbers, Lanjouw y Lanjouw, 2003; Minot y Baulch, 2005) utilizado en la construcción de mapas de pobreza regional aplicado en más de 40 países para obtener distribuciones espaciales de la pobreza, riqueza y/o desigualdad y que como se reconoce en Elbers y Lanjouw (2012), buscan orientar espacialmente la intervención pública ayudando así a comprender los beneficios de la descentralización con un mayor foco en el desarrollo centrado en la comunidad. Para Chile, aplicaciones de lo anterior lo vemos en Agostini, Brown y Góngora (2008), en Agostini et al (2010) y en Modrego et al (2008, 2012). Sin embargo, en la construcción de estos mapas de pobreza, los SIG son subutilizados al asignarles sólo la representación visual del ingreso o tasa de pobreza geográfica. En este trabajo se propone el desarrollo de una solución de inteligencia de negocios para integrar y gestionar datos de encuesta y censo en un SIG, logrando de esta manera no sólo generar los mapas de pobreza sino que aprovechar la información contenida en la base de datos espacial para la observación de las interrelaciones espaciales del efecto vecindad en los niveles de pobreza y/o riqueza en niveles incluso micro territoriales. Esta solución contempla la extrapolación territorial de datos a través de la correspondencia entre códigos de ubicación territorial que surge como resultado del uso de la tecnología ETL (Extract, Transform and Load) y un proceso de ingeniería inversa. La base de datos contiene información integrada, indicadores generados por extrapolación espacial (en niveles de desagregación que esta no provee y que se obtienen mediante un matching espacial) y una plataforma de visualización cartográfica a través de un servidor de mapas; con lo cual se espera mostrar la aplicación y utilidad de los SIG en la observación, desarrollo e integración de información socioeconómica de los hogares. Por tanto; en los siguientes apartados mostramos la creación de un repositorio de datos espacial, la implementación de una herramienta de escritorio para el manejo de sistemas de información geográfica y la creación de una plataforma de visualización cartográfica a través del levantamiento de un servidor de mapas. En el apartado de metodología, se exponen las herramientas tecnológicas utilizadas y como aplicación, presentamos la cartografía micro territorial del ingreso per cápita de los hogares en las regiones XIII, VI y VII de Chile.

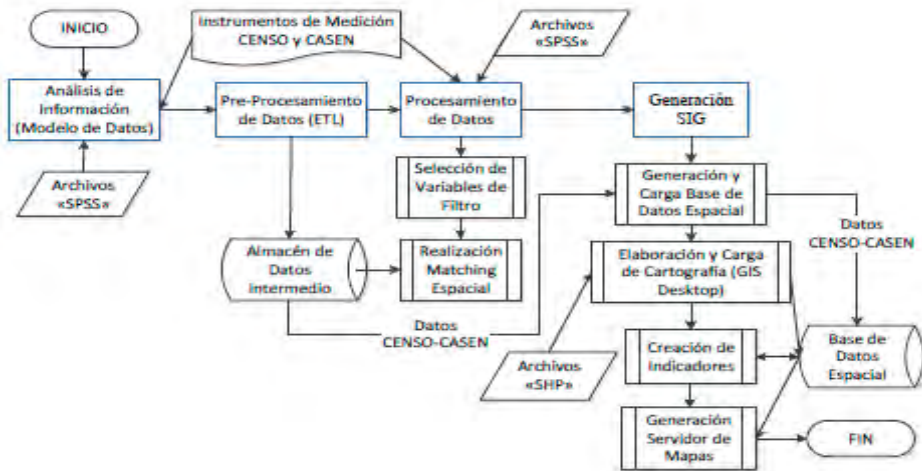
## METODOLOGÍA

La solución propuesta utiliza tecnología ETL, perteneciente a la inteligencia de negocios y los SIG. El ETL es una tecnología de integración de datos que se utiliza en proyectos de implantación de inteligencia de negocios, el cual permite extraer datos alojados en diversas fuentes de información, transformarlos según las necesidades del negocio y cargar estos en los entornos de destino. Inteligencia de negocio (R. Kimbal, 1998) constituye un enfoque estratégico para orientar sistemáticamente el seguimiento, la comunicación y la transformación relacionada al débil conocimiento de la información procesable en la cual se basa la toma de decisiones, siendo una de sus tareas más significativas; la del diseño y construcción de los almacenes de datos o data warehouse (DW) conocidos como “una colección de datos orientados a un ámbito (empresa, organización), integrada, no volátil y variante en el tiempo; que ayuda al proceso de los sistemas de soporte de decisiones” (W. H Immon. 2002), mientras que un SIG brinda una representación gráfica de la información geográficamente referenciada. Un SIG se basa en principios formales de matemáticas discretas, modelos de datos y geometría computacional; su desarrollo, involucra la aplicación de nuevas tecnologías de la información: estándares e ingeniería de software, almacenes de datos, web- SIG, metadatos, ambientes y lenguajes visuales, entre otros (P. Lejia Luna, 2010). La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está intrínsecamente relacionada con la capacidad que éste posee de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan información para el análisis (GEOINFO, 2012).

El software utilizado es el gvSIG (N. Sillero P. Tarraso, 2010) que es una de las herramientas de código abierto, orientada al manejo de la información geográfica, más potentes del mercado. Además de ser una solución para la interpretación de datos en tecnología SIG, gvSIG se utiliza para un proceso adicional de extracción, depuración y carga, que permite el traspaso de archivos Shape (que contienen la cartografía del país) a datos espaciales georreferenciales en PostgreSQL (PostgreSQL, 2012), funcionalidad que se logra al añadir el módulo PostGIS, que permite dar soporte a objetos geográficos transformando una base de datos común en una base de datos espacial que puede ser utilizada en SIG y servidores de mapas (OSGeo, 2012). Por último, esta propuesta plantea la creación de una aplicación Web para la publicación de datos espaciales, mediante la tecnología Internet Map Server (IMS, Servidor de Cartografía Digital), con el fin de permitir a los usuarios visualizar, consultar y analizar información geográfica a través de la red, tanto en modo vectorial como ráster, realizado con un servidor de mapas denominado MapServer con el Framework Pmapper. La Figura 1 muestra el diagrama de los

procesos y sub-procesos utilizados para cada caso en particular. El análisis de información o estudio de las fuentes de información (CENSO 2002 y CASEN 2003) necesarios para elaborar los modelos relacionales a utilizar. El pre-procesamiento de datos, donde se lleva a cabo el proceso ETL en un almacén de datos intermedio (ADI). El procesamiento de datos donde se implementa el matching espacial entre los instrumentos de medición CENSO y CASEN y por último la generación SIG en el que se construye la plataforma de visualización cartográfica a través de diversos sub-procesos y herramientas de libre disposición.

Figura 1: Diagrama de procesos y sub-procesos realizados en el desarrollo de la tesis.

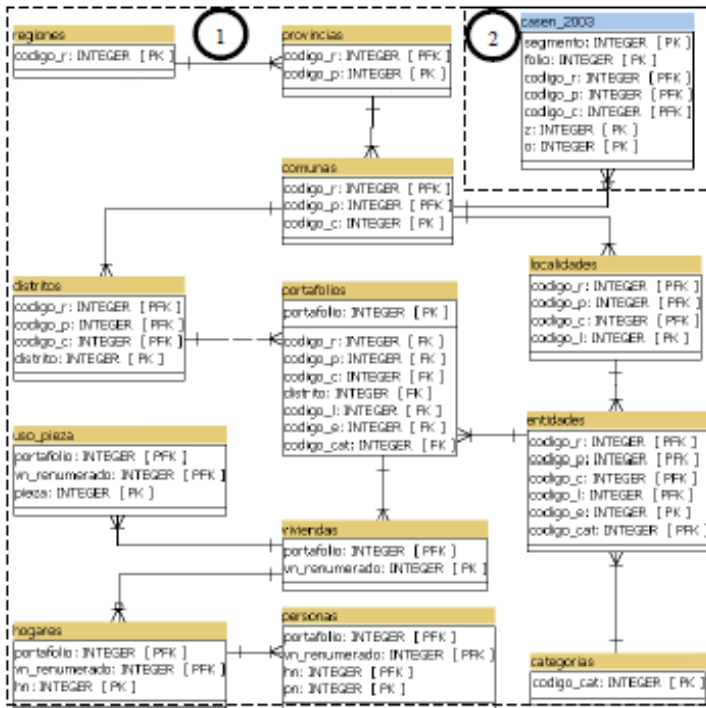


Fuente: elaboración propia.

## INTEGRACIÓN DE DATOS MEDIANTE MATCHING ESPACIAL

La integración de datos entre encuesta y CENSO utilizó un proceso de ingeniería inversa que permitió reconstruir el modelo de datos de CENSO mediante el estudio de la semántica de la información contenida en la encuesta respectiva. El modelo relacional obtenido “CENSO-CASEN”, fusiona la información de ambos instrumentos en un único modelo, de modo que se aprovecha la cobertura territorial del CENSO y la información socioeconómica de los hogares de la encuesta. La Figura 2 muestra el modelo relacional “CENSO-CASEN”, que representa los datos centralizados de CENSO en “1” con los datos “2” pertenecientes a CASEN.

Figura 2: Modelado de datos relacional entre CENSO 2002 y la encuesta CASEN 2003



Fuente: elaboración propia.

La estructura del modelo de datos “CENSO-CASEN”, alojada en un almacén de datos intermedio; se pobló mediante un proceso ETL con la información de cada instrumento (datos en archivos SPSS), desde donde se extrajeron los datos para luego alojarlos en un almacén intermedio. El sub-proceso de transformación concilió los códigos de localización geográfica en ambos instrumentos dando paso a la implementación del matching espacial; proceso que dio paso a consultas combinadas sobre el almacén de datos intermedio, cuya estructura se genera gracias a la existencia de variables homogéneas a ambos instrumentos que permite parrear observaciones que comparten características similares; es decir; encontrar personas del CENSO con características similares a otras de la encuesta, para que se pueda imputar luego; la ubicación espacial de los primeros a los segundos dentro de la comuna. La forma de hacer esta asociación se realiza en dos etapas. La primera etapa consiste en la aplicación de un pareo exacto, que busca, para cada observación perteneciente a la encuesta con características definidas por un vector de variables comunes, una observación perteneciente al CENSO que posea las

mismas características; transfiriendo así la ubicación espacial del ingreso de los hogares disponibles en la encuesta a nivel de comunas pero en un lugar específico dentro de esa comuna. La segunda etapa, viene dada por la obtención del valor de la variable (ingreso de los hogares) en pequeñas áreas, que se obtiene como el promedio del ingreso de las observaciones de la encuesta y que comparten la misma información en CENSO. Esta etapa, permite pasar de un "ÚNICO" ingreso medio representativo de los hogares de esa comuna, a un valor del ingreso que cambia de acuerdo a las condiciones económicas de cada distrito dentro de la comuna.

Por tanto, con el matching se logra la desagregación de los datos de encuesta en el micro territorio con una distribución homogénea de los hogares en el territorio, a una distribución urbana segregada en algunos casos; de acuerdo a su condición socioeconómica.

## **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

### **Base de datos espacial**

Para la observación geográfica de la información generada entre CENSO y CASEN, se incorporó un sistema administrador de bases de datos espaciales PostgreSQL con el módulo de PostGIS, el cual añadió soporte de objetos geográficos a la base de datos relacional; a través de campos geométricos en las tablas de datos, tablas con proyecciones espaciales y funciones entre otras, permitiendo de este modo generar bases de datos espaciales. Con la extensión para el manejo y análisis de objetos SIG, se generó una base de datos espacial, donde se crearon esquemas tanto para el almacenamiento de los datos depurados en la etapa de pre-procesamiento y para el alojamiento de la cartografía georreferenciada, como para el hospedaje de las tablas que contienen los indicadores, los que otorgan información complementaria a la cartografía a distintos niveles territoriales.

### **SIG Desktop**

Generada y estructurada la base de datos espacial, se realizó mediante gvSIG, la carga de la cartografía del territorio chileno. Para esto, se utilizó como fuente de datos, la información alojada en archivos en formato Shapefile que contienen la localización de elementos geográficos y sus atributos asociados en un formato de representación vectorial (Universidad de Alcalá, 2012). Con gvSIG se generaron mapas específicos de regiones, provincias y distritos, además del mapa

de Chile (quince regiones), previa carga en la base de datos espacial y asignación del sistema de proyección para representar las coordenadas sobre un plano. La Figura 3 muestra la cartografía regional de Chile (división regional de 2007) que fue generada a partir de la cartografía comunal de Chile según división regional de 1976. La imagen está seccionada en cuatro: la sección "1" muestra las capas "chilecomu" y "chileregion", que representan la cartografía fraccionada en comunas y regiones respectivamente. La sección "2" contiene la cartografía de la capa seleccionada. La sección "3", el posicionamiento en el territorio y la sección "4", la tabla de atributos de regiones, remarcándose en amarillo las regiones de "Arica y Parinacota" y "Los Ríos", cuya relación gráfica queda expresada con color rojo en el mapa de Chile sección "2".

Figura3: Cartografía regional de Chile



Fuente: elaboración propia.

Generada y cargada la cartografía en la base de datos espacial, se llevó a cabo la elaboración de indicadores para el territorio nacional, a partir de los instrumentos de medición CENSO y CASEN, como también del matching generado a partir de éstos. La visualización de los indicadores en gvSIG, se obtuvo mediante tablas de atributos relacionados con las tablas que contenían la cartografía, través de las claves utilizadas en el territorio (ej.: código de comunas o distritos, entre otros). Por ejemplo: la Figura 4 de gvSIG que muestra la Región del Maule en



cuatro; muestra en la sección 1 un mapa de los distritos y en la sección 2 su respectiva tabla de atributos; en la sección 3 la tabla de atributos con los indicadores respectivos y que mediante las funcionalidades de gvSIG, se puede representar visualmente a través del código equivalente entre éstas (línea entre sección 2 y 3).

Figura 4: Incorporación de indicadores en gvSIG

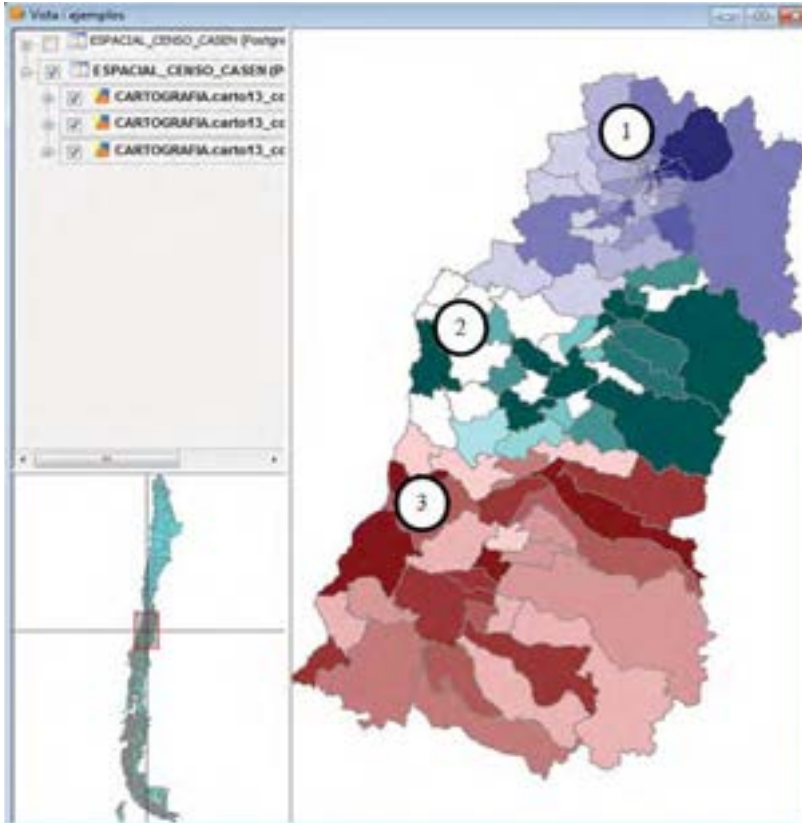


Fuente: elaboración propia.

La herramienta gvSIG permitió, entre otras cosas, analizar de forma gráfica los indicadores generados y asociados con el territorio, mediante el uso de propiedades que este aplica a las capas. Por ejemplo, la Figura 5 graficada con gvSIG, muestra los intervalos naturales (clasificación por rango de valores) para los ingresos medios por comuna de las regiones VI, VII y XIII, representadas por los valores "1", "2" y "3" respectivamente. Para la construcción de esta, se extrajeron valores directamente de la encuesta CASEN y se presentaron al mayor nivel de granularidad entregado por esta encuesta. En el mapa, las regiones se analizan de forma independiente, donde los colores más densos representan los ingresos medios más elevados, mientras que los terrenos de color blanco no representan valor, debido a que no fueron encuestados. Esta representación gráfica permite analizar la distribución de ingresos en el territorio y distinguir los diversos estratos sociales

existentes en las regiones.

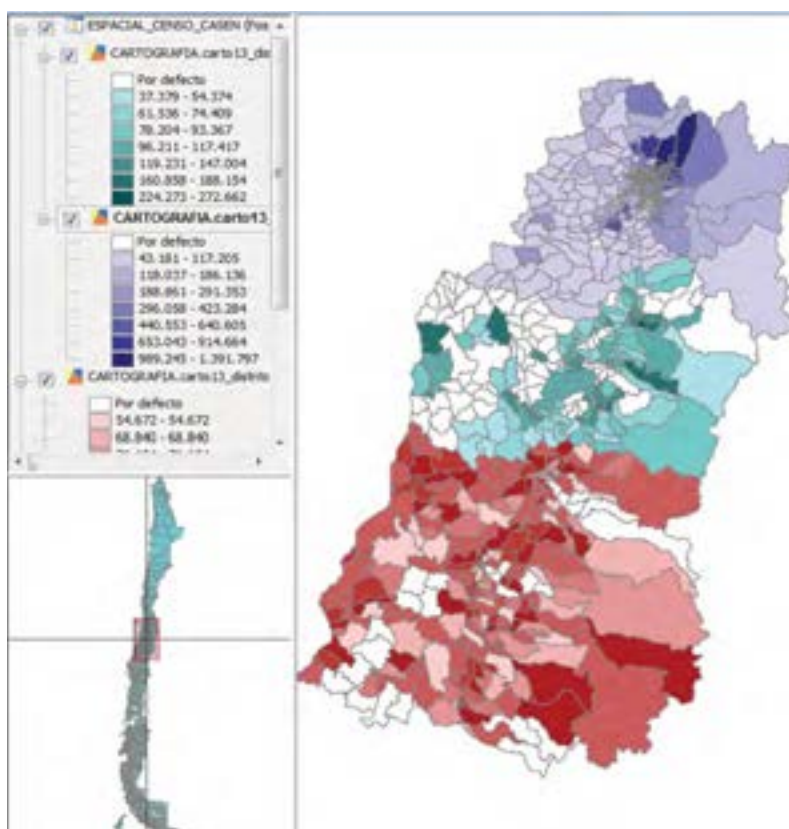
Figura 5: Ingresos medios por comuna para las regiones XIII, VI y VII



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se pueden apreciar las mismas regiones pero en niveles micro territoriales (nivel de distritos) obtenidos a través del matching entre los instrumentos de medición CENSO y CASEN permitiendo con ello, observar en mayor detalle la distribución de los ingresos de la región. Por otro lado; con el matching se tiene acceso a un nivel de distritos lo cual permite aumentar el número de observaciones facilitando con ello la estimación de datos ausentes mediante el interpolador kriging; técnica proveniente de la geoestadística que permite estimar el valor ausente de la variable en el territorio.

Figura 6: Ingresos medios por distrito para las regiones metropolitanas, VI y VII



Fuente: Elaboración propia.

## Plataforma de visualización cartográfica

Finalmente, para ampliar la capacidad de análisis de los datos, se generó una aplicación Web para la publicación de datos espaciales, mediante la tecnología **Internet Map Server** tanto en modo vectorial como ráster (mapa de bits). Lo anterior, se implementó en una plataforma constituida por un servidor Web, un servidor de mapas, y un conjunto de librerías para el uso y tratamiento de información geográfica. Para la carga de la cartografía en el servidor de mapas, se prepararon los datos a utilizar mediante “Mapfile”, archivo principal de configuración de MapServer cuyo propósito fundamental es definir: las capas del mapa a generar, el estilo con que se mostrarán, la simbología, el sistema de referencia y el formato de las imágenes, entre otras (Mapserver, 2012). En este archivo se definieron las consultas a la base de datos espacial para la importación de la información geográfica. Parte del código

utilizado para la elaboración de la cartografía en el archivo Mapfile se realizó en gvSIG, mediante de la incorporación de un plugin para publicaciones Web. Luego, utilizando las funcionalidades y múltiples configuraciones proporcionadas por el Framework p.mapper, se generó la plataforma Web mediante la cual se visualizó y manejó la cartografía importada y configurada en el archivo Mapfile. La Figura 7 presenta la plataforma de visualización de mapas desarrollada a través de los componentes previamente mencionados. La plataforma se divide en dos secciones: **Capas de información geográfica**: ubicada a la derecha de la figura y destacada con el número “1”, que contiene la cartografía (divisiones territoriales) utilizada seccionada en capas de información con sus símbolos correspondientes y agrupada según su tipo (comunas, distritos e ingresos medios de la región, entre otros) y **Ventana de visualización**: ubicada a la izquierda de la pantalla y destacada con el número “2”. En esta sección se muestran los elementos cartográficos respectivos a las capas seleccionadas de información geográfica.

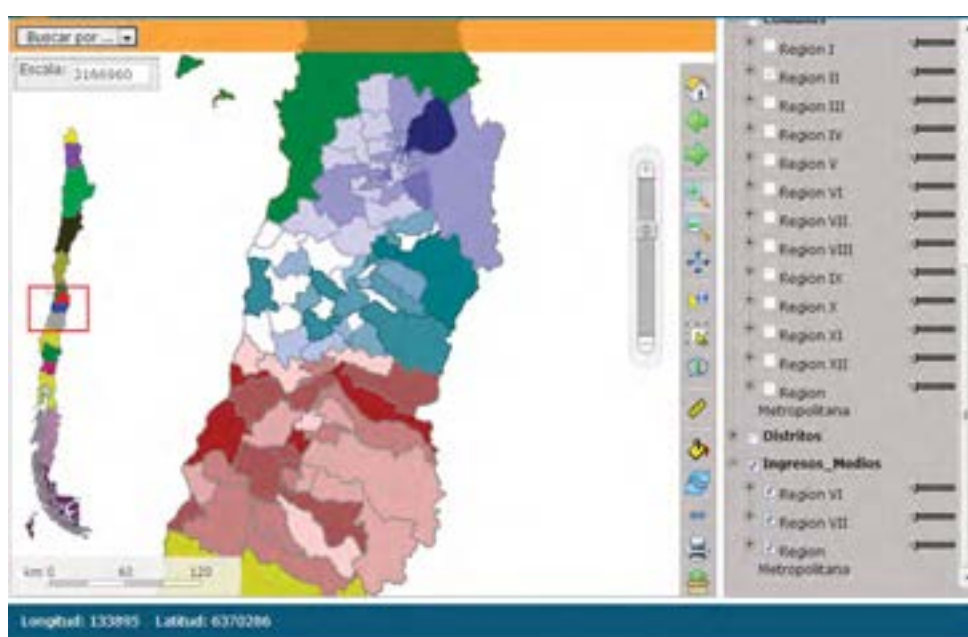
Figura 7: Plataforma de visualización de mapas



Fuente: Elaboración propia.

Algunos componentes y funcionalidades de la plataforma de visualización de mapas son la **Escala** (tamaño de visualización de la cartografía), **Barra de herramientas** (manejo de la escala de visualización del mapa, medición de distancias, generación de links de acceso a ciertas ubicaciones y descarga de las vistas entre otros) y **Mapa de referencia** (visualización de la ubicación en la cual se encuentra posicionado el usuario, destacando ésta con un rectángulo de color rojo, ver Figura 7, sección 2). La plataforma de visualización de mapas, además incorpora capas de indicadores, como por ejemplo: indicadores de ingresos medios para las comunas y distritos tratados en la sección SIG Desktop (ver Figura 8).

Figura 8: Visualización de indicadores



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 muestra la tabla de atributos que contiene información específica del conjunto seleccionado, la cual permite visualizar más en detalle la ubicación del territorio perteneciente al conjunto de elementos. Además, la plataforma cuenta con un buscador, en el cual se debe seleccionar la capa que se desea examinar. La plataforma también da la opción de imprimir informes y descargar, en diversas escalas, la información respectiva a la capa seleccionada en formato PDF o CSV. Además, permite al usuario, generar enlaces con una posición específica en el mapa para ser visualizados por otro usuario.

Figura 9: Buscador y tabla de atributos



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos pretendido mostrar que la utilización de los SIG en la observación espacial de eventos socioeconómicos, puede no solo contribuir con la representación geográfica de variables como el ingreso medio de los hogares, sino que mediante la integración de datos de CENSO y encuesta se facilita la posibilidad de mejorar la precisión en las estimaciones de datos inexistentes sobre la condición socioeconómica de sus habitantes en el territorio, así como la observación de zonas de rezago económico a fin de generar, por ejemplo, programas de asistencia pública. Nuestra propuesta pretende llamar la atención a los investigadores sobre la utilidad de los SIG en la observación de los eventos socioeconómicos. Mediante un proceso de ingeniería inversa, se construyó un modelo relacional de CENSO, al que se aplicó un matching espacial con los datos de la Encuesta a fin de extrapolar la información socioeconómica de los hogares a unidades micro territoriales no disponibles en ella (distritos o divisiones intra comunales). La utilización de la herramienta SIG Desktop permitió entre otras cosas, llevar a cabo, tanto la carga de la cartografía del territorio chileno en la base de datos espacial, como la generación, edición y análisis de los datos, entregando un repositorio de cartografía digital del territorio nacional, y sus indicadores asociados relacionados con el CENSO y encuesta. Por último, la implementación de la plataforma de visualización de

mapas se realizó mediante la tecnología Internet Map Server, con el fin de permitir a los usuarios visualizar, consultar y analizar información geográfica a través de la red, tanto en modo vectorial como ráster. Para ello, se levantó una plataforma constituida por el servidor Web, el servidor de mapas, y un conjunto de librerías para el uso y tratamiento de información geográfica. Esta plataforma, en comparación con una herramienta "SIG Desktop", es más acotada, lo cual permite brindar sólo información de interés a un grupo específico de usuarios. A modo general, esta solución permitirá a los expertos obtener una mejor comprensión de los datos espaciales y resolver problemas específicos relacionados con el territorio de forma más eficiente, debido a que esta brinda una superior perspectiva en el proceso de toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Simitsis, P. Vassiliadis and T. Sellis (2005). "Logical Optimization of ETL Workflows". *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 17 (10), 1404–1419.
- C. Agostini, P. Brown y D. Góngora (2008). Distribución Espacial de la Pobreza en Chile. *Estudios de Economía*. 1(35), 79-110.
- C. Agostini, P. Brown y A. Román, (2010). "Estimando indigencia y pobreza indígena regional con datos censales y encuestas de hogares". *Cuadernos de Economía* (47), pp. 125-150.
- C. Elbers, J.O. Lanjouw y P. Lanjouw (2003). "Micro-Level Estimation of Poverty and Inequality". *Econometrica*, 71 (1), 355-364.
- C. Elbers y P. Lanjouw (2012). "Captando dinámicas de pobreza en el nivel sub-nacional: Seguimiento de cambios por medio de estimaciones para áreas pequeñas" en *Los dilemas territoriales del desarrollo en América Latina*. (Modrego, F. y J.A. Berdegué, eds.). Buenos Aires: Editorial Teseo.
- D. Paredes y P. Aroca (2008). "Metodología para estimar un índice regional de costo de vivienda en Chile". *Cuadernos de Economía* (45), pp. 129-143.
- F. Modrego, E. Ramírez y A. Tartakowski (2008). "La heterogeneidad espacial del desarrollo económico en Chile: radiografía a los cambios en bienestar durante la década de los noventa por estimaciones en pequeñas áreas". Documento de trabajo N° 9 Programa Dinámicas Territoriales Rurales Rimisp –

Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

- F. Modrego, E. Ramírez, A. Tartakowski y E. Jara (2012). “La heterogeneidad territorial del desarrollo en la década de oro de la economía chilena” Los dilemas territoriales del desarrollo en América Latina. (Modrego, F. y J.A. Berdegúe, eds.). Buenos Aires: Editorial Teseo.
- GEOINFO (s.f.) “Sistemas de Información Geográficos” Disponible en <http://www.geoinfo.cl/pdf/sig.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas (2002). Informe: CENSO 2002 RESULTADOS. Población País - Región. - Volumen I. Chile.
- J. ConesaCaralt y J. Curto Díaz (2010) Introducción al Business Intelligence. Barcelona: Editorial UOC.
- Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) (2005). Informe “marco metodológico CASEN2003”. Chile.
- MapServer (s.f.) “Open source web mapping”. Disponible en: <http://mapserver.org/es/about.html#about> [consultado: 14/09/2012].
- N. Minot y B. Baulch (2005). “Spatial patterns of poverty in Vietnam and their implications for policy”. *Food Policy*, 30 (5–6), 461-475.
- N. Sillero P. Tarrasopublicacion (2010) Tesis: Free GIS for herpetologists: free data sources on Internet and comparison analysis of proprietary and free/open source software. Centro de Investigación en Ciencias Geo-Espaciales (CICGE) da Universidad de Porto. R. Campo Alegre. Publicación Magister. pp. 64-81.
- OSGeo Project (s.f.) “What is PostGIS?” Disponible en: <http://postgis.refractor.net/> [consultado: 11/10/2012]
- P. Leija Luna (2010). Tesis: “Sistema de Información Geográfica para la ayuda de toma de decisiones en políticas sociales” Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Departamento de Computación. Maestra Ciencias en la Computación, pp. 9-11.
- PostgreSQL (s.f.) “Sobre PostgreSQL” Disponible en: <http://www.postgresql.org/>



org.es/sobre\_postgresql [consultado: 11/10/2012]

- R. Kimball, L. Reeves, M. Ross and W. Thornthwaite (1998). *The Data Warehouse Lifecycle Toolkit: Expert Methods for Designing, Developing, and Deploying Data Warehouses*. John Wiley and Sons.
- Universidad de Alcalá/Departamento de Geografía y Geología (s.f.) “Practica Vectorial formato Shapefile” Disponible en: [http://www.geogra.uah.es/gisweb/practica-vectorial/Formato\\_Shapefile.htm](http://www.geogra.uah.es/gisweb/practica-vectorial/Formato_Shapefile.htm) [consultado: 04/09/2012].
- W. H. Inmon (2002). *Building the Data Warehouse*. Wiley. 3a. ed.

# *Análisis espacial basado en SIG del malestar percibido ante industrias contaminantes: el caso del complejo industrial ventanas, Chile*

Antonio Moreno-Jiménez y  
Manuel Fuenzalida-Díaz

## **Resumen**

Los efectos ambientales derivados de actividades humanas ocasionan los llamados campos de externalidades en el entorno de ellas, manifestándose bien como emisiones o impactos físicos, bien como vivencias negativas afectando a la población. La medición de ese malestar social y su expresión espacial constituye el asunto central de esta contribución, en la que se aborda el caso de los residentes próximos a un gran complejo industrial en Chile. A tal fin se diseñó y realizó una encuesta domiciliaria para determinar la percepción de varios impactos ambientales, que luego fue georreferenciada. Para establecer la magnitud del malestar socio-espacial se recurrió a la técnica de los estimadores de densidad núcleo (kernel), que permiten generar con SIG superficies y expresivos mapas representativos de las diversas experiencias negativas, así como un indicador sintético de las mismas. Con ello se pretende aportar una vía para aprehender, en cantidad y en lugar, esos elusivos efectos y concienciar de su trascendencia.

**Palabras clave:** Malestar socio-espacial. Percepción ambiental. Contaminación . Externalidades. Densidad focal kernel

## **Abstract**

The environmental effects of human activities shape the so-called externality fields around them, portrayed either as emissions and physical impacts, or as negative experiences affecting population. The measurement of this social bad-being and its spatial expression is the main issue of this contribution, where the case of residents near a large industrial complex in Chile is tackled. To this end a home survey, lately geo-referenced, was designed and achieved to determine the perception of various environmental impacts. To elucidate the amount of socio-spatial bad-being a kernel density estimator was applied, provided it enables to obtain GIS based surfaces and expressive maps representing the various negative experiences, and a synthetic

index of them too. In this way it is intended to provide a way to capture, both in quantity and place, these elusive effects and to spread awareness about it.

**Keywords:** Socio-spatial bad-being. Environmental perception. Pollution. Externalities, kernel density.

---

**Antonio Moreno-Jiménez** (antonio.moreno@uam.es), Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, España. **Manuel Fuenzalida-Díaz** (mfuenzal@uahurtado.cl), Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado, Chile.

Trabajo realizado parcialmente en el marco del proyecto CSO2011-26177 “Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

Trabajo realizado parcialmente en el marco del proyecto FONDECYT N° 11121354, financiado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) de Chile.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales que afectan a la sociedad constituyen una preocupación prioritaria, por cuanto con frecuencia ocasionan efectos de gran trascendencia social, económica, política, etc. Uno de los frentes más sugerentes del mismo concierne a la aprehensión de los efectos o impactos que fenómenos o procesos (sean naturales o antrópicos) ocasionan sobre la población. Su medición y análisis constituye una necesidad preferente, puesto que permite plantear políticas, planes y medidas de gestión. La multiplicidad de los tipos de efectos derivados (a menudo asimilables a externalidades espaciales) ha requerido adoptar instrumentos de obtención y tratamiento de datos muy diversos. Así junto a indicadores de tipo objetivo (e.g. basados en medidas instrumentales o estadísticas), el recurso a otros de naturaleza subjetiva (i.e. basados en la percepción o sensación humana) resulta habitual.

La evaluación de aspectos ambientales a partir de las percepciones humanas conforma una vía apropiada para aproximarse al grado de bienestar o malestar sentido y a su geografía. En ese sentido los estímulos provenientes del entorno pueden ser captados, identificados y valorados por los ciudadanos, posibilitando así la determinación de los conocidos "campos de externalidades" que emergen alrededor de los focos emisores, sea cual sea su naturaleza (Pinch, 1985; Moreno y Escolano, 1992: 214-218). Ello abre la puerta a una cartografía y análisis espacial de esas apreciaciones sociales sobre hechos ambientales y, por extensión, a una determinación de perjuicios o costes, a veces soslayados u ocultados. Cuando se trata de externalidades generadas por actividades humanas, por ejemplo las productivas, su evaluación desde la subjetividad personal y su localización espacial es la condición necesaria para poder dar respuestas fundadas sobre los componentes del malestar ocasionado (costes externos), y la forma como se reparten social y espacialmente. El abordaje de la percepción de la contaminación atmosférica, como describen Catalán-Vázquez y Jarillo-Soto (2010), ha sido realizado desde planteamientos paradigmáticos muy diferentes (positivistas, teoría crítica, constructivistas), que resultan complementarios en sus logros.

El presente trabajo, incardinado en esta línea de indagación, ya de notable recorrido, propone un procedimiento para la medición y plasmación espacial de los efectos ambientales (externalidades) percibidos por los residentes próximos a un gran complejo industrial y la aplica a un estudio de caso de Chile, adoptando una aproximación o paradigma calificable de geo tecnológico (vid. Buzai, 2011; Moreno, 2010 y 2013). En el siguiente apartado se presenta el marco conceptual del análisis y los objetivos, para luego exponer las fuentes de información y los métodos

adoptados, en los que el recurso a técnicas de análisis espacial y a la tecnología SIG proporciona la base metodológica fundamental. A continuación se describen algunos de los hallazgos alcanzados y se termina con una discusión de los mismos y conclusiones.

## 2. CONTEXTO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Es tradicional en las investigaciones geográficas considerar que la mente humana genera imágenes subjetivas del medio natural, que terminan teniendo gran importancia en el comportamiento espacial de los individuos (*v.gr.* Gould y White, 1974). Estas imágenes son producto de la sensación inmediata y del recuerdo de experiencias anteriores, que las personas utilizan para interpretar la información proveniente del medio exterior y orientar la acción. Según Lynch (1960), esta imagen mental no sólo es una forma de comprender el espacio para lograr una orientación del mismo, sino que también se asocia a sentimientos y emociones vinculadas al espacio vivido, de allí la importancia que tiene cada lugar para el sujeto.

La Geografía cuenta con herramientas para tratar esta cuestión: el mapa mental, que es una representación subjetiva del ambiente. Buzai (2011) clasifica los mapas mentales de acuerdo a varios autores que han incursionado en esta aproximación: *elementos visuales* (K. Lynch), *preferencias* (P. Gould) y *comparaciones* (C. de Castro). De ellos, es de interés aquí mencionar el de preferencias, en donde Gould (1975) establece seis líneas diferentes de abordaje para el estudio de la percepción y la valoración ambiental: (1) percepción de recursos, (2) percepción de paisajes, (3) percepción del riesgo, (4) percepción del espacio, (5) percepción del ambiente urbano y (6) percepción como evaluación ambiental. En este último se estudia de qué manera la población tiende a aprehender y evaluar diferentes sectores del espacio geográfico, cuyo tratamiento con técnicas utilizadas por la geografía cuantitativa (i.e. cuadrados / cuadrantes, densidad núcleo o kernel, interpolación), permite analizar superficies de percepción que se convierten en importantes herramientas para la toma de decisiones.

En esa línea, se le atribuye utilidad al mapa mental principalmente en tres aspectos (Catling, 1978):

- conforma un instrumento de diagnóstico, ya que es una manifestación del nivel de desarrollo espacial;
- es una fuente de información, puesto que permite conocer los diversos elementos significativos en las imágenes mentales, y
- se considera un producto de instrucción, debido a que orienta y da indicios para la creación cartográfica.

Ahora bien, el término percepción ambiental encierra diferentes acepciones dependiendo de la disciplina dominante que consulte el investigador al intentar caracterizar el comportamiento humano. Psicología, Sociología y Geografía han generado un nicho de trabajo multidisciplinar. Para nuestra disciplina el centro de atención está en la relación hombre-medio y las interacciones espaciales que se producen, intentando desvelar el proceso específico por el cual ciertos fenómenos se registran claramente, mientras otros, se pierden en las sombras o se eliminan (Tuan, 1974).

Barroto *et al.* (2011) distinguen cuatro facetas relevantes en la percepción ambiental:

1. *Visión del medio ambiente y de los problemas ambientales*: Ideas del individuo sobre el medio ambiente y sus dimensiones, además de los problemas ambientales y su extensión.

2. *Responsabilidad ambiental*: Apreciación de los individuos sobre los agentes causantes de problemas ambientales y aquellos agentes que deben intervenir para evitarlos.

3. *Actitud ambiental y decisión de incorporarse al cambio*: Predisposición del pensamiento humano a actuar en favor o en contra del entorno social, teniendo en consideración sus vivencias, experiencias, conocimientos y valores con respecto a su entorno.

4. *Formación medioambiental*: Impresión que tienen los individuos sobre la calidad y efectividad de las acciones de educación ambiental.

La percepción ambiental se puede considerar como la base para las decisiones de manejo y conservación del medio natural; al mismo tiempo puede contribuir al diseño de políticas públicas orientadas a redirigir los procesos de deterioro ambiental.

De cara a la evaluación ambiental en términos de percepción de peligros o emisiones de actividades o focos (e. g. contaminantes), resulta imprescindible incorporar el concepto de bienestar. Siguiendo a Moreno (1998), la geografía del bienestar resulta, a menudo, inseparable de la del malestar. La atención al tema atraviesa las fronteras disciplinares y así en la ciencia política, economía regional, geografía, derecho, psicología, ciencias de la gestión, medio ambiente, etc. está aumentando la cifra de tales publicaciones; en ellas se han popularizado acrónimos tales como LULU (*locally unwanted land uses*), NIMBY (*not in my back yard*) o NIABY (*not in anybody back yard*) para referirse a esos síndromes o conflictos

socio-políticos bien conocidos.

El análisis espacial del bienestar o malestar sentido por los ciudadanos ante actividades molestas, insalubres o peligrosas cercanas o ante riesgos naturales cuenta con una tradición importante en Geografía (vid. Golledge y Stimpson, 1997) y en Psicología Ambiental (Jiménez Burillo y Aragonés, 1991; Valera *et al.*, s.f.). Procedimentalmente el recurso a instrumentos de encuesta ha sido frecuente para determinar la percepción y actitudes hacia esos problemas ambientales y los efectos vividos (e.g. tipo, intensidad, duración, etc.) mediante escalas ordinales (e.g. Bale, 1981, Schroeder, 1984). Diversos trabajos han abordado así la determinación de los conocidos como campos de externalidades sentidas para actividades de servicios tales como hospitales psiquiátricos (Dear et al. 1980), campos de fútbol (Mason y Robins, 1991; Mason y Moncrieff, 1993), centros de atención a drogodependientes (Moreno, 1992 y 1998), auditorios de conciertos al aire libre (Chase y Healey, 1995) y parques públicos (Pérez-Tejera, 2012). Igualmente, para actividades económicas como las industriales, Ford et al. (2007) acometieron un estudio para evaluar el entorno de las escuelas, plasmando cartográficamente los lugares (puntos) y recorridos evaluados por los niños encuestados, lo que permitió aprehender diversos atributos percibidos de ese entorno; y Sofer et al. (2012) describen el impacto en la calidad de vida de la población cercana a pequeñas industrias y talleres, producto de molestias por ruido, emisiones al aire y contaminación del suelo. Indagaciones específicas sobre la percepción de la polución aérea son también abundantes, como evidencia la revisión de Catalán-Vázquez y Jarillo-Soto (2010) y en ellas se han documentado hallazgos valiosos para interpretar y explicar relaciones con otras variables socioeconómicas, funcionales o espaciales.

En esta contribución se busca desvelar aspectos relevantes de la geografía de los perjuicios percibidos e imputados subjetivamente a una actividad industrial cercana. De forma concreta se pretende:

- Adoptar una metodología geográfica para medir y visualizar la cuantía del malestar social, mediante mapas novedosos mostrando dónde y cuánto se sienten los efectos negativos.
- Caracterizar los patrones espaciales del malestar socio-ambiental, desagregando por tipos de efectos distintos.
- Ensayar la elaboración de mapas sintéticos de multiafección percibida, a partir de los patrones parciales.

Con ello se pretende mostrar un procedimiento para mejorar los diagnósticos acerca de los impactos de actividades humanas, centrado específicamente en la dimensión subjetiva de dichos efectos, es decir, en el malestar percibido por los ciudadanos el cual, en tanto que externalidad espacial elusiva, pero real y medible, pueda ser interpretado y valorado más rigurosamente por parte de los agentes sociales y los decisores públicos y privados, a efectos de eventuales medidas de planificación o gestión.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

El ámbito elegido se sitúa en el borde costero de dos municipios de la parte central de Chile: Quintero y Puchuncaví (región de Valparaíso). El Decreto Supremo N° 346 del Ministerio de Agricultura chileno del año 1993 declara que la zona saturada por anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y material particulado respirable (MP10) es aquella circundante al gran Complejo Industrial Ventanas, que se ubica jurisdiccionalmente en las comunas de Quintero y Puchuncaví. Entre las coordenadas UTM Zona 19 H: 6387381,3 - 6370657,6 Norte y 262413,3 - 286472,9 Este.

Los límites que se establecen en el Decreto son los siguientes:

- Norte: desde el océano Pacífico hasta la desembocadura del Estero Catapilco, y siguiendo este hasta su confluencia con el Estero La Canela.
- Sur: desde la cumbre del Cerro Colorado, bajando en línea recta hasta la intersección del Canal Mauco con el Estero Mantagua.
- Este: desde la cumbre Cerro Alto del Agua del Peumo, siguiendo por la divisoria de aguas hasta el cerro Pucalán, continuando en línea recta hasta la cumbre del Cerro Piedra Trepada.
- Oeste: línea de costa del océano Pacífico, desde la desembocadura del Estero Mantagua por el sur, hasta la desembocadura del estero Catapilco por el norte.

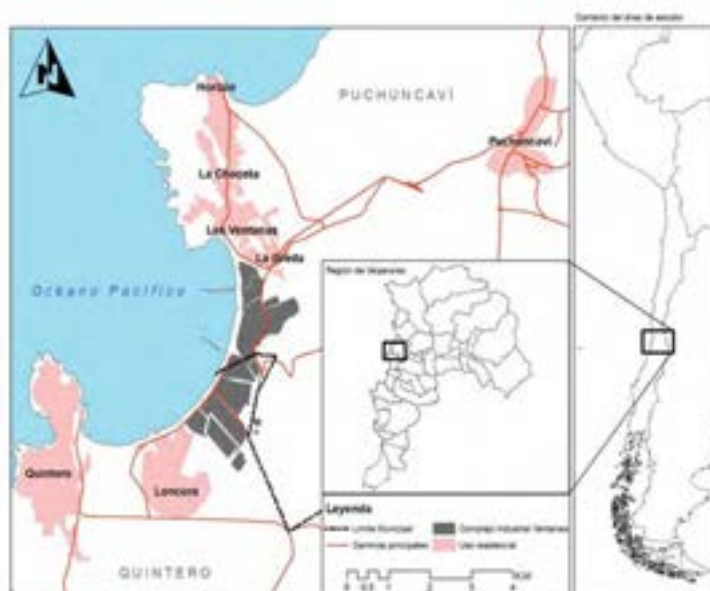
La superficie es de 402,36 km<sup>2</sup> y administrativamente limita con las comunas de Nogales al este, Concón al sur, Zapallar al norte y con el océano Pacífico al oeste.

Para este caso, el área de estudio se ha acotado a los centros poblados que se ubican al interior de las citadas comunas: Quintero, Loncura, Ventanas, La Greda, La Chocota, Horcón y Puchuncaví (véase figura 1). En ella se observa la existencia de varios asentamientos, ubicados a distinta distancia (desde los ad-



yacentes hasta los sitios a unos 7 km aproximadamente) y orientación respecto al complejo industrial, y conteniendo cifras de población diferentes. Ello les expone a los efectos ambientales externos de las fábricas de una manera clara.

Figura 1: La zona de estudio, sita entre las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso, Chile



Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Fuentes de información

### 3.2.1 Encuestas a la población residente

El objetivo de la aplicación del instrumento fue evaluar la percepción de los efectos ambientales sobre la población y el territorio, considerando el nivel de intensidad global y la variabilidad temporal de las molestias sentidas en un período dado (el último año) por el encuestado y por otros miembros del hogar, debido a la contaminación industrial.

La selección de los encuestados se basó en un muestreo espacial sistemático, considerando como universo a un representante por vivienda. La selección de las viviendas se sustentó en recorridos exhaustivos de todos los frentes de manzana con viviendas en la zona asignada a cada encuestador. Los equipos de

trabajo de campo se desplegaron en las siguientes unidades territoriales: Quintero, Loncura, La Greda, Ventanas, La Chocota, Horcón y Puchuncaví, obteniéndose 290 encuestas para todo el ámbito en estudio. La encuesta se realizó mediante entrevistas domiciliarias durante el mes de marzo de 2012. En ellas se requirió a los encuestados pronunciarse acerca de si en el último año habían percibido ciertos tipos de efectos (malos olores, ruidos, polución atmosférica, etc.) procedentes del complejo industrial, su intensidad y frecuencia (aunque estos dos últimos aspectos no serán analizados aquí, por limitaciones de espacio).

### 3.2.2 Otras fuentes

Junto a los datos de la encuesta se ha utilizado cartografía digital sobre los asentamientos, límites municipales, red viaria, etc. procedente del Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

## 3.3 Técnicas de análisis

Puesto que los efectivos de la muestra en cada asentamiento son aproximadamente proporcionales a la población, la teoría del muestreo permite asumir una aceptable representatividad de la misma en su cuantía total y en las respuestas, lo que equivale a decir, a su percepción de los problemas ambientales. A la hora, por tanto, de analizar espacialmente los resultados es sostenible adscribir tales respuestas al domicilio de los encuestados y así se hizo al georreferenciar los datos de la encuesta. En principio, cabe pensar en varias alternativas para representar cartográficamente y analizar las respuestas cualitativas sobre la percepción individual de los efectos molestos. Tras algunos ensayos, pareció más prometedor adoptar el planteamiento y técnica utilizados por Moreno (1992 y 1998). En síntesis, se parte de asumir una clasificación previa de las respuestas a cada pregunta y retener particularmente las que afirman la percepción de molestias, por cuanto son expresión del malestar asociado a una externalidad concreta. La trascripción espacial y visualización de dichas respuestas bien podría recurrir a una cartografía de símbolos puntuales bajo el modelo vectorial de los SIG, pero para una representación más realista de la espacialidad humana y una mejor aprehensión de los resultados, pareció más acertado recurrir a un estimador de densidad núcleo o kernel y elaborar mapas bajo el modelo raster. Su aplicación implica asumir, de acuerdo con la lógica de los estimadores *kernel*<sup>1</sup> que el dato puntual en cuestión se despliega por un entorno alrededor de la vivienda, de tamaño dado por la "anchura de la ventana" (*bandwidth* o *search radius*) del kernel. Ello resulta congruente con un en-

<sup>1</sup> Una presentación de tales estimadores puede verse en diversas obras, por ejemplo, Moreno (1991), Santos Preciado y García Lázaro (2008: 267-312).

tendimiento de la espacialidad del individuo, que aunque centrada en su domicilio, en su movilidad espacio-temporal habitual se despliega por el entorno del mismo y probablemente con una frecuencia (densidad) decreciente desde el punto-domicilio hasta una distancia razonable (definida por la anchura de la ventana). Se trataría de una especie de “entorno personal próximo” (EPP) en el que la persona desarrolla actividades cotidianas varias, centradas y factibles desde el punto-domicilio con coste casi irrelevante. A efectos de nuestro análisis pareció conveniente fijar ese parámetro en 500 m, lo cual significa que las densidades conllevan un reparto del peso unitario de cada respuesta afirmativa en un círculo de tal radio, aunque de manera desigual según la lógica del *kernel*: más intenso en la parte central y más somero en la periferia del círculo. Según este planteamiento, se obtendrán en la capas raster resultantes de cada pregunta píxeles con mayor densidad allí donde se concentran las respuestas afirmativas y con menor densidad donde hay pocas de tales respuestas. Se tendría por tanto una plasmación cuantitativa del malestar socio-ambiental sentido y desvelado espacialmente a través de la muestra. Ahora puede comprenderse la importancia de lograr en el muestreo una distribución espacial de la muestra bien representativa (v.gr. con un procedimiento sistemático, como aquí se hizo). Un sesgo en ello implicaría la invalidez (por ese defecto) del tratamiento analítico que hemos descrito. Procede añadir que el tamaño del píxel adoptado es de 50 m, con el criterio de obtener capas raster sin la perturbación visual del pixelado.

Las capas de densidad en cuestión se representan con una paleta monocroma consistente sin intervalos, para evitar la rigidez asociada a ellos. Se adopta pues una gradación continua de color en correspondencia lineal con la amplitud de los datos, mediante lo que se conoce como expansión lineal del contraste o *linear stretch (Minimum-Maximum)*. Ahora bien, dado que la amplitud de las densidades de cada capa suele diferir, pues el valor máximo depende de la frecuencia y ubicación de las respuestas afirmativas a cada pregunta, se ha evitado la inconsistencia entre capas adoptando (forzando) una amplitud constante para la paleta de color: la de la capa de densidades de la muestra total de encuestados, que representaría la situación de densidad máxima (por incluir a la totalidad de los n residentes encuestados). Ello implicará que, a menudo, en los mapas de cada uno de los efectos percibidos, la totalidad de la paleta cromática no llegue a mostrarse; en particular, los tonos más intensos asignados a los valores altos probablemente no aparecerán. Esto, en lugar de ser un inconveniente, resulta una ventaja, pues asegura la comparabilidad de los mapas, mediante una “normalización” de la paleta, que hace innecesaria la normalización de los datos de densidad a los efectos de percepción visual.

Adicionalmente, y puesto que la gradación continua de color no propicia una aprehensión sintética y simple, se ha introducido otro componente cartográfico: las isolíneas a intervalos regulares de 0,1 encuestados / ha, las cuales permiten resaltar con nitidez las zonas donde se concentran los encuestados que reconocen una molestia ambiental concreta. Su gradación en grosor y las etiquetas cuantitativas con los valores de iso-molestias completan las ayudas a la apreciación.

Los tratamientos han sido desarrollados mediante ArcGIS, programa en el que la función disponible de densidad núcleo (kernel) para un lugar (píxel) dado,  $s$ , es la cuadrática descrita en Silverman (1986, p. 76, ecuación 4.5):

$$f'(s) = \sum_{d_i \leq h} \frac{3}{\pi h^2} \left( 1 - \frac{d_i^2}{h^2} \right)^2$$

Siendo  $d_i$  = la distancia entre el punto  $i$  y el lugar  $s$ , y  $h$  = anchura de la ventana de búsqueda.

Como información comparativa relevante se presentarán también los estadísticos descriptivos básicos de cada capa.

Con objeto de disponer de una visión sintética de los efectos negativos percibidos se ha construido además un índice sencillo que trata de resumir los resultados de las cinco preguntas según una lógica aditiva. A tal fin, para cada encuestado se obtuvo la proporción del número de respuestas afirmativas respecto al total de efectos considerados (5) y sobre tal valor fue aplicado el estimador kernel.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2 La distribución por localidades de la muestra y de los problemas ambientales percibidos

Antes de analizar los patrones de densidad de la afección ambiental sentida conviene presentar sucintamente la distribución espacial de la muestra y de las respuestas generales para una adecuada contextualización de las mismas. En la Tabla 1 se constata que el reparto de los encuestados es desigual, en correspondencia con el tamaño de las localidades. El conjunto del área de estudio exhibe también porcentajes diferentes según el tipo de afección: la contaminación del aire es muy altamente sentida (76,90 % de los encuestados), seguida de los olores (61,72 %). La suciedad en viviendas y el ruido se sitúan en tercer lugar con unas

frecuencias ligeramente superiores a la mitad de la muestra (54,83 y 52,76%) y finalmente la conciencia de problemas de salud es algo menos referida (39,31 %). Aunque tentativamente, cabría interpretar estos datos como una manifestación de la prevalencia de las sensaciones visuales (humos y suciedad), olfativas y auditivas, por este orden, en tanto que los efectos sobre la salud, aunque pudiesen ser más lesivos, quedan bastante rezagados en la percepción social, quizá por la dificultad de establecer subjetivamente la conexión causal con las emisiones industriales. En todo caso, los niveles de conciencia individual de los problemas son importantes, pues en todos los efectos, excepto uno, se supera la mitad de los encuestados.

En el tabla 1 es posible apreciar igualmente el grado de conciencia de los efectos en las distintas localidades. Al margen de las diferencias absolutas entre ellas, imputables en parte a la proporcionalidad de las submuestras, lo más revelador estriba en que, en ciertos lugares, los porcentajes de afección sentida exceden de manera notoria a los de la submuestra respectiva (primera fila de la tabla). Se han resaltado las celdas con un exceso de dos puntos porcentuales, lo que permite constatar que los asentamientos de Loncura y Horcón-Las Ventanas-La Greda exhiben una hipersensibilidad clara. Su posición más próxima al complejo industrial que los otros lugares aparece como la causa más verosímil de ese resultado.

Tabla 1: Distribución por localidades de la muestra y de la afección percibida por los encuestados

LOCALIDADES	Total	%	Quintero	%	Loncura	%	Las Ventanas - Horcón	%	Puchuncaví	%
Nº Encuestados	290	100	72	24.83	47	16.21	117	40.34	54	18.62
<b>TIPO DE AFECCIÓN</b>	SI (frec.)	%	SI (frec.)	%	SI (frec.)	%	SI (frec.)	%	SI (frec.)	%
Olor	179	100	40	22.35	29	16.20	74	41.34	36	20.11
Ruido	153	100	22	14.38	28	18.30	88	57.52	15	9.80
Contaminación del aire	223	100	50	22.42	30	13.45	96	43.05	47	21.08
Problemas de salud	114	100	21	18.42	28	24.56	43	37.72	22	19.30
Suciedad en vivienda	159	100	33	20.75	28	17.61	71	44.65	27	16.98

Nota: Porcentajes horizontales. Celdas en rosa: porcentajes > 2 puntos al de la muestra (primera fila). Fuente. Elaboración propia.

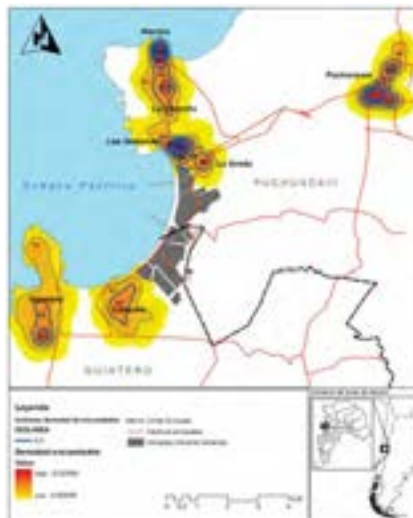
## 4.2 La densidad espacial de la muestra

Como segundo punto se describirán los patrones conformados por las densidades espaciales de los encuestados. En primer lugar se mostrará la densidad kernel de la muestra, a efectos de tomarla como referencia para el análisis de los efectos

ambientales que los residentes han percibido y una caracterización estadística sumaria del patrón de densidad de cada efecto.

En el mapa (Figura 2) se aprecia que las mayores densidades de encuestados aparecen en el ámbito de Las Ventanas-Horcón y Punchucaví. En Quintero son inferiores, aunque con un ligero aumento en su parte sur, donde en la última década se ha consolidado la zona de expansión urbana. En Loncura y La Greda se alcanzan densidades más bajas, en consonancia con el tipo de hábitat existente. En la Tabla 2 se recogen los resúmenes estadísticos de las capas raster de densidad obtenidas para los distintos efectos investigados. Ciertos estadísticos exhiben valores acordes con la frecuencia de las respuestas, por lo tanto en línea con lo esperado: así los valores máximos y las medias poseen un notable paralelismo (los mínimos no son relevantes, pues tienden siempre a cero, por efecto matemático del estimador). El coeficiente de variación, sin embargo, desvela que en tres de los efectos (olores, ruidos y polución atmosférica) las desigualdades relativas en las densidades son algo mayores que incluso las de la muestra total. Ello implicaría que espacialmente las divergencias sociales al respecto crecen, lo que podría interpretarse como una polarización relativamente mayor de las actitudes en tales casos.

Figura 2: Densidad núcleo (kernel) de los encuestados en el área próxima al complejo Ventanas, Chile



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Estadísticos de las capas de densidades focales (núcleo o kernel) de los encuestados totales y de los que han percibido efectos ambientales en el entorno del complejo industrial Ventanas, Chile. Unidades: Hab. por 0,25 ha.

ESTADÍSTICO	TOTAL MUESTRA	TIPO DE EFECTO PERCIBIDO				
		OLORES	RUIDOS	POLUCION EN AIRE	PROBLEMAS DE SALUD	SUCIEDAD EN VIVIENDA
MEDIA	0,112	0,073	0,068	0,089	0,052	0,067
DESVIACION TÍPICA	0,103	0,071	0,067	0,085	0,047	0,062
COEF. DE VARIACIÓN	0,920	0,973	0,991	0,960	0,916	0,918
MÁXIMO	0,522	0,396	0,365	0,474	0,236	0,326
MÍNIMO	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001

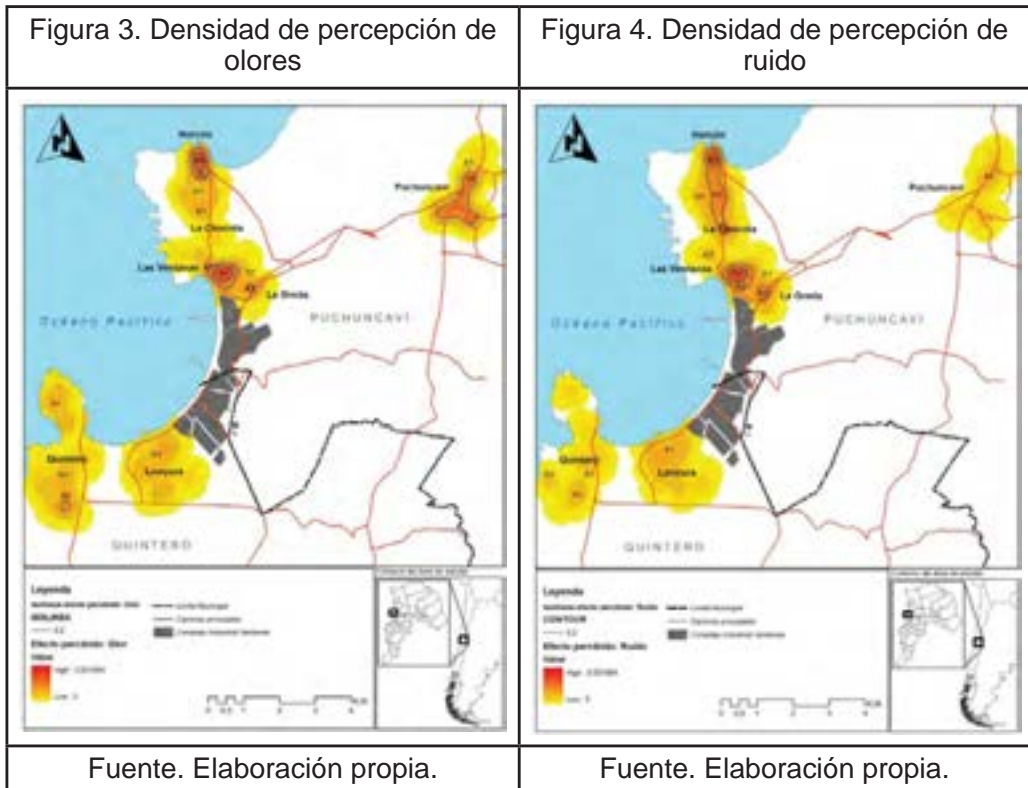
Nota: Se han excluido de los cálculos los valores nulos.

Fuente. Elaboración propia.

### 4.3 El malestar sentido según tipos de efectos ambientales

#### 4.3.1 La percepción de olores

La percepción vecinal de olores (Figura 3) evidencia unas densidades mayores en las localidades Las Ventanas y Horcón (extremo N), seguidas de Puchuncaví (NE). Si bien la primera está relativamente cercana a las industrias, los otros dos asentamientos quedan más distantes. En Loncura (adyacente a la zona industrial) y Quintero el impacto resulta menos densamente percibido (solo valores bajos y medio bajos de densidad), pese a la superior proximidad al foco contaminante valorado. Estos resultados cabría relacionarlos con la dirección del viento predominante que en el periodo diurno es de suroeste, mientras que en el periodo nocturno es del Este.



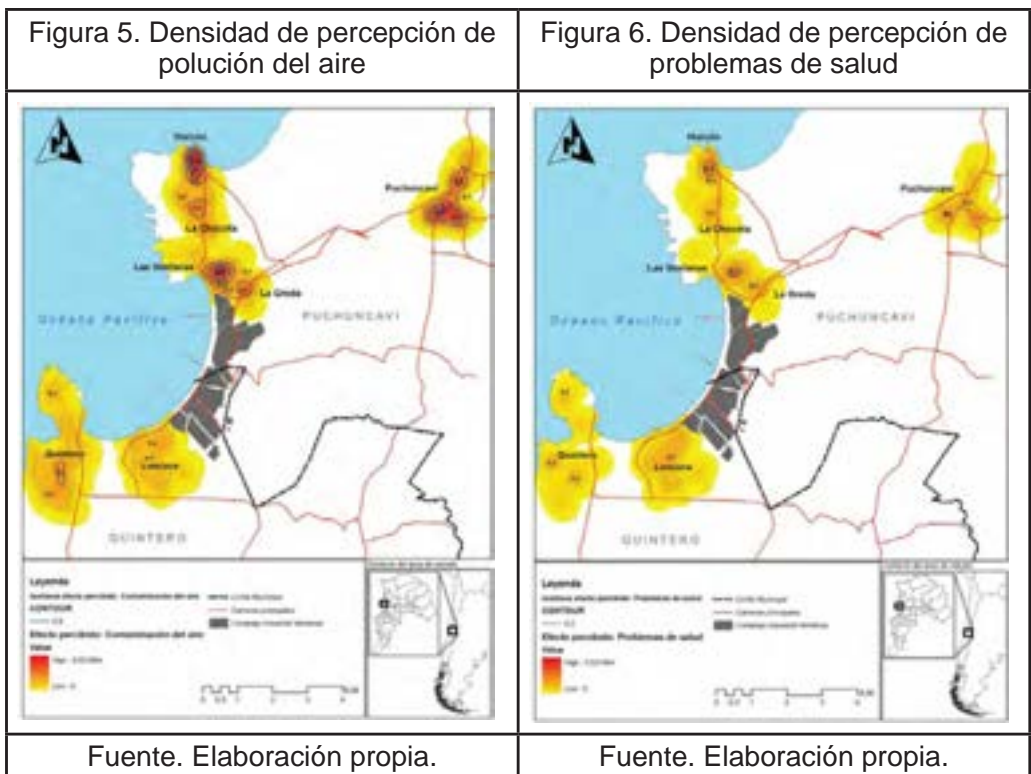
#### 4.3.2. La percepción de ruidos

En el caso del ruido (Figura 4) la percepción ciudadana exhibe espacialmente cambios significativos en su densidad, sobre todo cuando se la compara con la de muestra total. Aparece una mayor y amplia sensibilidad en Horcón - Las Ventanas; allí el área con densidad de afectados media-alta aparece más extendida que para los olores. Ello refleja también el hecho de que la cifra de afectados (Tabla 1) sea proporcionalmente superior. Por el contrario, las densidades (y los porcentajes de la Tabla 1) bajan ostensiblemente en Puchuncaví y Quintero. Recordando los factores incidentes en la difusión espacial de las ondas sonoras, entre ellos el descenso bastante rápido con la distancia: 6 dB de reducción al doblarse la distancia (Warring, 1983: 8), y el mayor alejamiento de las dos localidades mencionadas respecto al complejo fabril, resultan coherentes esas disminuciones en las apreciaciones subjetivas. En Loncura, localidad con un número de afectados proporcionalmente alto, no aparecen sin embargo concentraciones relevantes en las densidades de afección, aunque el patrón de su zona más afectada (desplazada hacia el norte) sea algo distinto al de los olores.



#### 4.3.3. La percepción de contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es, como se dijo antes, el efecto más constatado por los residentes. El mapa de percepción (Figura 5) denota densidades elevadas en Horcón-Las Ventanas y Puchuncaví, con un notable paralelismo al de la distribución muestral. La afección más destacada en tales localidades (sitas al N y NE del complejo industrial) habrá de ser puesta en relación con factores como los vientos diurnos dominantes. En Loncura y Quintero (parte sur) la extensión de la mancha de densidades medias crece también respecto a otros efectos, si bien proporcionalmente no destacan. Ambos casos se ubican al W de la zona industrial, lo que habrá de ser explorado con datos complementarios.



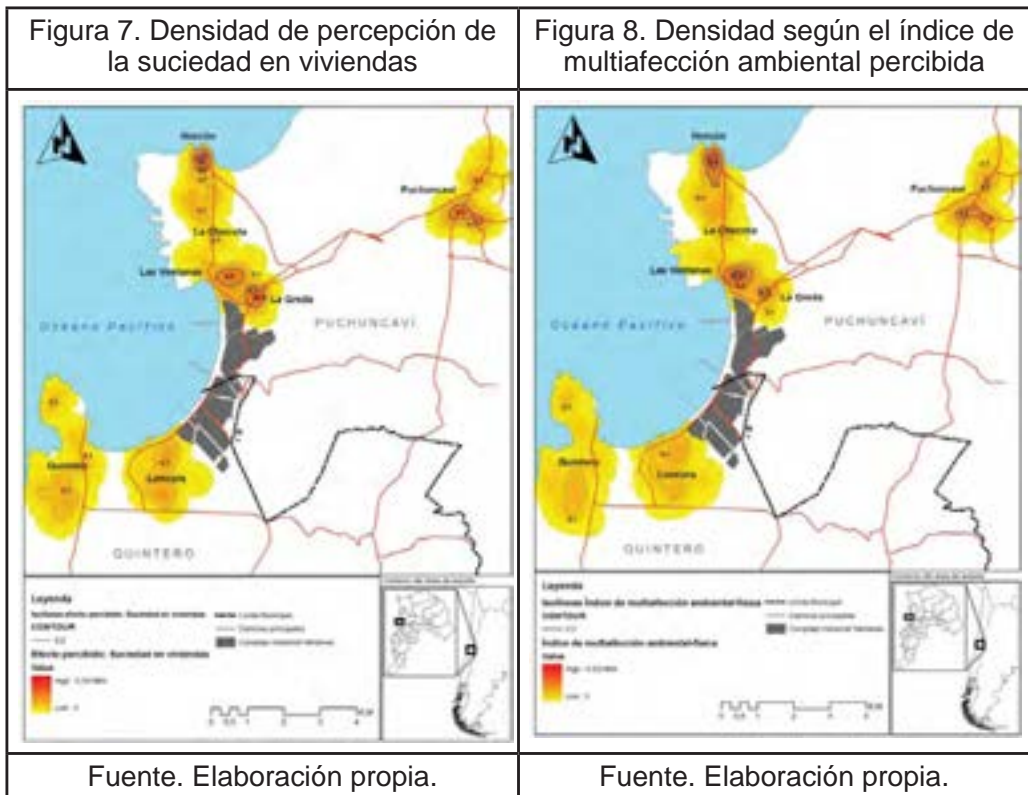
#### 4.3.4 Los problemas de salud percibidos

La asociación entre morbilidad y emisiones industriales resulta débil en la mente de los residentes, como mostró su porcentaje medio-bajo. Ello se plasma cartográficamente en unos niveles de densidad medios y bajos en casi todas las localidades examinadas (Figura 6). Quizá el hecho más destacable sea la persistente extensión de la zona de densidad media en Loncura. Esto puede relacionarse con

su contigüidad al complejo industrial y con la existencia de una cifra de afectados proporcionalmente superior, tal como se evidenció en el Cuadro 1.

4.3.5. *La suciedad en viviendas*

Este efecto, sentido por algo más de la mitad de los encuestados, se manifiesta proporcionalmente más solo en Horcón – La Ventanas, siendo la densidad mayor en la zona concreta de La Greda, adyacente al complejo (Figura 7). En los restantes lugares las densidades predominantes son medio-bajas y bajas.



4.3.6. *Diagnóstico sintético de la multiafección ambiental percibida (IMAP)*

El último mapa elaborado (Figura 8) intenta resumir mediante un índice de forma aditiva las respuestas a las cinco preguntas directas sobre la percepción social de los problemas ambientales. En conjunto, niveles medio-altos solo afloran en algunas zonas pequeñas de Horcón – Las Ventanas sitas al norte y un poco en el sur de Puchuncaví. En este asentamiento prevalecen las densidades bajas y medio-bajas de afectados, siendo esa la tónica ahora también de Loncura y Quin-

tero. En el primero de ellos la zona con densidad medio-baja sigue exhibiendo una extensión muy notable respecto al área del asentamiento, rasgo que ha persistido a lo largo de los mapas expuestos.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde una perspectiva metodológica, en otros trabajos similares sobre efectos ambientales de actividades humanas el acento se ha puesto en obtener datos estadísticos por unidades espaciales (e.g. asentamientos) que pueden resultar grandes y a veces vagamente definidas (e.g. Sofer et al., 2012), o en determinar campos de externalidades subjetivas a partir de una apreciación de la intensidad del efecto percibido mediante una escala ordinal (e.g. Bale, 1981 y 1990; Mason y Robins, 1991; Mason y Moncrieff, 1993; Chase y Healey, 1995). Esto último posibilita plasmar en mapas de isopletas dicha intensidad. Su significado sería equivalente al de los niveles de inmisión estimados para contaminantes atmosféricos.

Sin embargo, tales mapas no reflejan, ni permiten conocer la densidad del malestar social en cada lugar, pues esta depende de la distribución espacial del universo y de la muestra. Si ésta se seleccionó espacialmente de forma representativa, entonces las respuestas contienen, además del nivel de molestia (si se averiguó en la encuesta), un significado cuantitativo adicional, por cuanto la cifra total de los afectados expresaría la magnitud del impacto negativo absoluto, lo que sería asimilable al malestar total recogido en la muestra.

A diferencia de otros estudios previos que eluden tal aspecto, en el presente trabajo el foco se ha centrado en la "espacialización" de ese malestar total. Frente a la alternativa de resumir los hallazgos por localidades, aquí se ha propuesto una aproximación muy desagregada espacialmente, basada en la metodología planteada por Moreno (1992 y 1998), en aras de dar una visión más precisa de los impactos socio-ambientales allí donde ocurren. Con tales resultados se desvela la distribución espacial del malestar social imputable subjetivamente a las externalidades ambientales generadas por el complejo industrial. En efecto, si las cifras y porcentajes de respuestas afirmando esa afección traducen la magnitud de la misma y si se posee su referencia espacial, es factible entonces usar un procedimiento como el estimador núcleo (kernel) para plasmarla y examinarla espacialmente de forma detallada. Procede recordar que, por la estructura matemática de las funciones de densidad kernel, el valor unitario de cada afectado se reparte (según el tipo de kernel) entre los píxeles del entorno del punto-domicilio de manera descendente con la distancia, pero manteniendo la propiedad de que el volumen bajo la superficie de densidad es equivalente a la frecuencia de los puntos, i.e. a la cantidad de

afectados y a lo que representan, el malestar total capturado por la muestra. Ello hace posible avistar operaciones con SIG para analizar espacialmente esas distribuciones y explorar nuevas relaciones, cuestiones que aquí no se han abordado. En síntesis, uno de los resultados más destacables de este trabajo reside en haber mostrado cómo los datos muestrales pueden ser traspuestos a valores en las capas raster de densidad de afectados, que constituyen una estimación aproximada de la cantidad de malestar sentido en cada lugar (y con la resolución espacial que se desee).

Desde el punto de vista empírico, esta investigación ha permitido conocer una variedad de patrones de malestar socio-espacial subjetivo asociados a un gran complejo industrial. En ellos se han desvelado diferencias espaciales vinculables, por un lado, a las propias densidades espaciales de la muestra (proporcionales a la del universo), lo cual simplemente refleja que la mayor concentración de residentes tiende a ocasionar concentraciones de malestar, aunque no siempre en una cuantía proporcional; por otro, se han observado variaciones que podrían estar relacionadas con la distancia al complejo industrial o con la posición relativa (orientación), probablemente, como consecuencia de la forma de dispersión de los contaminantes. Algunos de estos hallazgos tienen cierta analogía con los descritos en Moreno (1998). En todo caso, relaciones como las recién mencionadas no se han podido investigar aquí y se abordarán en ulteriores análisis. Igualmente, otras cuestiones atinentes a los correlatos de las respuestas con los atributos personales o su asociación con algunos indicadores objetivos (mediciones de las inmisiones con instrumentos ad hoc), para fines explicativos quedan pendientes de explorar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bale, J. (1981). "Teaching welfare issues in Geography", en Walford, R. (ed.): *Signposts for geography teaching*. Londres, Longman, p. 51-63.
- Bale, J. (1990): "In the shadow of the stadium: football grounds as urban nuisances", en *Geography*, 75, 325-344.
- Barroto, M., Rodríguez, L., Reyes, A. y López, B. (2011). "Percepción ambiental en dos comunidades cubanas", en *M+A Revista electrónica de Medio Ambiente*, 10, 13-29. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/MARE/issue/view/MARE11111/>
- Buzai, G. D. (2011). "La geotecnología: ¿Nuevo paradigma de la geografía o paradigma geográfico de la ciencia?", *Revista Catalana de Geografia*, XVI, 42,

10 pp. [www.rcg.cat/articles.php?id=187](http://www.rcg.cat/articles.php?id=187)

- Buzai, G. (2011). “La construcción de mapas mentales mediante apoyo geoinformático. Desde las imágenes mentales perceptivas hacia la modelización digital”, en *Revista Geográfica de Valparaíso*, 44, pp. 1-17. Disponible en [http://www.rgv.ucv.cl/Articulo44\\_1.pdf](http://www.rgv.ucv.cl/Articulo44_1.pdf)
- Catalán-Vazquez, M. y Jarillo-Soto, E. (2010). “Paradigmas de investigación aplicados al estudio de la percepción pública de la contaminación del aire”, en *Rev. Int. Contam. Ambient.* 26 (2), pp. 165-178.
- Catling, S.J. (1978). “Cognitive mapping exercises as a primary geographical experience”, en *Teaching Geography*, 3, p. 120-123.
- Chase, J. y Healey, M. (1995). “The spatial externality effects of football matches and rock concerts - The case of Portman Road Stadium, Ipswich, Suffolk”, en *Applied Geography*, 15, 1, p. 18-34.
- Dear, M. Taylor, S. M. y Hall, G. B. (1980). “External effects of mental health facilities”, en *Annals of the Association of American Geographers*, 70, 3, p. 342-352.
- Ford, S., Moore, J., Niswonger, J. y Walsh, E. (2007). “GIS technical report: Spatial distribution of industrial land use and children's perception of safety and their environment”. The University of Texas at Austin. Disponible en <http://soa.utexas.edu/work/eaajp/Papers/GIS%20Report.pdf>
- Golledge, R. y Stimpson, R. (1997). *Spatial behavior. A geographic perspective.* New York: The Guilford Press.
- Gould, P. (1975). *People in information space: The mental maps and information surface of Sweden.* Lund Studies in Geography, The Royal University of Lund/CWK Gleerup.
- Gould, P. y White, R. (1974) *Mental maps.* Londres: Penguin.

- Jiménez Burillo, F. y Aragonés, J. I. (1991). *Introducción a la Psicología Ambiental*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Mason, C. y Moncrieff, A. (1993). "The effect of relocation on the externality fields of football stadia: The case of St Johnstone FC", en *Scottish Geographical Magazine*, 109, 2, p. 96-105.
- Mason, C. y Robins, R. (1991). "The spatial externality fields of football stadiums: the effects of football and non-football uses at Kenilworth Road, Luton", en *Applied Geography* 11(4):251-266.
- Moreno Jiménez, A. (1991). "Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel", en *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 30, p. 155-170. Disponible en <http://www.raco.cat/index.php/TreballsSCGeografia/article/view/184519/237797>
- Moreno Jiménez, A. (1992). "Spatial impact analysis and site selection for controversial public facilities with GIS". *EGIS'92*, en *Third European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*. Utrecht, EGIS Foundation, vol. 1, p. 483-491.
- Moreno Jiménez, A. (1998). "Los mapas de actitudes hacia el entorno: un instrumento para la exploración del espacio psico-social y la toma de decisiones con S.I.G.", en Alegre, P. et al. (Coord.): *Tecnología geográfica para el siglo XXI*. VIII Coloquio de Geografía Cuantitativa. Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, p. 247-263. Disponible en [http://age.ieg.csic.es/metodos/barcelona98/1998\\_018\\_moreno.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/barcelona98/1998_018_moreno.pdf)
- Moreno Jiménez, A. (2010). "GeoFocus: diez años en el camino hacia la sociedad de la geoinformación", en *GeoFocus* (Editorial), 10, pp. 1-6.
- Moreno Jiménez, A. (2013). "Entendimiento y naturaleza de la científicidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo epistemológico", en *Investigaciones Geográficas* (en evaluación).
- Moreno, A. y Escolano, S. (1992). *El comercio y los servicios para la produc-*

ción y el consumo. Madrid: Síntesis.

- Pérez-Tejera, F. (2012). "Diferencias entre los usuarios de seis parques públicos en Barcelona según el nivel de seguridad percibida en el barrio", en *Athenea Digital*, 12 (1), p. 55-66.
- Pinch, S. (1985). *Cities and services. The geography of collective consumption*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- Santos Preciado, J. M. y García Lázaro, F. J. (2008). *Análisis estadístico de la información geográfica*. Madrid: UNED
- Schroeder, H. (1984). "Environmental perception rating scales. A case for simple methods analysis", en *Environment and Behavior*, 16, 5, p. 573-598.
- Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*. New York: Chapman and Hall.
- Sofer, M., Potchter, O., Gnaim, N. y Gnaim, J. (2012). "Environmental nuisances from industrial activities in residential areas of Arab municipalities in Israel", en *Applied Geography*, 35, p. 353-362.
- Tuan, Y. (1974). *Topophilia: A study of environmental perception. Attitudes and values*. Nueva York: Prentice-Hall.
- Valera, S., Pol, E. y Vidal, T. (s.f.). *Elementos básicos de psicología ambiental*. Universitat de Barcelona. Disponible en <http://www.ub.edu/dppss/psicamb/>
- Warring, R. (1983). *Handbook of noise and vibration control*. Morden, Trade and Technical Press, 5ª ed.

# *gvSIG Fonsagua, un caso de éxito de investigación para el desarrollo en el ámbito de las tecnologías de la información geográfica*

Francisco Alberto Varela García, Francisco Puga Alonso, Mireia Carreras Álvarez y Antón Amado Pousa

## **Resumen**

En el año 2008, el Laboratorio de Ingeniería Cartográfica de la Universidad de A Coruña (Cartolab) comenzó en colaboración con la ONG de cooperación internacional Ingeniería Sin Fronteras (ISF): Galicia, un trabajo de investigación y desarrollo en el ámbito de las tecnologías de la información geográfica aplicadas a la cooperación al desarrollo.

Fruto de este trabajo se ha venido desarrollando a lo largo de los últimos años una aplicación denominada gvSIG Fonsagua que implementa sobre un Sistema de Información Geográfica la metodología vinculada al Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico. gvSIG Fonsagua permite la planificación y diseño de sistemas de abastecimiento de agua que ISF propone en zonas rurales de Honduras y El Salvador.

Este proyecto, fruto de una colaboración inicial relativamente modesta entre un laboratorio universitario y una ONG, se ha transformado en un proyecto dinamizador y potenciador del trabajo en red entre diferentes agentes. Surgen de esta manera, nuevas relaciones entre diferentes organismos e instituciones que se implican de alguna forma en este proyecto durante los últimos años. Así, en 2012 se desarrolló un programa de cooperación interuniversitaria, entre las universidades españolas de A Coruña y Extremadura y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Este vínculo está sirviendo de germen para el fortalecimiento de una red que vincula a ONG como Save the Children o ISF, asociaciones sociales locales como CODDE-FFAGOLF, administraciones públicas como la Alcaldía de Marcovia, y empresas como iCarto.

Este artículo describe los antecedentes del proyecto, el rol de todos los actores del proyecto, el software desarrollado, los detalles de la transferencia tecnológica, la metodología de coordinación y gestión y, el aprendizaje adquirido en cooperación al desarrollo por todos los implicados. Se concluye con una reflexión sobre las



perspectivas de futuro del proyecto.

**Palabras clave:** SIG. ONG. Agua. Cooperación. gvSIG. Software libre.

## Abstract

In 2008, Cartography Engineering Laboratory from a Coruña University (Cartolab) started in collaboration with the NGO Engineering Without Borders (ISF) Galicia, a research in the field of Geographic Information Technologies applied to Development Cooperation.

As result of this work an application called gvSIG Fonsagua has been developing over the last few years. This application implements on a Geographic Information System the methodology linked to the Water Resources Management Plan. gvSIG Fonsagua allows plan and design water supply systems in rural areas of Honduras and El Salvador.

This project was born as a relatively modest initial collaboration between a university laboratory and an NGO, and it has become a dynamic project and enhancer of networking between different agents. Arise in this way, new relationships between different agencies and institutions that are involved in some way in this project over the past years. So, in 2012 an Interuniversity Cooperation Program was developed between the Spanish universities of A Coruña and Extremadura and the National Autonomous University of Honduras. This link is serving germ for strengthening a network that links NGOs like Save the Children or ISF, local social associations as CODDEFFAGOLF, public administrations as municipality of Marcovia and businesses as iCarto.

This article describes the background of the project, the role of all stakeholders in the project, the software developed, the details of the technology transfer, coordination and management methodology and the lessons learned in development cooperation by all involved. We conclude thinking over the future prospects of the project

**Keywords:** GIS. NGO. Water. Cooperation. gvSIG. Free software.

---

**Francisco Alberto Varela García** (cartolab@udc.es), Cartolab. Universidad de A Coruña. **Francisco Puga Alonso** (fpuga@cartolab.es), Cartolab. Universidad de A Coruña. **Mireia Carreras Alvarez** (mireia.carreras@isf.es). **Antón Amado Pousa** (aamado@icarto.es), iCarto.

## INTRODUCCIÓN

La ONG de cooperación al desarrollo Ingeniería Sin Fronteras Galicia<sup>1</sup> (ISF) comenzó a trabajar en La Libertad (El Salvador) en el año 2004 incorporándose a los proyectos que ISF Cataluña llevaba desarrollando en la zona con sus socios locales CORDES<sup>2</sup> y ACUA. La línea central de este proyecto era la elaboración del plan director de abastecimiento y saneamiento en varias comunidades rurales del sur de la Libertad. El plan director conforma un instrumento de diagnóstico de la situación de acceso al agua y el saneamiento basado en la defensa del recurso hídrico y en el fortalecimiento de las estructuras de acción ciudadana articuladas en torno al derecho al agua.

A finales de 2007 ISF Galicia identifica un programa a 4 años (2008 a 2012) de acceso al agua en Honduras dentro del convenio: *“Reducción de la vulnerabilidad en áreas empobrecidas, a través del acceso al agua potable, el saneamiento y la gestión sostenible de los recursos hídricos y del territorio con enfoque de cuenca hidrográfica en El Salvador, Honduras y Nicaragua”* que tres asociaciones de la Federación Española de Ingeniería Sin Fronteras ejecutan con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), entre otros financiadores.

ISF Galicia traslada al programa identificado en Honduras la experiencia adquirida en El Salvador adaptando la filosofía y actuaciones del plan director, dando lugar a una nueva metodología a la que se denomina Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PGIRH en adelante). Dentro del proceso de definición del PGIRH (Ingeniería Sin Fronteras Galicia, 2010), ISF Galicia entra en contacto con Cartolab<sup>3</sup> para realizar un estudio de investigación y sistematización sobre las herramientas existentes para la elaboración del plan. Fruto de este estudio nace el software gvSIG Fonsagua<sup>4</sup>.

En 2011 iCarto<sup>5</sup>, empresa de base tecnológica nacida en el seno de Cartolab, intensifica su colaboración en el proyecto aportando análisis de requisitos, evaluación de metodologías de desarrollo, contacto con socios en Honduras y El Salvador, capacitaciones y ya a partir 2012 siendo parte del equipo de diseño y desarrollo.

---

<sup>1</sup> <http://www.isf.es>

<sup>2</sup> <http://www.cordes.org.sv/>

<sup>3</sup> <http://cartolab.udc.es>

<sup>4</sup> <http://cartolab.es/fonsagua>

<sup>5</sup> <http://icarto.es>

En el año 2012 el proyecto inicia una nueva fase con dos hitos fundamentales: ISF Cataluña y ANDA<sup>6</sup> inician un proyecto conjunto financiado por la AECID, por el cual se acuerda que gvSIG se convierta en una herramienta pública para planificar sistemas rurales en El Salvador.

Por otro lado, Cartolab ejecuta con la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Extremadura (UNEX) un proyecto de cooperación interuniversitaria en torno a gvSIG Fonsagua, obteniendo también el respaldo y financiación por parte de la AECID.

### Descripción de la metodología del PGIRH

Para comprender el aporte que el uso de SIG y en concreto gvSIG Fonsagua ha supuesto es necesario describir brevemente en qué consisten las distintas fases del PGIRH.

Figura 1: Proceso del PGIRH



Fuente: Ingeniería Sin Fronteras.

*Presentación del PGIRH.* Se presenta el PGIRH a todos los agentes relacionados con el tema del agua en los municipios de trabajo: patronatos, juntas de agua, SANAA<sup>7</sup>, alcaldías, líderes comunitarios, etc.

*Levantamiento de la información.* Se levanta la información necesaria para poder hacer el diagnóstico de la situación socio-económica y del recurso hídrico en

<sup>6</sup> ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado de El Salvador. Administración responsable a nivel estatal de la prestación de servicios de abastecimiento, saneamiento y asistencia técnica.

<sup>7</sup> SANAA: Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Gobierno de Honduras. Responsable a nivel estatal de la prestación de servicios de abastecimiento, saneamiento y asistencia técnica.

las comunidades de los municipios de trabajo. Esta información incluye **aspectos sociales y demográficos**, **aspectos técnicos** sobre los sistemas actuales de abastecimiento y saneamiento y **estado del recurso** hídrico en el área de trabajo. La toma de datos en campo es realizada por personal de los socios locales mediante talleres participativos y encuestas. La información geográfica se levanta mediante dispositivos GPS con el asesoramiento de Cartolab.

*Procesado de la información y generación de alternativas.* Toda la información recopilada es volcada digitalmente para su posterior procesado y análisis. Tras su procesado se dispone de una línea base de la situación socio-económica de las comunidades así como de la problemática específica de abastecimiento de agua y saneamiento. Este es el punto de partida para realizar el planteamiento de alternativas para el abastecimiento y saneamiento de las comunidades. El resultado de esta fase se expresa en una serie de informes, sociales y técnicos, adaptados a los distintos destinatarios, comunidades, alcaldías y resto de agentes.

*Entrega de la información generada a las comunidades y alcaldías.* Los informes obtenidos intentan emplearse no sólo como los pasos previos a carpetas técnicas con enfoque constructivo, sino como herramienta para realizar tareas de incidencia y sensibilización sobre el derecho de acceso al agua.

*Seguimiento de municipios y comunidades:* Se realiza un seguimiento periódico a las comunidades para estudiar su evolución a partir de la línea base del proyecto, tanto en el aspecto de mejora del abastecimiento, como del fortalecimiento institucional.

## Flujo de trabajo previo

Antes del nacimiento de gvSIG Fonsagua, se empleaban distintas aplicaciones software genéricas, no adaptadas a las necesidades del PGIRH. El personal de las entidades socias locales levantaban la información mediante dispositivos GPS y fichas en campo. Los puntos GPS se exportaban a la aplicación SIG (ESRI ArcGIS) en el formato de ficheros shapefile. Los datos alfanuméricos de las fichas de campo se introducían en la base de datos (Microsoft Access), sin componente espacial. Desde la base de datos se podían generar los informes de diagnóstico y extraer mediante consultas sobre la base de datos, cierta información de las comunidades levantadas. A partir de dichas consultas se realizaban estadísticas y tablas de diagnóstico del municipio (para la memoria municipal).

La generación de las alternativas se realizaba mediante una hoja de cálculo

(Microsoft Excel) en la que se calculaban técnicamente los elementos de un sistema de abastecimiento de agua (bombeo, línea de captación, red de distribución...), así como el presupuesto de las alternativas. Esta hoja de cálculo se alimentaba manualmente a partir de datos provenientes tanto de la base de datos como del SIG. Se realizaban consultas en la base de datos que luego se importaban desde la hoja de cálculo y en el SIG se digitalizaban las geometrías que definían las alternativas planteadas. A partir de estas geometrías se obtenían los datos de longitudes, elevaciones, etc. Con estos datos se iba iterando a través de ciertos valores de la hoja de cálculo buscando alternativas válidas. Una vez se consideraba una alternativa como viable los datos de las alternativas planteadas eran exportados de nuevo a la base de datos.

## JUSTIFICACIÓN

La forma previa de trabajo se trataba de un proceso complejo, farragoso y poco intuitivo, en el que se empleaba un costoso software privativo, de modo que cuando ISF Galicia identifica el programa en Honduras plantea a Cartolab la necesidad de mejorar las herramientas.

Tras estudiar los procesos, Cartolab propone una sistematización de la metodología existente y recomienda que la base de las herramientas sean las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) dado que estas son la mejor vía para analizar la relación entre personas y territorio. Se acuerda la implementación de un SIG que aglutine en una única herramienta todo el proceso. Además se propone que la herramienta a implementar se desarrolle bajo la óptica de la denominada Tecnología para el Desarrollo Humano (TpDH).

## Tecnologías de la Información Geográfica

Si bien el empleo de las TIG no está suficientemente extendido en el sector de la cooperación al desarrollo resulta evidente la importancia de la componente espacial en este tipo de proyectos. Parámetros como la distancia de la línea eléctrica al punto de bombeo, o las áreas de población sin abastecimiento son gestionados actualmente en la mayoría de intervenciones como datos alfanuméricos y analizados mediante informes exclusivamente textuales. La introducción de esta información en un SIG redundaría de forma inmediata en una mayor eficiencia de la ayuda al poder representar esta información de manera gráfica y realizar análisis y operaciones complejas, como por ejemplo diseñar la totalidad del sistema de abastecimiento de agua desde el propio SIG.

Su uso en cooperación, al igual que sucede con cualquier nueva tecno-

logía, a pesar de ser sobradamente rentable a largo plazo tiene dificultades de introducción elevadas y de no realizarse bien puede hacer fracasar el proyecto (Rodríguez Espinosa & Bosque Sendra, 2009). Mantenerse dentro de la filosofía de la TpDH facilita la consecución de los objetivos del proyecto.

## Tecnología para el desarrollo humano

La motivación central de la TpDH es el reconocimiento de la necesidad de la orientación del progreso tecnológico a la promoción del desarrollo humano. Es el resultado de combinar la tecnología como hecho cultural<sup>8</sup>, con el concepto del desarrollo humano, es decir el "*proceso de ampliación de las opciones de la población*" (PNUD, 2009). La TpDH iría por tanto más allá de lo que tradicionalmente se entiende por Tecnología Apropriada (TA). La TA presenta las siguientes características generales (Eade, 1995):

- Bajo costo y priorización del uso de materiales disponibles en el lugar, lo que facilita el mantenimiento y reparación del equipamiento.
- Pequeña escala, para ser sufragables por familias o grupos pequeños de familias.
- Fácil utilización, control y mantenimiento por la población sin un alto nivel de cualificación específica.
- Sostenibilidad, pueden utilizarse sin dañar el medio ambiente.
- Son flexibles, varían dependiendo del entorno sociocultural, lugar y circunstancias cambiantes. Una tecnología apropiada en un contexto puede no ser lo en otro.
- Relativamente intensivas en mano de obra, pero más productivas que muchas tecnologías tradicionales. Suponen que las personas trabajarán juntas para mejorar la comunidad.

La evolución del concepto de TA hacia TpDH está relacionada con la propia evolución de la definición de desarrollo humano que ahora contempla el aspecto de la **Ciudadanía Global**. todos las personas usuarias de nuevas tecnologías deben ser consultadas, a fin de analizar cuáles son sus necesidades, quién se beneficiará, quién la controlará y velará por su mantenimiento, y qué impacto socio-económico tendrá. Especial atención debe prestarse a los colectivos tradicionalmente excluidos, como las mujeres, evitando que su voz quede silenciada.

<sup>8</sup> Según la UNESCO, se entiende por tecnología "las habilidades, conocimientos, instrumentos y procedimientos destinados a proveer bienes y servicios"

Por tanto, es necesario que los procesos de desarrollo incorporen el aumento de las capacidades de generación de conocimiento, evitando así la dependencia de los que las detentan. También es necesario que tanto ese proceso como el conocimiento en sí mismo permitan y faciliten ganar libertad y autonomía, tanto de forma individual como colectiva.

Cuando un proyecto incluye alguna componente software, la única forma de que se pueda considerar como una "*tecnología para el desarrollo humano*" es que se empleen aplicaciones de Software Libre.

## Software libre

Se considera software libre a aquel que otorga a los usuarios cuatro libertades (FSF, 1996):

- Libertad para usar el programa con independientemente del propósito para el que se emplee
- Libertad de estudiar cómo funciona el programa y de modificar su comportamiento
- Libertad para redistribuir copias del programa
- Libertad para redistribuir las modificaciones que se hagan al programa

El empleo de software libre potencia que no se creen dependencias económicas ni tecnológicas, pues permite que puedan aparecer a nivel local emprendedores que proporcionen servicios relacionados con la herramienta. Se evita de esta manera que se genere dependencia de un único distribuidor, que podría condicionar las posibilidades de mejora y desarrollo en un momento determinado.

## DESARROLLO

### Fase I y II

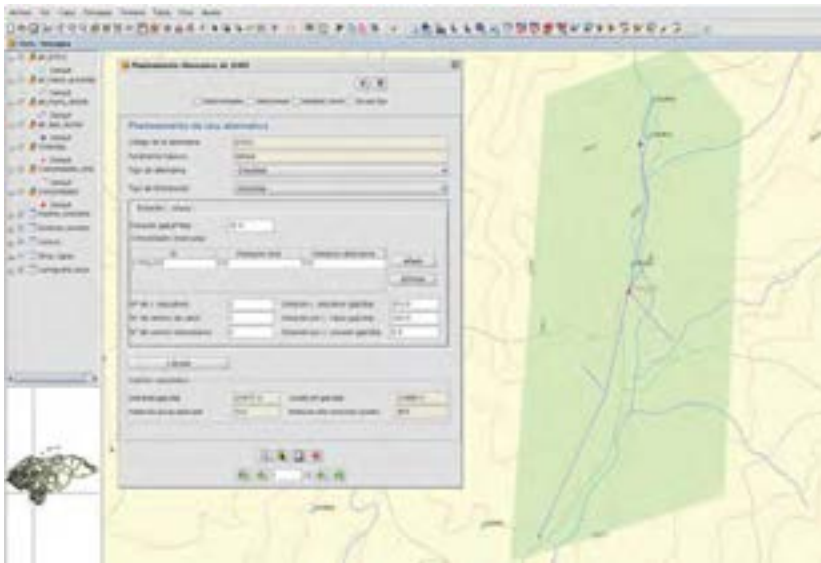
El desarrollo de la aplicación acorde a las características del PGIRH en Honduras se planificó en dos fases diferenciadas, la primera se ejecutó en 2009 y la segunda en 2010. El éxito de la implantación en Honduras fue clave para la tercera fase en desarrollo ya en El Salvador.

La financiación para la realización del proyecto se obtuvo a través de la sendas convocatorias de Ayudas para la Investigación en Cooperación al Desarrollo del Fondo 0,7% de la Universidad de Coruña (UDC).

Un aspecto clave ha sido, y sigue siendo, el reto de trasladar la metodología de trabajo comunitario y participativo de ISF a este proyecto particular. Desde el principio se ha procurado la integración en el proyecto de personas de los socios locales, como la Alcaldía de Marcovia y la ONG Save the Children Honduras. También las personas responsables de ISF tanto en terreno como en la sede central, puesto que el grupo del personal técnicos voluntario de ISF Galicia supervisó en todo momento la ejecución del proyecto.

El equipo de Cartolab e iCarto, compuesto por analistas y desarrolladores SIG con conocimientos hidráulicos y experiencia en cooperación al desarrollo, estudió tecnológicamente cómo resolver dichos requisitos y condicionantes, consensuando las soluciones con el resto de implicados.

Figura 2: Desarrollo de alternativas, gvSIG-Fonsagua, fase II



Fuente: Elaboración propia.

### Fase III

La fase III, en marcha en este momento gracias al proyecto “Mejora de la gobernabilidad del agua en El Salvador a través de fortalecimiento institucional y ciudadano”, liderado por ISF Cataluña y ANDA, y financiado por la AECID, tiene como objetivo reescribir buena parte del código adaptándolo a las nuevas tecnologías existentes en el mercado y personalizarlo a las necesidades específicas en



El Salvador. La aplicación estaba diseñada inicialmente para ser empleada por entidades locales de Honduras, mientras que ANDA tiene carácter estatal, por tanto con mucho mayor volumen de información. La parte principal del proyecto consiste en:

- Substituir el sistema de acceso a datos que se empleaba en Honduras (fundamentalmente *shapefiles*) por una base de datos PostGIS.
- Ampliar las posibilidades del módulo de diseño de alternativas, adaptándolo al contexto salvadoreño, más complejo que en el sur de Honduras, en cuanto a sistemas y orografía.
- Modificaciones en el modelo de datos e la interfaz gráfica de la aplicación.
- Internacionalizar la aplicación para que pueda ser empleable en distintos contextos con sistemas legislativos diferentes (estandarización de unidades de medida, etc.)
- Analizar capacidades de análisis de evolución temporal y gestión de históricos de los datos generados.

## FUNCIONALIDADES DE LA APLICACIÓN GVSIG FONSAGUA

Dentro de la fase de análisis se identificó una aplicación libre de SIG que se usaría como base para no tener que realizar todos los desarrollos desde cero. La aplicación escogida fue gvSIG, por estar en constante evolución, poseer una amplia base de usuarios hispanohablantes que dan soporte y generan casos de uso, y disponer de las funcionalidades básicas requeridas sobre las que realizar los desarrollos a medida (Puig i Polo & Gilavert Margalef, 2008).

*Introducción de información.* La aplicación desarrollada permite introducir información respetando la forma de trabajo en campo de los técnicos. Los puntos GPS que se toman en campo pueden ser introducidos en las capas propias del modelo de datos de la aplicación directamente desde el dispositivo GPS o a partir de ficheros gpx. Los formularios realizan automáticamente validaciones que indican al usuario cuando está cometiendo algunos errores habituales, como por ejemplo introducir la elevación de la captación de un sistema por gravedad por debajo del depósito de distribución. Los propios formularios incorporan funcionalidades para el análisis territorial.

*Diseño de alternativas de abastecimiento.* Permite el diseño de una red de

abastecimiento dibujando sus componentes sobre el mapa, desde el punto de captación hasta la red de distribución. Permite calcular parámetros hidráulicos (como las presiones en la tubería), económicos (como la cuota a satisfacer por la comunidad para la sostenibilidad del sistema diseñado) y otros (como el dimensionamiento de los bombeos). A pesar de lo dicho conviene aclarar que la aplicación no está pensada para la fase de planificación y priorización de las actuaciones, por lo que para abordar la fase constructiva sería realizar una carpeta técnica más detallada.

*Acceso a datos.* En el caso hondureño, se implementó una capa de acceso a datos por encima de la propia del software base empleado, que combina un sistema de almacenamiento en shapefile con una base de datos local de tipo SQLite (Varela García, Tsao Santín, Molejón Quintana, Estévez Valiñas, & Varela García, 2009). En el caso del Salvador se usará una base de datos centralizada, por lo que es necesario reescribir una buena parte del código. Esta reescritura se está realizando desacoplando el acceso a datos de modo que los nuevos desarrollos se puedan reaprovechar en otros contextos.

*Extracción de información.* Desde la aplicación se puede generar automáticamente el informe de diagnóstico (información más relevante y necesidades de la comunidad) y el informe de alternativas (información técnica referida a la viabilidad, coste y características de las alternativas). Existe además la posibilidad de exportar a formatos editables una serie de consultas predefinidas sobre los datos y un resumen del presupuesto. Otra opción es la de abrir un diálogo que aglutina datos de diagnóstico y de las alternativas que afectan a esa comunidad para poder hacer comparaciones y priorización.

## TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

La herramienta gvSIG Fonsagua no se queda en un mero programa útil para alimentar y volcar información, si no que busca servir de vector de transmisión para una transferencia integral de conocimiento acerca de las TIG. Aprovechando el valor y la potencialidad de este proyecto se dan a conocer otras herramientas y sobretodo otros usos que se le pueden dar a las mismas. Esta transferencia de conocimiento “integral” es otro de los hitos significativos del proyecto.

Durante todo el proceso, la alcaldía de Marcovia y el personal técnico de SCH participaron activamente en la definición de requisitos del sistema, y en todo el proceso de desarrollo permitiendo tener un mejor conocimiento del software para que se adapte a sus necesidades. Además, se llevaron a cabo capacitaciones no sólo orientadas a presentar el funcionamiento de gvSIG Fonsagua, sino también

a presentar las principales tecnologías que integran las TIG, dar a conocer otras herramientas que pueden ser útiles en el día a día de los socios y actores parte del proyecto, y especialmente contribuir a que las personas participantes vean la potencialidad de las TIG.

Alineada con esta línea de trabajo se presentó este proyecto a posibles nuevos socios, tanto en Honduras como en El Salvador y Nicaragua, y gracias a esta iniciativa en 2011 se materializó un Programa de Cooperación Interuniversitaria (PCI) financiado por la AECID, entre la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y las universidades españolas de A Coruña y Extremadura. El PCI llevado a cabo por las universidades supuso un paso importante en la estrategia de transferencia de conocimiento, puesto que en 2013 podemos afirmar que en Tegucigalpa hay ya un equipo de personas que pueden dar soporte y apoyo tecnológico a gvSIG Fonsagua. Esta línea, que también se plantea reforzar en El Salvador, es clave para la sostenibilidad del proyecto pero sobre todo para avanzar en el ciclo integral de la transferencia de conocimiento.

## **LECCIONES APRENDIDAS, BUENAS PRÁCTICAS Y CONCLUSIONES**

Durante el desarrollo de la aplicación se tuvo muy en cuenta la importancia de la transferencia tecnológica. Para que esta fuera lo más efectiva posible se acometieron varias acciones que pueden considerarse como buenas prácticas:

### **Sobre proyectos de cooperación e IpD desde la universidad**

- Investigación para el Desarrollo (IpD) aplicada. Debería intentarse que una buena parte de la IpD universitaria respondiera a necesidades reales. En esa línea el realizar la investigación en colaboración con alguna organización dedicada a la cooperación que pueda aplicar los resultados puede considerarse una buena práctica.
- Deben difundirse los resultados. Si bien es fundamental la difusión formal de los resultados en congresos o revistas científicas no es menos importante la difusión informal, especialmente a través de los nuevos canales de internet como los blogs.
- Cuando se trabaje junto a una ONG los voluntarios y técnicos de sede de la organización deben ser conscientes del estado y decisiones tomadas.
- La comunicación con terreno resulta complicada por la distancia cultural y geo-

gráfica de los interlocutores, por lo que debe planificarse de forma cuidadosa.

- Se debe identificar correctamente a los interlocutores en terreno. No todos los agentes implicados mostrarán el mismo entusiasmo ante la introducción de cambios. Resulta fundamental identificarlos correctamente y que todos se sientan integrados en el proceso.

### **Sobre proyecto de cooperación que incluyan desarrollo de software**

- La definición de requisitos debe realizarse en estrecho contacto no sólo con el personal expatriado si no también con los técnicos locales. Esto ayudan a que se apropien del aplicativo (empoderamiento)
- Debe tenerse desde el comienzo del proyecto que es necesario realizar capacitaciones acordes al perfil de los futuros usuarios y proporcionar información sencilla de como emplear la herramienta.
- Es muy recomendable que alguno de los miembros del equipo de desarrollo tenga experiencia en cooperación. Esto ayuda a comprender los distintos ritmos a los que se mueven los implicados en el proyecto y a definir los requisitos de manera más correcta. Integrar también como parte del equipo a una persona que aporte el punto de vista del usuario resulta asimismo fundamental.
- El software debe publicarse bajo licencias libres y con criterios abiertos de gobernanza y participación comunitaria.
- Se debe ser conscientes de que tras la entrega surgirán dificultades de uso y errores. Debe planificarse una fase de mantenimiento y asistencia.

### **CONCLUSIONES**

Tras la experiencia adquirida en este y otros proyectos, una de las conclusiones alcanzadas es la dificultad de encontrar financiación para este tipo de proyectos de investigación aplicada desde el ámbito universitario.

Queremos destacar también la importancia de introducir las TIG en la cooperación al desarrollo. Estas tecnologías suponen un aumento considerable de la eficiencia en los proyectos de acceso a servicios básicos como el agua, energía, etc., además de permitir enlazar información diversa para realizar un diagnóstico más completo sobre diferentes sectores como la salud, la educación, etc.

Algunas de las dificultades encontradas en este proyecto, intrínsecas algu-

nas a la realidad de la cooperación, hubieran sido seguramente inabordables de no haber trabajado desde el principio con la tecnología para el desarrollo humano como guía. Consideramos imprescindible tener siempre en cuenta la TpdH en cualquier proyecto abordado desde la universidad. en el caso particular de que se empleen aplicaciones informáticas, estas deberían ser de software libre, puesto que se trata de la única forma de poder realizar una adecuada transferencia y generación de conocimiento entre todos los agentes implicados.

## FUTURO DEL PROYECTO

- El análisis de las perspectivas de futuro de este proyecto, y de su interacción con los agentes involucrados y otros a los que se presentado el proyecto, han permitido identificar nuevas posibles funcionalidades como:
- Seguimiento temporal de ciertas variables y comparativas con la línea base.
- Levantamiento de información a nivel familia, y auto-integración con los datos comunitarios.
- Generación de indicadores de cobertura de agua y ampliación de módulos de seguimiento técnico y agenda hídrica.
- Generación automática de mapas y gráficos desde la aplicación.
- Módulo de generación de alternativas de saneamiento.
- Desarrollar un visor web que permita visualizar y compartir en red la información generada durante el levantamiento de datos y la generación de alternativas.
- Esperamos seguir avanzando en esta herramienta para que pueda aplicarse en más comunidades, países y en nuevos ámbitos de la cooperación al desarrollo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anguix, A., & Díaz, L. (2008). "gvSIG: A GIS Desktop solution for an open SDI". *Journal of Geography and Regional Planning*, 041-048.
- Eade, D. (1995). *The Oxfam Handbook of Development and Relief*. Londres.
- Free Software Foundation (1996). "*The free software definition*". Disponible en: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>
- Ingeniería Sin Fronteras Galicia (2010). "*Plan de gestión integral del recurso hídrico*". Disponible en: <http://www.slideshare.net/esfgalicia/planes-de-gestion-in->

## tegral-del-recurso-hidrico

- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (2009). *Informes sobre desarrollo humano*. Tegucigalpa: PNUD.
- Puig i Polo, C., & Gilavert Margalef, J. (2008). "Estudio comparativo de herramientas SIG Libres aplicadas a contextos de cooperación al desarrollo" // *Jornadas de SIG Libre* (Gilavert, J.; Puig, C.). Girona.
- Rodríguez Espinosa, V., & Bosque Sendra, J. (2009). "Aplicaciones de las TIG en las ONG: problemas y soluciones" *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano*.
- Varela García, J. I., Tsao Santín, F., Molejón Quintana, C., Estévez Valiñas, J., & Varela García, A. (2009). "Desarrollo en gvSIG para la mejora de la gestión de información de ISF en Honduras". *Jornadas Internacionales de gvSIG*. Valencia.

# *Tratamiento digital de imágenes satelitales para la búsqueda y clasificación de cráteres en la Zona Sur de Honduras*

Rafael Enrique Corrales Andino

## **Resumen**

Esta investigación pretende contribuir en la conformación y aplicación de una metodología con técnicas de teledetección para la identificación de formaciones geomorfológicas características de cráteres; su área de estudio fue la zona sur de Honduras; utilizando como método el análisis digital de imágenes, con el satélite LandSat TM y la captura de firmas espectrales en campo, con un radiómetro ASD del rango visible al infrarrojo. En la primera fase, los resultados consistieron en recolección de materiales rocosos, firma espectral de coberturas del suelo para calibración de las imágenes. En la segunda fase del proyecto, se analizaron las firmas espectrales, encontrando que los materiales propios de los sitios propuestos como cráteres correspondían a material de origen volcánico, por lo que las formaciones encontradas corresponden a cráteres volcánicos, descartando la posibilidad de encontrar en esta zona específica un origen meteórico de los mismos. Tanto los filtros como los componentes principales generados para encontrar alteraciones hidrotermales, fueron prioritarios para determinar las zonas de cráteres y la radiometría para establecer el tipo de material presente y característico de uno u otro cráter (volcánico o meteórico).

**Palabras clave:** Radiometría de campo. Cráteres. Análisis digital de imágenes. Sur de Honduras.

## **Abstract**

This research aims to contribute to the creation and implementation of a methodology with remote sensing techniques to identify geomorphological features of craters, their study area was the south of Honduras as a method using the digital image analysis with the LandSat satellite TM and spectral signature capture in the field, with an ASD radiometer visible-infrared range. In the first phase, results collection consisted of rocky material, firm land cover spectral calibration of the images. In the second phase, we

analyzed the spectral signatures, finding that the materials from the proposed sites as craters correspond to volcanic material, so the formations correspond to volcanic craters, ruling out the possibility of finding in this area specific meteoric origin thereof. Both filters as main components generated to find hydrothermal alterations were to determine priority areas of craters and radiometry to establish the type of material present and characteristic of either Crater (volcanic or meteoric).

**Keywords:** Field Radiometry. Craters. Digital image analysis. Southern Honduras.

---

**Rafael Enrique Corrales Andino** (rafa504@yahoo.com). Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras.



## INTRODUCCIÓN

El uso de las tecnologías de la información geográfica está cambiando la forma de hacer ciencia, pasando de una forma analógica a una digital, esto sumado a las cada vez más utilizadas técnicas de percepción remota, que permite realizar análisis de sitios difíciles de acceso a través de imágenes de la Tierra, adquiridas por sensores transportados por plataformas aéreas o espaciales.

Stoner y Baumgardner (1981) y Galvão y Vitorello (1998, citado por Córdoba, 2009) establecen que la reflectancia es la relación entre la intensidad de luz reflejada por una cubierta y la intensidad de luz incidente sobre ella, se mide mediante espectrofotómetros de reflexión específicos o de amplio espectro compuestos por una fuente de luz y un prisma que descompone la fuente de luz en longitudes de onda distintas, obteniéndose un espectro continuo de reflectancia de la cubierta. Para Smith (et al, 1990) la radiación detectada puede ser considerada como una mezcla de diferentes respuestas espectrales procedentes de los distintos materiales que la componen. Agregado a ello la interacción de la capa atmosférica que se encuentra entre la posición del sensor y el objeto de su medida contribuye con la respuesta espectral mixta, pudiendo separarse o ser modelada mediante correlación entre los datos registrados por el sensor del satélite y los registrados por el sensor in situ.

Hasta el año 2007, no existían protocolos sobre metodologías específicas para la aplicación de radiometría de campo (Vásquez et al, 2007) de forma exhaustiva, para todo tipo de cubierta (naturales y/o antropogénicas), destacando que en la actualidad se calcula el número y tamaño de muestras para diferentes cubiertas, en su mayoría aplicando modelos estadísticos de correlación.

En el presente trabajo como lo que se pretende es establecer diferencias entre posibles áreas de cráteres y otros suelos, el área de estudio está sujeta a los patrones identificados previamente como potenciales cráteres. Dichos patrones fueron identificados por filtros utilizados para resaltar alineamientos y bordes así como de alteraciones hidrotermales, manifestado como todo cambio ambiental sobre las rocas, provocando una respuesta mineralógica, química y textural, en presencia de agua caliente, vapor o gas (Corrales, 2010). Este tipo de procesos ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido (Maksaev V., 2003).

Con técnicas de teledetección, aplicando ACP selectivos o dirigidos se puede cartografiar minerales relacionados con la alteración hidrotermal, tales como óxidos de hierro y minerales arcillosos, con contenidos potásicos, filíticas y propilíticas (Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. & Martínez, R. 2008).

En el mundo de la ciencia, investigadores como Delendatti, describen un ACP como una combinación lineal por la cual un conjunto de variables correlacionadas se transforma en un sistema de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (CP) las cuales pueden describir en un espacio menos complejo la variabilidad total de los datos originales. Esto quiere decir que las transformaciones iniciales de los datos estarán referidas a un nuevo sistema de ejes ortogonales en el cual la varianza en la dirección del primer eje está maximizada. La varianza total de los componentes es igual a la varianza de las variables originales y los CP se ordenan según varianza decreciente.

Dentro del contexto geográfico, el estudio se desarrolló en el Valle de Choluteca, es un rectángulo de una superficie de 6,318.4 km<sup>2</sup>, ubicado en la siguiente coordenada de proyección UTM, en el centroide 479348.3128 E 1668742.421 N. El área comparte los departamentos de Choluteca (municipios de Choluteca, Marcovia, Namasigue y Santa Ana de Yusguare, El Corpus, El Triunfo, Orocuina y Liure) y una pequeña fracción de Valle (municipio de San Lorenzo). El valle es irrigado principalmente por el río Grande o Choluteca, el río Sampile, Estero Real y río Istoca.

## MÉTODO

La metodología se centra en técnicas de teledetección (percepción remota) y de integración a un sistema de información geográfica, como se muestra a continuación:

1. Adquisición de imágenes satelitales: en esta actividad se adquirirán (compra o descarga gratuita de sitios especializados por internet) imágenes de diferentes sensores (según condiciones atmosféricas en las imágenes de sensores del rango VIS e IR).
2. Generación de diferentes filtros kernel de bordes (SIGMUR): en esta actividad se prepararán diferentes operaciones de matrices para destacar lineamientos y bordes (Valverde, s.f.) de posibles estructuras geológicas.
3. Aplicación de técnicas ADI: se desarrollaran análisis de componentes principales orientados a resaltar diferentes materiales minerales, que determinar alteraciones o anomalías en las rocas.
4. Giras de campo: esta actividad permitió la recolección de materiales

rocosos de las zonas identificadas como cráteres para en una fase posterior sacar sus firmas espectrales.

5. Integración al SIG: los resultados obtenidos se integrarán en un SIG de uso público para su divulgación.

Dividido en dos fases, en la primera se cubrieron los primeros cuatro tópicos, llegando hasta las actividades de la gira de campo.

La reflectancia fue obtenida con el espectrómetro Field Spec Hand Held VNIR radiometer de ASD (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder [CO], USA) de alta resolución, de 325 nm a 1075 nm.

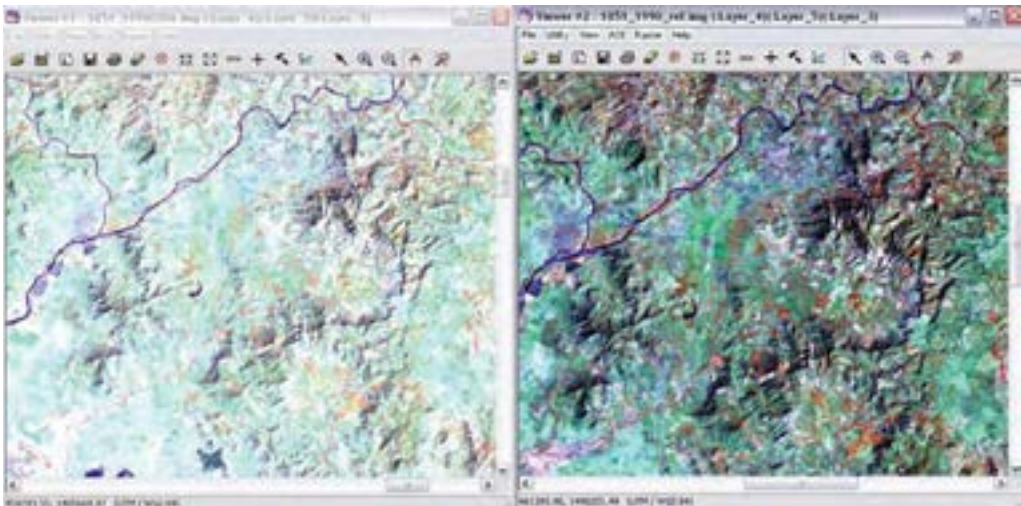
Para la obtención de la línea base, se realizaron mediciones del estándar de referencia, Spectralon 99% (Labsphere, North Sutton NH, USA).

## RESULTADOS

### 1) Imagen satelital del área de estudio

Esta es un segmento de la imagen completa del sensor LandSat Thematic Mapper (TM5), correspondiente a la fila 18 y columna 1851, para el año de 1990 (ver Figura 1). Esta imagen contiene siete bandas espectrales del rango del visible (azul, verde y rojo) e infrarrojos (infrarrojo cercano y medio).

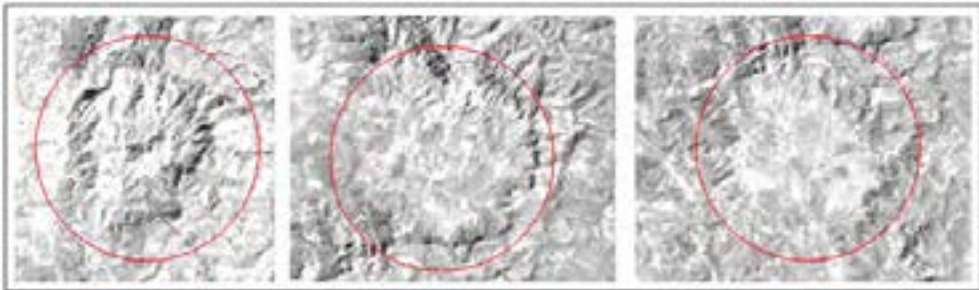
Figura 1. Imagen p18r51 del sensor LandSat TM, con corrección atmosférica (derecha)



## 2) Filtros y realces

Los filtros aplicados a la imagen muestran una geomorfología de vestigios de más de un aparato volcánico, en lugar de impactos meteóricos (ver Figura 2), por lo que inicialmente los cráteres detectados en la imagen estarían clasificados como de origen volcánico, además la cercanía al cinturón de fuego es una base para apoyar este resultado.

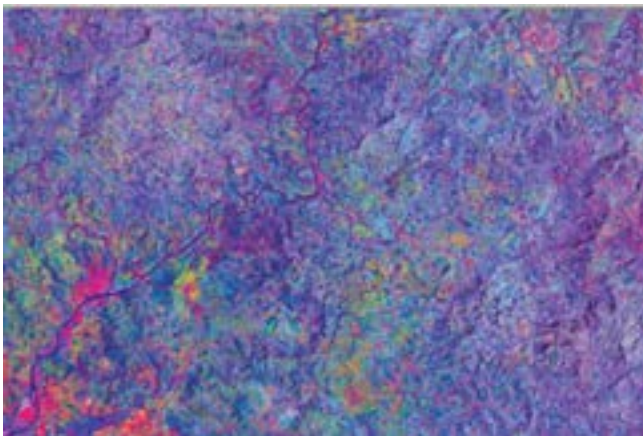
Figura 2. Imagen filtrada para bordes y lineamientos, característica de cráteres



## 3) Imagen de alteraciones hidrotermales del área de estudio en el sur de Honduras

Se ha calculado una imagen por anomalías hidrotermales para determinar la presencia de materiales no consistentes a los patrones normales de las rocas de la capa superficial del suelo, detectándose materiales hidroxilos y óxidos de hierro, los que se pueden asociar a áreas con actividad físico química cambiantes por patrones de cambios térmicos (ver Figura 3).

Figura 3. Imagen de alteraciones hidrotermales del sur de Honduras.



#### 4) Visita de campo

Se llevó a cabo una gira de campo, para la identificación in situ de las diferentes formaciones geomorfológicas, así como recolección de material rocoso del área en cuestión, para ser analizadas posteriormente en el laboratorio de radiometría. Entre el equipo se encontraba el **Dr. Juan Gregorio Rejas Ayuga**, del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, España (INTA), quien colaboró en la toma de muestras en las zonas hipotéticas de cráteres y en la toma de firmas espectrales de coberturas del suelo, para uso de calibración de la imagen (ver Figura 4). También hicimos una visita a un volcán activo como fumarola, el volcán San Cristobal en Chinandega, Nicaragua, a donde nos desplazamos para tomar muestras a diferentes alturas y estratos y correlacionarlo con las muestras de los sitios propuestos como cicatrices de cráteres en la zona sur de Honduras.

Figura 4. Registro de muestras de suelo de las cicatrices de cráter (Rafael Corrales, Juan Gregorio Rejas Ayuga y Manuel Hernandez)



De la recolección de muestras de rocas, se identificaron por sus características físicas y visuales rocas con silicatos, unas se encontraban con exposición a altas temperaturas, así como grava volcánica con una matriz no muy consolidada y con rastros de materia orgánica (ver Figura 5).

Entre las rocas recolectadas, las rocas provenientes del volcán San Cristobal en Chinandega, Nicaragua (ver Figura 6) mostraban un contenido de silicatos de hierro y magnesio, grava volcánica con material orgánico y roca de arenisca con alto contenido de azufre (las que se caracterizan por su coloración amarillento).

La radiometría de campo se centró en la medición de materiales con los que se verifica la firma espectral de coberturas de suelo desnudo y de con pastos secos por la estación del año.

La información de la radiometría de campo está basada o configurada para poder compararla con los datos extraíbles de la imagen satelital, en este caso de una imagen LandSat TM, con las siguientes características, y desplegada con el programa de tratamiento de imágenes satelitales ERDAS IMAGINE.

Figura 5



Figura 6.



```

GTModelTypeGeoKey Short 1 ModelTypeProjected
GTRasterTypeGeoKey Short 1 RasterPixelIsArea
GTCitationGeoKey Ascii 257 IMAGINE GeotIFF Support
Copyright 1991 - 2006 by Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC. All Rights Reserved
@(#)$RC$file: egtr.c $ IMAGINE 9.1 $Revision: 22.0 $ $Date: 2006/05/24 17:16:00 EST $
ProjectionName = UTM
Units = meters
GeoTIFF Units = meters
ProjectedCSTypeGeoKey Short 1 PCS_USS84_UTM_zone_16N
PCSCitationGeoKey Ascii 249 IMAGINE GeotIFF Support
Copyright 1991 - 2006 by Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC. All Rights Reserved
@(#)$RC$file: egtr.c $ IMAGINE 9.1 $Revision: 22.0 $ $Date: 2006/05/24 17:16:00 EST $
UTM Zone 16N
Ellipsoid = WGS 84
Datum = WGS 84
ProjLinearUnitsGeoKey Short 1 Linear_Meter

ImageWidth Short 1 2696
ImageLength Short 1 2472
BitsPerSample Short 6 ( 32 32 32 32 32 32 )
Compression Short 1 None
PhotometricInterpretation Short 1 Min Value is Black
StripOffsets Long 309 ( 8 517640 1035272 1552904 2070536 2588168 3105800 3623432 4141064 4658696
5176328 5693960 6211592 6729224 7246856 7764488 8282120 8799752 9317384
9835016 10352648 10870280 11387912 11905544 12423176 12940808 13458440
13976072 14493704 15011336 15528968 1
SamplesPerPixel Short 1 6
RowsPerStrip Short 1 8
StripByteCounts Long 309 ( 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632
517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632
517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632 517632
517632 517632 517632 517632 5
XResolution Rational 1 1.000000
YResolution Rational 1 1.000000
PlanarConfiguration Short 1 Contiguous
ResolutionUnit Short 1 None
Software String 14 ERDAS IMAGINE
SampleFormat Short 6 ( 3 3 3 3 3 3 )
GeoPixelScale Double 3 ( 20.500000 20.500000 0.000000 )
GeoTiePoints Double 6 ( 0.000000 0.000000 0.000000 410043.750000 1524165.750000 0.000000 )

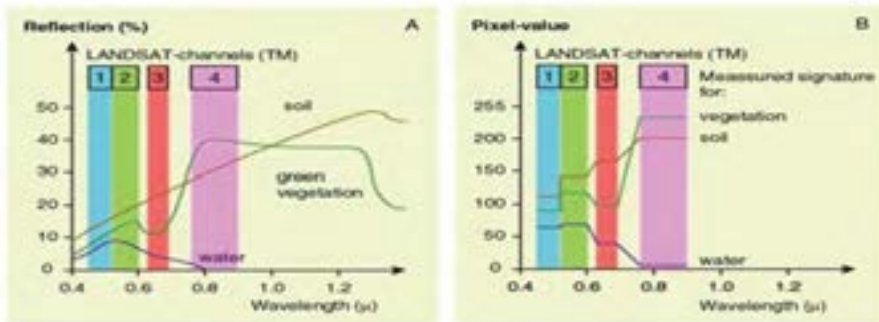
```

Cada imagen de este sensor contiene información en rangos de las 7 bandas espectrales, los cuales se encuentran en:

Rango visible: azul (banda 1), verde (banda 2), rojo (banda 3), infrarrojo cercano (banda 4), infrarrojo medio (banda 5), infrarrojo termal (banda 6) e infrarrojo medio (banda 7).

Como ejemplo a continuación podemos ver las gráficas de las firmas espectrales de agua, el suelo y la vegetación en la Figura 7, modificada de la ESA EDUSPACE.

Figura 7a y 7b: Firma espectral del agua, vegetación y suelo desnudo:  
 A) Magnitud física en reflectancia B) Número digital, ambas por longitud de onda.



En la Figura 7a, la vegetación tiene una reflexión muy alta en el canal infrarrojo cercano 4, y una baja reflexión en el visible canal rojo 3. Esto hace que sea posible distinguir las zonas de vegetación de la tierra desnuda, o suelos rocosos. La diferencia de la reflexión en los canales 3 y 4 es ideal para áreas de vegetación e insignificante para el suelo desnudo.

En la Figura 7b, las firmas espectrales se procesan como valores digitales en el escáner del satélite. Es un ejemplo hipotético de cómo el satélite LandSat puede registrar agua, vegetación y suelo desnudo.

Los datos de campo con el espectroradiómetro ASD UV/VIS/NEARIR. Los datos de campo son correlativos a datos de laboratorio o patrones estandarizados para imágenes del sensor LandSat, por lo que se mejoran los resultados para las firmas espectrales de cada muestra que será procesada en laboratorio.

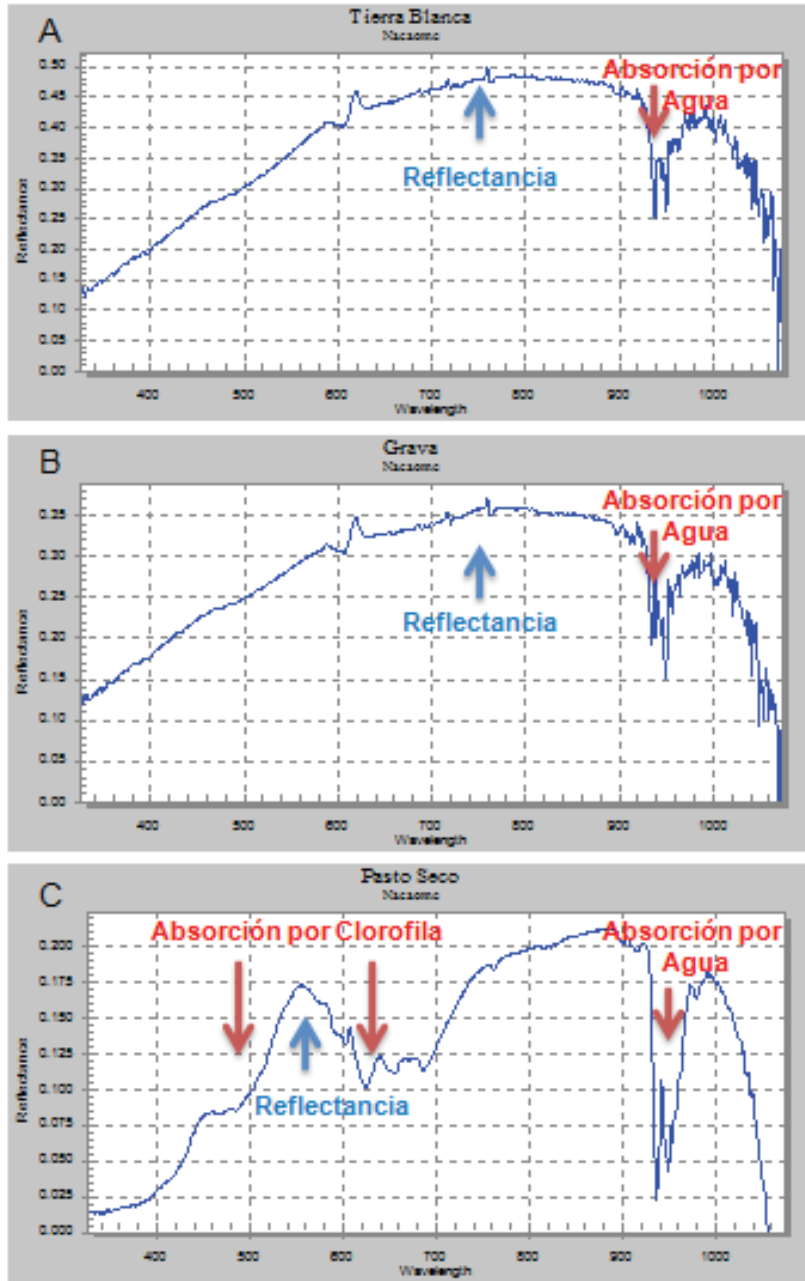
A continuación se presentan las graficas de la radiometria de campo que permite establecer las condiciones en las que se encuentran los diferentes materiales del suelo, fenológicas y climatológicas (ver Figura 8), en donde por un lado tenemos dos gráficas de suelo (A, B) la primera de correspondiente a tsuelos o tierras blancas, y la segunda correspondiente a gravas, en la zona de Nacaome, muy cerca de uno de los cáteres identificados en la imagen por los procesos ADI; y una tercera gráfica con vegetación típica de la zona, correspondiente a pastos en condiciones secas.

De los suelos y gravas, se observó la curva tica, baja reflectancia a nivel del infrarrojo medio del espectro electromagnético, el cual corresponde a una absorción por humedad, la cual tambien guarda relación por las condiciones del



área de estudio (altas temperaturas y muy baja humedad del suelo).

Figura 8. Firmas espectrales de suelo desnudos (A y B) y vegetación en seca (C), en el Sur de Honduras.



Las condiciones del área y la época del año en que se desarrollo la gira de campo (mes de febrero), hizo que la curva de reflectancia fuera típica para vegetación seca con un pico en el canal rojo y una disminución en el infrarojo cercano o canal cuatro, asi como una absorción de la reflectancia en el infrarojo medio mayor al encontrado en los suelos.

Los datos de campo son correlativos a datos de laboratorio o patrones estandarizados para imágenes del sensor LandSat, por lo que con esto se está logrando mejorar los resultados para las firmas espectrales de cada muestra procesada en laboratorio.

Los resultados de las muestras procesadas en laboratorio, una vez que se realizó la calibración de campo, arrojaron efectivamente una correspondencia al rango de rocas volcánicas, las tres muestras de rocas de la zona de estudio (cráter) del sur de Honduras se encuentran radiométricamente a una amplitud centrada en los mismos rangos de rocas encontradas en el volcán San Cristóbal, tal como se muestra en la Figura 9, descartando de esta manera cualquier posibilidad de ser meteóricas.

Figura 9. Firmas espectrales de los materiales rocos del volcán San Cristóbal (Nicaragua) y las muestras de la zona identificada como cráter al sur de Honduras



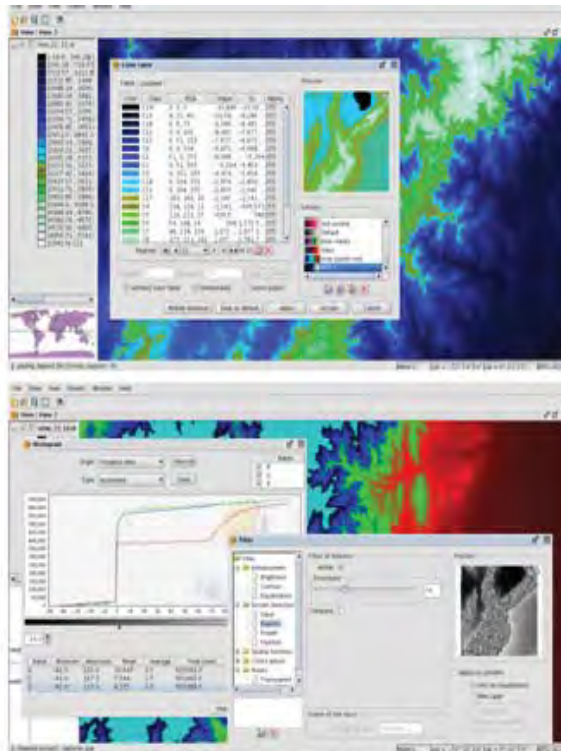
Figura 9. Firmas espectrales de los materiales rocosos del Volcán San Cristóbal (Nicaragua) y Las muestras de la zona identificada como cráter al sur de Honduras.

## 5) Aplicación de SIG para integración de datos

El SIG para la administración y despliegue de información de este programa se realizara utilizando el software de uso libre: gvSIG Desktop es un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto es, una aplicación de escritorio diseñada para capturar, almacenar,

manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Se caracteriza por disponer de una interfaz amigable, siendo capaz de acceder a los formatos más comunes, tanto vectoriales como ráster y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información de naturaleza geográfica (herramientas de consulta, creación de mapas, geo procesamiento, redes, etc.) que lo convierten en una herramienta ideal para usuarios que trabajen con la componente territorial (Figura 10).

Figura 10. Programa SIG de uso libre, para manejar información vectorial y rasterizada (gvSIG: [www.gvsig.org](http://www.gvsig.org))



## DISCUSIÓN

Por una parte, los resultados obtenidos, se encuentran dentro de los parámetros documentados por varios investigadores de las aplicaciones de técnicas de percepción remota, específicamente en el caso de la radiometría de los suelos se obtuvieron los resultados esperados en base al tipo de condiciones ambientales predominantes en el área de estudio, donde los suelos mantienen un porcentaje de humedad muy bajo (ver Figura 11), así como de las relaciones esperadas de suelos con presencia de óxidos de

hierro, característicos de materiales con algún tipo de alteración hidrotermal, comparado con radiometría de laboratorio que muestra los patrones que debemos esperar a nivel de las diferentes bandas o canales del espectro electromagnético, tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 11. Curvas de reflectancia del suelo por porcentaje de humedad, a) 5%, b) 20% y c) 40%

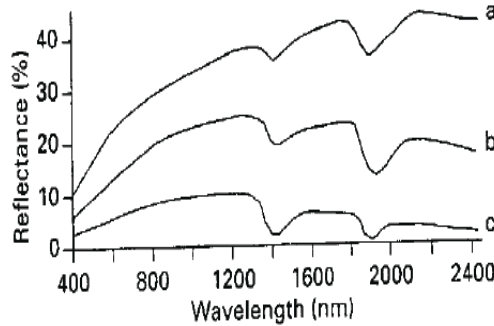
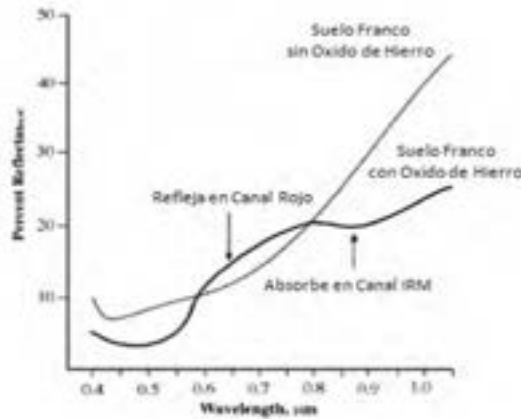


Figura 12. Curva de reflectancia de suelos francos con y sin óxidos de hierro.



Fuente: Modificada de Jensen, 1996.

Con respecto a los resultados de la aplicación de filtros de borde en la imagen del sensor Landsat, no es suficiente para tener una base clara en la obtención de cráteres, debido que estos están muy intervenidos y se encuentran a nivel de una simple cicatriz de cráteres, por lo que fue importante, considerar las variables de alteraciones hidrotermales para contrastar identificar cráteres volcánicos o meteóricos.

## CONCLUSIONES

Al inicio se identificaron cinco áreas posibles de cráteres, de las cuales se tomo una de ellas, con el criterio de estar mas cercana al acceso vial de la zona, el material encontrado en dicho suelo rocoso se midio radiometricamente y se comparo con material del volcán San Cristobal en Chinandega, Nicaragua, con el fin de determinar origen de la formación, asi mismo las pruebas de magnetismo en el area resultaron negativas, indicando que no existia presenta de alta concentración de mineral de hierro como para relacionarlo con un crater de origen meteorico.

El uso de radiometria apoyó las observaciones de campo y tipo de materiales para esclarecer los origenes de las rocas presentes en el área.

La aplicación de filtros nos dio cinco provables áreas como formaciones de cráteres, por lo que es una tecnica que se puede seguir utilizando cuando no es evidente visualmente en las imágenes satelitales dichas formaciones.

El cruce de datos como de alteraciones hidrotermales, con la ayuda de un sistema de información geográfico vuelve mas precisa la localizacion de los cráteres, asi como evidenciar los materiales de lo que pueden estar compuestos.

En terminos generales esta metodologia se podria realizar en otras áreas del país para identificar zonas ya sea volcanicas envejecidas o posibles impactos meteoricos muy antiguos y de magnitud grande.

## BIBLIOGRAFÍA

- (2008) *"Measuring change in the Earth system"*. Proceedings of the remote sensing and photogrammetry society conference. University of Exeter.
- Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. & Martínez, R. (2008). Characterization of hydrothermally altered materials in the Central Volcanic Range. Costa Rica: Using TM data.
- Córdoba, P. (2009). Uso de radiometría de campo VNIR para determinar propiedades en suelos mediterráneos de zonas áridas y semiáridas. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Corrales R, J.G. Rejas (2010). "Caracterización de alteraciones hidrotermal y dinámica de cobertura del suelo mediante métodos de teledetección, en el Valle de Choluteca, Honduras." Tesis MOG/UNAH.

- Delendatti, G. (2003). "Caracterización de zonas alteración hidrotermal en las imágenes del Río Castaño, provincia de San Juan, mediante procesamiento digital de imágenes TM". *Revista de la Asociación Geológica de Argentina*, 58 (1): pp. 97-108.
- ESA (ESA Eduspace) (s.f.) Disponible en: [http://www.esa.int/esaMI/Eduspace\\_ES/SEM6DYD3GXF\\_0.html](http://www.esa.int/esaMI/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html). (Consultado en la pagina web, en mayo del 2012)
- gvSIG. Portal gvSIG (s.f.) Disponible en: <http://www.gvsig.org/web/projects/gvsig-desktop/tour/image-gallery/> (Consultado en la pagina web, en agosto del 2012):
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Second Edition. Prentice Hall.
- Maksaev, V. (2003). "GL 54 A. Metalogénesis. Capítulo 8. Alteraciones hidrotermales". Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Departamento de Geología. Disponible en: <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>.
- Smith, O, S. L. Ustin, J.B. Adams, and A. R. Gillespie (1990). "A regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing Environ.*, Vol. 31, pp. 1-26.
- Vásquez J., A. Arquero y E. Martínez (2007). Aplicación de modelos estadísticos a la selección eficiente de *cubiertas tipo* mediante radiometría de campo.

# *Los bordes de la ciudad y la simulación del crecimiento urbano con autómatas celulares*

M. C. Polidori, M. V. P. Saraiva,  
O. M. Peres, C. P. Toralles y F. Tomiello

## **Resumen**

Las simulaciones de crecimiento urbano utilizando autómatas celulares han mostrado diferencias en los bordes de expansión en comparación con otras partes de la ciudad, con concentración en las interfaces urbanas y rurales y las zonas más urbanizadas con las menos urbanizados. Esta concentración tiende a delimitar frentes de expansión en forma de línea, con borde de determinación y comportamiento diferente del resto del sistema, donde se puede observar simultáneamente concentración y exclusión, células con alto potencial para la conversión, y baja concentración de factores urbanos positivos. Estos frentes de expansión se están estudiando con simulaciones en las pequeñas ciudades del sur de Brasil, a través del software CityCell, desarrollado por el Laboratorio de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Federal de Pelotas. Por lo tanto, este documento presenta una visión general de las simulaciones de crecimiento y los resultados que se han logrado.

**Palabras clave:** Bordes de la ciudad. Crecimiento urbano. Concentración. Exclusión.

## **Abstract**

Simulations of urban growth using cellular automata have shown differences in the comparison of expansion edges to other parts of the city, concentrated in the interfaces of the urban with the non-urban and the most urbanized with the least urbanized. This concentration tends to demarcate expansion fronts in shaped line, determining a border with different behavior from the rest of the system, in which it is observed simultaneous concentration and exclusion, with cells of high potential for transformation and low concentration of urban facilities. These expansion fronts are being studied with simulations in small towns of southern Brazil, through the City Cell software, developed by the Laboratory for Urbanism in the Faculty of Architecture and Urbanism at the Federal University of Pelotas. Thus, this paper presents an

overview about the simulations of growth and the results that have been achieved.

---

**Keywords:** edge city; urban growth; concentration; exclusion.

**M. C. Polidori**, (mauricio.polidori@terra.com.br); **M. V. P. Saraiva**, **O. M. Peres**, **C. P. Toralles** e **F. Tomiello**. Universidade Federal de Pelotas, Brasil.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las simulaciones han sido considerados como importantes herramientas para el trabajo en el campo del urbanismo, especialmente cuando implican la interacción entre lo físico, social y ambiental (Alberti, 1999). Las simulaciones pueden proporcionar a los investigadores escenarios hipotéticos de las ciudades reales, fomentar el descubrimiento y la asistencia en la formulación de teorías (Axelrod, 1997). Técnicas computacionales, las cuales pueden ser agrupadas bajo el concepto de geo computación, están siendo cada vez más utilizadas en los estudios de simulación y modelado urbano (Burrough, 1998; Batty, 1998).

Un aspecto de las ciudades que pueden investigarse con el uso de la simulación es su crecimiento, que incluye la captura dinámica del cambio, teniendo en cuenta el tiempo y modos espaciales de representación. En este trabajo, los cambios se toman como algo que surge de la interacción entre la estructura urbana, la estructura social y el medio ambiente natural, modelados mediante dinámica computacional con autómatas celulares (O'Sullivan y Torrens, 2000). El tiempo será incorporado como una sucesión de estados, donde los mecanismos de retroalimentación positiva y negativa interactúan e influyen en los estados sucesivos. El modo de representación adoptado es la de una cuadrícula en células que representan espacios discretos y contienen atributos físicos, naturales e institucionales (Polidori, 2004).

El crecimiento de la ciudad se compone de dinámicas internas y externas, la primera de las cuales se produce a través de la ocupación de los espacios vacantes o sustituciones de las edificaciones existentes, mientras que la segunda opera mediante la conversión de tierras no ocupadas en los nuevos espacios urbanos, con un proceso complejo, organizado por sí mismo y emergente. La idea de la complejidad se deriva de la comprensión de la ciudad y sus cambios como algo que incluye múltiples interferencias y agentes, con varias relaciones posibles entre ellos, que se producen iterativamente con retroalimentación y compuesto, con el fin de acelerar o frenar cambios. El concepto de auto-organización se asocia con la idea de la ausencia de un elemento de control central de la ciudad (que podría dictar sus transformaciones), siendo el resultado lógico de crecimiento urbano de la ciudad, donde sus atributos, que se pueden encontrar en su morfología y el sustrato natural y la sociedad, se encargan de grabar y guardar los cambios. La idea de emergencia aparece como el entendimiento de que el proceso iterativo, complejo y auto organizado de la ciudad plantea notables patrones de ordenamiento espacial, que se pueden ver en la morfología y en el procesamiento de preexistencias urbanas y naturales (Portugali, 1997; Johnson, 2003; Polidori 2003).

Una de las emergencias o las pautas de ordenamiento territorial que se pueden estudiar a través de simulaciones de crecimiento urbano es la formación de las periferias urbanas, que pueden estar asociados con el proceso conocido como la segregación socio-espacial. El concepto de las periferias urbanas de este trabajo está vinculado a los estudios de la morfología urbana, en que predomina la idea de una línea fronteriza en la ciudad, con tamaños que van desde manzanas hasta barrios enteros donde se concentra la población de bajos ingresos, así como la urbanización y los edificios precarios (Benévolo, 1975, el Bayón y Gasparini, 1977). La idea de la segregación señala la diferenciación espacial observable entre los barrios de tugurios urbanos y otras áreas, especialmente representados por el centro tradicional y los barrios ocupados por los extractos de altos ingresos (Villaça, 2001).

Por lo tanto, se puede suponer que el proceso de urbanización ha estimulado la segregación socio-espacial, mientras que la sociedad urbana trabaja selectivamente la transformación de los lugares de acuerdo a sus necesidades, las disputas y conflictos. En cuanto al patrón de segregación en la metrópoli brasileña, se ha observado que los ingresos de las capas superiores tienden a estar ubicadas en el centro tradicional y los barrios considerados nobles, dotados con más servicios urbanos, mientras que la periferia está ocupada por los más pobres en la ciudad, que se encuentran en las zonas de menor calidad, entre las que destacan los bordes de la ciudad (desde Villaça, 2001). Del mismo modo, cerca de los límites de la ciudad son peores servicios de transporte público, electricidad, agua potable, servicios sanitarios, de ocio, la seguridad y otros aspectos de la vida urbana.

Sin embargo, parece que es precisamente en el borde de la ciudad que se puede observar una gran concentración de potencial de crecimiento y cambio urbano. El área central de la ciudad, ya construida y apropiada por los grupos sociales de mayores ingresos, parece ofrecer mayor dificultad o lentitud al cambio, que implica la eliminación de preexistencias y sustitución de grandes inversiones en infraestructura. Por otro lado, la periferia urbana es un lugar estratégico para el surgimiento de nuevas políticas urbanas, lo que aumenta en función del encuentro con el espacio urbano y rural, la proximidad de los recursos naturales, el valor más bajo de la tierra y la tasa de crecimiento espacial superior a las demás regiones de la ciudad (Polidori y Bachilli, 2007).

Este trabajo está dedicado al estudio del borde exterior de la ciudad y la posibilidad de las interfaces internas donde se esperan cambios que se producen debido al crecimiento de la ciudad y la presencia de las periferias urbanas, asociadas con el proceso de segregación socio espacial. Como se muestra a continua-

ción, estos bordes pueden tener características especiales, lo que permite formular la hipótesis de que ocurre simultáneamente en el borde, exclusión y concentración, que se puede describir por rarefacción de los valores de centralidad y el aumento de cambio potencial. Para probar esta hipótesis son realizadas simulaciones de crecimiento urbano utilizando el software CityCell, que opera en ambiente de autómatas celulares, propuesto originalmente por Polidori (2004) con el apodo de SACI – Simulador del Medio Ambiente de la Ciudad, actualmente desarrollado por el Laboratorio de Urbanismo FAUrb - LabUrb por Saraiva, Polidori, Toralles y Peres (2012).

## 2. MODELOS, AUTÓMATAS CELULARES Y SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO CON EL SOFTWARE CITYCELL

Los modelos son representaciones simplificadas de la realidad (Almeida, Câmara y Monteiro, 2007), con el objetivo principal de representar cierto sistema para incluir los principales aspectos de las teorías subyacentes, y ayudar en la comprensión de los procesos que rigen su dinámica (Batty, 2009). Los modelos se han utilizado con éxito en la representación y simulación de sistemas complejos y dinámicos, como las ciudades (Batty, 1998), permitiendo que los procesos urbanos se reproducen en el laboratorio, lo que permite realizar experimentos que serían imposibles en la práctica, dada la incapacidad para manipular a las personas o estructuras físicas reales (Krafta, 2009). Aunque inicialmente fue considerado como representaciones puramente materiales de la realidad, modelos obtenidos a través de los sistemas informáticos han hecho posible representar a la ciudad de manera simbólica, basado en la traducción de ciertas características en lenguaje matemático. De esta manera, el uso de modelos urbanos se convierte en complementario a la idea de la teoría, donde las computadoras actúan como una especie de laboratorio y el fenómeno urbano, después de ser capturado, se puede reproducir experimentalmente mediante simulaciones (Echenique, 1975, Batty, 2009).

El uso de autómatas celulares - AC está conectado con el desarrollo de la vida informática, la inteligencia artificial y (Torrens, 2000a), que ha sido avistado desde los primeros trabajos de John von Neumann (precursor de la teoría de la computación y juego) y Stanislaw Ulmam (uno de los primeros desarrolladores de técnicas de Monte Carlo), en la década de 1940, a los argumentos de Stephen Wolfram (referencia en informática teórica contemporánea, matemático y erudito en AC, como se sugiere en Greco, 2002). Antes de eso, en los años 30, Alan Turing ya estaba pensando en "Universal Turing Machine", como más tarde se supo, porque es un hipotético autómata, que impulsó a pensar en los años 40, dando lugar a la creación de computadoras que siguió los mismos principios lógicos y conceptua-

les. La idea era crear un "equipo universal", que no necesita ser reconstruida, sólo reprogramada; una tarea imaginada para esta máquina sería "usted mismo duplicado" (Maddox, 1983), lo que importa tanto al campo de la fenómenos naturales como a la ciencia social y espacial (Axelrod, 1997). Las "máquinas de Turing" muestran una lista de reglas para los AC, aplicables a través de ciertos ciclos en el tiempo, en cuyos intervalos (o estados) y procesos (o dinámica) que el mundo podría ser examinado.

Una definición objetiva de AC ha sido desarrollada por Wolfram Stephen desde los años 80 del siglo XX, que dice que AC son representaciones de sistemas físicos a través de las células, cuyas características son especificadas por los valores de las células en cada estado en el que el espacio y el tiempo son valores discretos. En el AC, los valores que cada variable asume se ven afectados por los valores de su vecindario en el tiempo anterior, y los nuevos valores se actualizan simultáneamente, de acuerdo con normas locales (Wolfram, 1983).

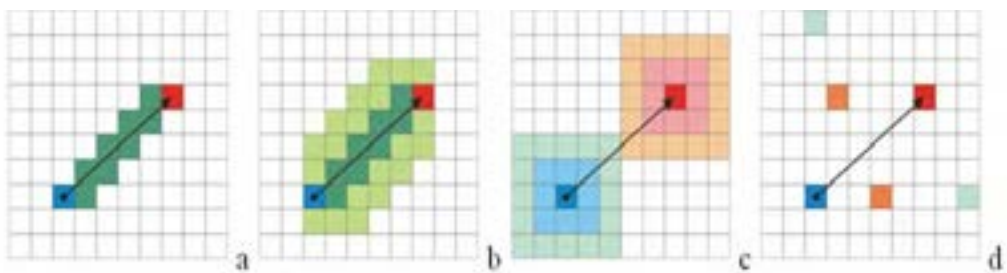
Las posibilidades para representar procesos dinámicos con AC se han utilizado como ayuda en la resolución de muchos problemas urbanos y ambientales, tales como el espacio (Ward, Phinn y Murray, 2000). AC son ventajosas para su uso en simulaciones urbanas, especialmente en comparación con los modelos tradicionales (Xie y Batty, 1994), debido a las posibilidades de integración de los requisitos de eficiencia con equidad, así como para incorporar espacialidad absoluta (o cartesiano) y relativa (o Leibnitziana) y sobre todo representar procesos dinámicos (Torrens 2000b).

Con la función de representar a la ciudad y su proceso de transformación, los AC deberían tener adaptado algunas de sus características, que se llama autómatas celulares ampliado con los siguientes ajustes principales (Batty y Xie, 1994; Wu, 1996, White et al 1999; Engelen y White, 2000): a) la red no se considera continuo porque las células en un lado del borde no se consideran célula vecina desde otro lado, b) las células se han adaptado a la escala de tamaño del espacio que está destinado a representar, así como sus estados representan los atributos espaciales, que pueden ser registradas por los números fraccionarios; c) el barrio no se limita a los tradicionales cuatro u ocho células adyacentes al centro de la célula (el barrio de von Neumann y Moore, respectivamente), y puede ser regulado por diversos radios asociadas y áreas de cobertura de las funciones, d) las normas se dedican a replicar procesos reales que tienen lugar en la ciudad y el paisaje, los conceptos y las teorías sobre las transformaciones urbanas y ambientales e) el tiempo se transcribe en tiempo real, lo que representa la evolución urbana y los horizontes de los escenarios que se pretende simular.

En este trabajo se utilizó el modelo de simulación del crecimiento urbano originalmente redactado por Polidori en 2004, que se dedica al estudio de los cambios en el área urbanizada de la ciudad, teniendo como entorno una base espacial con células cuadradas, tratadas como una cuadrícula bidimensional de un Sistema Información Geográfica - SIG, con las características de funcionamiento de un autómata celular (Batty, Couclelis y Eichen, 1997). Se supone entonces que cada par de células que tienen una característica urbana desarrolla una tensión, tal como nos modelos de centralidad y performance (Krafta, 1994; Polidori, Granero y Krafta 2001). Este tensión se calcula por el producto de la carga total en cada célula a plena carga de la otra que son accesibles, similar a lo que ocurre en los modelos de interacción espacial (Wilson, 1985; Torrens, 2000b), pero sin limitaciones en cuanto al origen y destino. Estas tensiones se distribuyen de modo axial, polar y difuso (ver Figura 1) y su suma en cada célula es llamada de centralidad celular. Secuencialmente, se supone que el potencial de crecimiento es la diferencia entre la centralidad de cada célula con su entorno, lo que puede resultar en un crecimiento interno o externo a las células urbanas preexistentes. Así, las células que tienen uno mayor potencial de crecimiento son las que tienen menos centralidad interior, combinada con mayor centralidad del entorno (Polidori, 2004).

Este modelo de simulación del crecimiento urbano, originalmente llamado por Polidori de SACI - Ciudad Simulador de Medio Ambiente en 2004, ahora se implementa través del software CityCell, como se ha indicado anteriormente. Una de las habilidades desarrolladas en CityCell es la representación y la extracción de los bordes de las ciudades en las simulaciones de crecimiento en una operación de álgebra de mapas, siendo el uso de estos recursos una de las bases de este trabajo, tal como aparece en el epígrafe siguiente.

Figura 1: Diagrama en forma de AC: a) células incluidas en la distribución del tipo axial; b) células incluidas en la distribución de tipo axial, con buffer igual a un; c) células incluidas en la distribución del tipo polar; d) hipótesis de células incluido en la distribución difusa.



Fuente: Elaboración propia.

### 3. ESTUDIO DE CASO CON LAS CIUDADES DE ARROIO GRANDE Y JAGUARÃO EN EL SUR DE BRASIL

Para verificar la ocurrencia de la formación de los bordes de las simulaciones de crecimiento urbano llevó a cabo un experimento en las ciudades de Arroio Grande y Jaguarão, en el sureño estado de Rio Grande do Sul, Brasil, debido a su tamaño ya la disponibilidad de información adecuada, por el SIG realizado por las asociaciones de la Universidad con el Ayuntamiento. Las ciudades son descritas por unas cuadrículas 200 m, que interactúan en el entorno natural y urbano. La primera representada por el área efectivamente urbanizada y el segundo por los recursos de vegetación y agua. Los detalles sobre el funcionamiento del modelo de simulación se pueden conseguir en el trabajo Polidori (2004)<sup>1</sup>.

Las simulaciones se realizaron para un tiempo de cuarenta años, con una iteración para cada año. El modelo fue calibrado para aproximarse cuantitativamente y cualitativamente cómo la ciudad ha crecido en las últimas dos décadas, por la regulación de las tasas de crecimiento y los tipos de ocupación espacial del espacio axial, polar y dispersiva. Los resultados, que ciertamente pueden ser mejor visualizados en animaciones digitales se resumen en tres iteraciones en las figuras 2 y 3, para el caso de Arroio Grande y las figuras 4 y 5 en el caso Jaguarão. De estas simulaciones se pueden hacer las observaciones principales:

- a) la centralidad sigue siendo baja en los bordes de la ciudad a lo largo de la simulación; sin embargo, conforme aumenta el tamaño de la ciudad, las zonas de menor centralidad se desplazan a regiones más alejadas del centro tradicional;
- b) el centro tradicional sigue siendo estable a lo largo de la simulación, siendo el portador de privilegios no afectado por los cambios en la periferia;
- c) el potencial de crecimiento se concentra en los bordes externos de las ciudades, para el caso de Arroio Grande e internos para el caso de Jaguarão desde el comienzo de la simulación, que se vuelve más pronunciado a medida que avanza el tiempo;
- d) este potencial se presenta con dos formas predominantes: de forma difusa y fragmentada o como una línea con varios máximos, como la forma de un collar.

---

<sup>1</sup> Consultar: <http://www.ufpel.edu.br/faurb/laburb/>

#### 4. CONCLUSIONES: BORDE, EXCLUSIÓN, CONCENTRACIÓN E IRREGULARIDADES

a) Hay un efecto de borde urbano: de hecho las simulaciones demostró la formación de un borde diferente del resto de la ciudad en el proceso de crecimiento; como Polidori había sugerido en 2004, la dinámica de las transformaciones urbanas indica que el potencial de crecimiento se concentra en las interfaces de las zonas urbanas con las zonas rurales, como se ve en el caso de Arroio Grande y con la más urbanizada y menos urbanizada, como se ve en el caso de Jaguarão; esta concentración tiende a delimitar frentes de expansión en forma de línea, mediante la determinación de borde con comportamiento diferente del resto del sistema; la aparición de efecto de borde en la ciudad trae revitalización del proceso de crecimiento, que se puede utilizar en los planes y proyectos urbanos.

b) Exclusión y concentración son parciales en el borde de la ciudad: la hipótesis planteada en este artículo, que ocurre simultáneamente exclusión y concentración de borde está parcialmente confirmada; si por un lado se confirma la rareza centralidades de esta frontera, por otro lado se puede observar que la concentración de potencial en el borde aparece con valores altos o moderados intercalados; este resultado puede explicarse en parte por el sustrato natural, que opera como un campo irregularidades, como se ha demostrado en otros estudios (Polidori 2004; Polidori y Krafta 2005, Peres y Polidori, 2011).

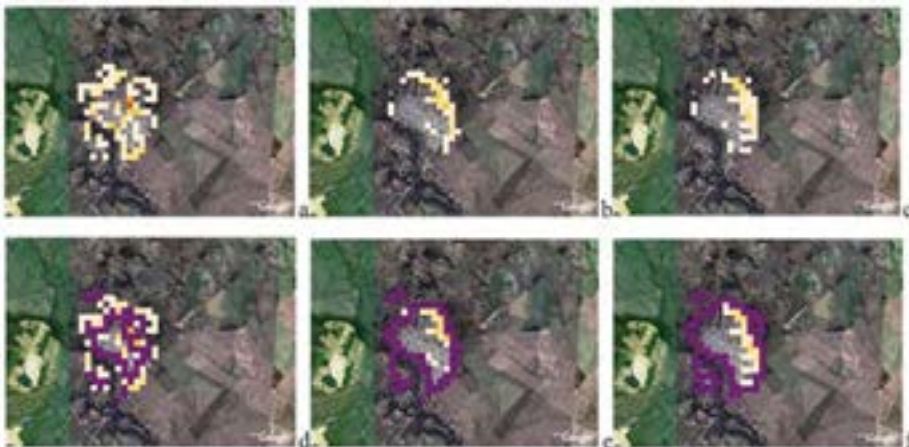
c) La constitución interna del borde de la ciudad es irregular: los resultados obtenidos en los experimentos de este trabajo, acumulados con los estudios previos realizados por el personal del Laboratorio de Urbanismo FAUrb, usando autómatas celulares (Peres y Polidori, 2009 y 2010; Peres, y Polidori Saraiva, 2010; Saraiva y Polidori, 2011; Peres, Saraiva y Polidori, 2011) sugieren que el borde de la ciudad tiene características de irregularidad, de forma similar a los sistemas fuera del equilibrio, sin embargo, las características más específicas de este comportamiento no se conocen, el que está sujeto a ser investigado en el futuro.

Figura 2: a, b, c) la evolución de la distribución de la centralidad (gradiente azul) en la ciudad de Arroio Grande, en las iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente; d, e, f) la evolución de la distribución de la centralidad en la ciudad de Arroio Grande, con bordes de demarcación (magenta) en la iteración 1, 20 y 40, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

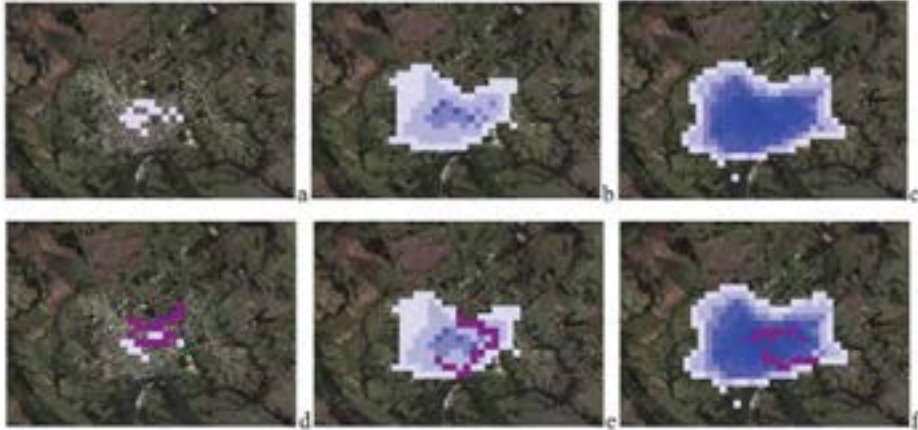
Figura 3: a, b, c) los cambios en la distribución potencial (gradiente de color naranja) en la localidad de Arroio Grande, en iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente; d, e, f) los cambios en la distribución potencial (gradiente de color naranja) en Ciudad de Arroio Grande, marcando los bordes (magenta) en iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

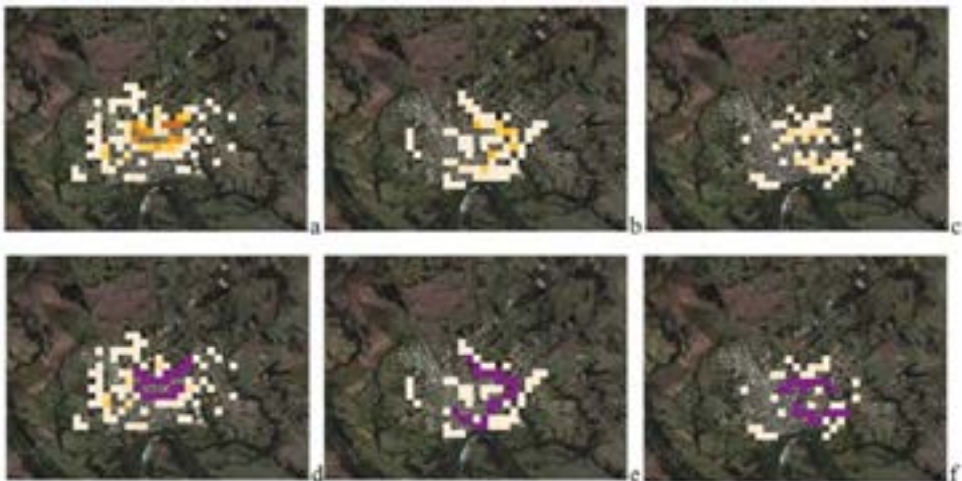


Figura 4: a, b, c) la evolución de la distribución de la centralidad (gradiente azul) en la ciudad de Jaguarão en iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente; d, e, f) la evolución de la distribución de la centralidad en la ciudad de Jaguarão con bordes de demarcación (magenta) en iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: a, b, c) los cambios en la distribución potencial (gradiente de color naranja) en la ciudad de Jaguarão, en iteraciones 1, 20 y 40, respectivamente; d, e, f) los cambios en la distribución potencial de la ciudad de Jaguarão, bordes de marcación (magenta) en iteraciones 1, 20 y 40 respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberti, M. (1999). "Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework". En *Environment and Planning B – Planning and Design* v. 26. London: Pion. pp. 605-630.
- Almeida, C. M.; Câmara, G.; Monteiro, A. M. (2007). *Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Axelrod, R. (1997). "Advancing the art of simulation in the social sciences. International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences". Cortona, Italy. 12 p. [Disponibile en: [www.santafe.edu](http://www.santafe.edu) ]
- Bayón, D.; Gasparini, P. (1977). *Panorámica de la arquitectura Latinoamericana*. Barcelona: Blume-Unesco.
- Batty, M. (1998). "Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata". *Environment and Planning A*, v. 30. p. 1943-1967.
- Batty, M. (2009). "Urban Modelling". En *International Encyclopedia of Human Geography*. Editors-in-Chief Rob Kitchin and Nigel Thrift. Disponible en: <http://www.casa.ucl.ac.uk/andrew/repastmodels/presentations/Urban-Modelling-Revised1.pdf>
- Benevolo, L. (1975). *Diseño de la ciudad*. Vol. 1 a 5. Barcelona: GG, 1977.
- Burrough, P. A. (1998). *Geocomputation: a primer*. London: John Wiley & Sons Ltd.
- Echenique, M. (Org.) (1975). *Modelos matemáticos de la estructura urbana: aplicaciones en América Latina*. Buenos Aires: SIAP.
- Greco, A. (2002). "A nova ciência de Stephen Wolfram". *Folha de São Paulo Mais!* 30 de junio de 2002. p. 20-22.
- Johnson, S. (2003). *Emergência: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades, softwares*. Tradução de Maria C. P. Dias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.

- Krafta, R. (1994). "Modelling Intraurban configurational development". *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 21. London: Pion. p. 67-82.
- Krafta, R. (2009). *Análise espacial urbana: aplicações na região metropolitana de Porto Alegre*. Porto Alegre: Editorial UFRGS.
- Maddox, J. (1983). "Simulating the Replication of Life". *Nature* n. 305. Disponible en [www.StephenWolfram.com](http://www.StephenWolfram.com)
- O'Sullivan, D.; Torrens, P. M. (2000). *Cellular models of urban systems*. London: Casa, UCL.
- Peres, O. M.; Polidori, M. C. (2009). "Modelos Urbanos baseados em Autômatos Celulares: integrando ambiente natural e o crescimento urbano" En *Anais do WCAMA - I Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, Bento Gonçalves, RS.
- Peres, O. M.; Polidori, M. C. (2010). "O software SACI e o crescimento urbano integrado ao ambiente natural" En *Anais do Simpósio I Computers on the beach*, Niterói.
- Peres, O. M.; Polidori, M. C. (2011). "Simulação de crescimento, morfologias e o papel da hidrografia na dinâmica de expansão urbana" en *XIII Conferência Iberoamericana de Sistemas de Informações Geográficas*. Toluca - México. Toluca, México: Editorial UAEM
- Peres, O. M.; Polidori, M. C. (2010) "Modelos urbanos baseados em autômatos celulares: integrando ambiente natural e o crescimento urbano" en *Anais do XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Bento Gonçalves: SBC, 2009.
- Polidori, M. C. (2004). *Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade*. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-PPGECO.
- Polidori, M. C. (2003). "Simulação do Ambiente da Cidade". *Anais X Encontro Nacional da ANPUR*. Belo Horizonte: ANPUR.

- Polidori, M. C., Granero, J. e Krafta, R. (2001). Software Medidas Urbanas [apoyo FAPERGS]. Pelotas: Laboratório de Geoprocessamento da UFPel.
- Polidori, M. C.; Bachilli, G. C. (2007). "Speed, emergence and urban growth". XIII Conferência do ISUF - ISUF 2007 - International Seminar on Urban Form. Ouro Preto: UFMG / ISUF. 14 p.
- Portugali, J. (1997). "Self-organizing cities". Futures, v. 29 nº 4/5. Great Britain: Elsevier Science.
- Saraiva, M.; Polidori, M. C.; Peres, O. M.; Toralles, C. P. (2012). Software City-Cell - Urban Growth Simulator. Pelotas: Laboratório de Urbanismo da UFPel.
- Saraiva, M.; Polidori, M. C. (2011). "Simulando crescimento urbano com apoio em SIG, grafos e autômatos celulares". Anais da XIII Conferência Iberoamericana de Sistemas de Informações Geográficas. Toluca, México: Editora da UAEM.
- Torrens, P. (2010a). "How cellular models of urban systems work (1. theory)". Working paper series. Paper 28. Londres: CASA, UCL. Disponible en <http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingPaperDetail.asp?ID=28>
- Torrens, P. (2000b). How land-use-transportation models work. London: Casa, UCL. Disponible en: [http://www.casa.ucl.ac.uk/working\\_papers.htm](http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm)
- Villaça, Flávio (2001) Espaço intra-urbano no Brasil. São Paulo: Studio Nobel e FAPESP, Lincoln Institute.
- Ward, D.P.; Murray, A.T.; Phinn, S.R. (2000). "A stochastically constrained cellular model of urban growth". Computers, Environment and Urban Systems v. 24. pp. 539-558. Disponible: [www.elsevier.com/locate/compenvurbsys](http://www.elsevier.com/locate/compenvurbsys) ]
- Wilson, A. J. (1985): Mathematical Methods in Human Geography and Planning. Great Britain: John Wiley & Publishers. 404 p.
- Wolfram, S. (1983). "The statistical mechanics of cellular automata". Review of Modern Physics, 55:601-643. Disponible en: <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/>

# *Aplicación de tecnologías de información geográfica para el estudio arqueológico del corredor mesoamericano en el sur de Honduras*

Rodríguez, César y Rejas Ayuga, Juan Gregorio

## **Resumen**

En el presente artículo se describe la aplicación de la teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en una primera aproximación a la investigación arqueológica del corredor mesoamericano a su paso por el sur de Honduras. El área de estudio cubre amplias zonas de los departamentos de Choluteca y Valle, representando un espacio poco investigado de gran relevancia antropológica.

Uno de los objetivos principales del trabajo ha sido el reconocimiento y registro de sitios arqueológicos mediante técnicas no intrusivas, acción necesaria en un estadio inicial para la protección del patrimonio cultural hondureño en la región. Se han utilizado imágenes de los sensores ALI, TM y ETM+ en un período comprendido entre 1990 y 2011, que han sido co-registradas y procesadas para transformarlas a una misma escala radiométrica. Se han aplicado filtros y se han calculado índices que han permitido correlacionar parámetros del suelo y vegetación con la identificación de estructuras arqueológicas. Las muestras de materiales tomadas in situ se han medido en campo y en laboratorio con un espectro radiómetro ASD Field-Pro, con el objeto de generar patrones espectrales que faciliten el reconocimiento automático de otros restos arqueológicos homólogos. Los emplazamientos han sido verificados y geo referenciados por posicionamiento global GPS, validando los casos positivos en la cartografía temática generada a partir de las imágenes. Finalmente, se exponen los resultados obtenidos así como los análisis exploratorios iniciados por técnicas SIG para el conocimiento de las relaciones espaciales y geomorfológicas entre los principales asentamientos y culturas pre hispanos en el camino conductor que supone el corredor de Centroamérica.

**Palabras clave:** Tecnologías de información geográfica. Teledetección espacial. SIG. Prospección arqueológica. Patrimonio cultural.

## Abstract

This paper describes the application of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) in a first approach to archaeological research Mesoamerican corridor passing through southern Honduras. The study area covers large areas of the departments of Choluteca and Valle, representing an under-researched area of great anthropological importance.

One of the main objectives of this work has been the recognition and recording of archaeological sites using non-intrusive techniques, necessary action at an early stage for the protection of cultural heritage in the region of Honduras. We used images from sensors, ALI, TM and ETM + in a period between 1990 and 2011, which have been co-registered and processed for conversion to a common radiometric scale. Filters have been applied and calculated indices correlate allowed soil and vegetation parameters with identifying archaeological structures. Material samples taken in situ measured in field and laboratory with an ASD field spectroradiometer pro, in order to generate spectral patterns to facilitate automatic recognition of other archaeological remains counterparts. The sites have been checked and georeferenced by GPS global positioning, validating the positive cases in thematic mapping generated from images. Finally, we present the results and exploratory analyzes initiated by GIS techniques for understanding and geomorphological spatial relationships between the main settlements and cultures prehispanos driver on the road representing the Central Corridor.

**Keywords:** Geographic information technologies. Remote sensing. GIS. Survey archaeological. Cultural heritage.

---

**Rodríguez, César** (cesaronca@gmail.com), Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, FACES-UNAH. **Rejas Ayuga, Juan Gregorio** (juangregorio.rejas@upm.es), Depto. de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid, UPM.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sensores de observación de la Tierra y Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), así como su creciente utilización en arqueología, amplía las posibilidades en la representación y estudio de las características y rasgos particularizados en sitios con presencia de patrimonio arqueológico. En un nivel de estudio inicial, en el que se pretende encontrar indicios de estructuras enterradas y formaciones creadas por el hombre, la respuesta de las superficies en longitudes de onda adecuadas del espectro reflectivo (VIS-SWIR) y emisivo (TIR) puede suponer una información relevante como apoyo en investigación arqueológica.

En el trabajo que se presenta se realiza un aplicación en este sentido, teniendo por objeto reconocer, identificar y registrar digitalmente la ubicación de sitios arqueológicos en los departamentos de Valle y Choluteca en la región sur de Honduras mediante técnicas no intrusivas de teledetección, para posteriormente elaborar un estudio espacial de sus relaciones a partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La investigación se ha centrado inicialmente en la aplicación de técnicas de teledetección espacial y tecnologías de información geográfica en prospección y análisis para la extracción de información espectral sobre localización, tipología y estado del patrimonio cultural hondureño, principalmente arqueológico, en esta parte del corredor mesoamericano. Los yacimientos arqueológicos en esta región son casi desconocidos y objeto de saqueo y destrucción, siendo además la información disponible sobre su estado y localización muy escasa. El estudio mediante tecnologías de la información geográfica supone por lo tanto, una primera acción para promover la preservación e investigación arqueológicas en esta zona especialmente desfavorecida.

Se presentan en el artículo los resultados iniciales sobre unas áreas de especial interés, así como la cartografía temática generada. Como objetivo no técnico, se prevé que este trabajo sirva para apoyar la toma de decisiones municipales, locales y regionales desde el IHAH (Instituto Hondureño de Antropología e Historia) en pro de la protección y conservación de nuestro patrimonio cultural en esta región de Honduras. Esta investigación se acoge a la Ley de Protección del Patrimonio Cultural de la Nación.

## 2. DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Zona costera de Choluteca y Valle

El área de estudio se encuentra situada en la región sur de Honduras y la planicie costera del litoral pacífico, abarcando un total del 2% del territorio nacional. Tiene una longitud de 133 km y la cruzan cuatro ríos, siendo estos, de oeste a este el Goascorán, Nacaome, Choluteca y Negro. El de mayor interés para nosotros en este momento y el de mayor caudal es el río Choluteca, formado por cuatro afluentes, que divide las ciudades gemelas de Tegucigalpa y Comayagüela, y que a partir de aquí es conocido como río Choluteca. Sigue rumbo norte, luego se dirige al este y por fin hacia el sur, teniendo una longitud de 250 km (Pineda Portillo 1997: 91).

La planicie costera goza de un clima de sabana, tropical lluvioso y seco, con altas temperaturas todo el año. De seis meses cada uno, prevalecen dos estaciones bien marcadas: una de sequía (verano) de noviembre a abril y otra de lluvias (invierno) de mayo a octubre. Del litoral y hasta los 600 msnm hacia el norte, la planicie goza de una vegetación de bosque seco tropical. Se encuentra ubicada en la cadena de volcanes del Cuaternario, que viene desde Guatemala y se extiende hasta Panamá, pasando por el golfo de Fonseca. Las islas (conos) de este golfo son testigo de esa actividad volcánica antigua. El litoral es una unidad fisiográfica de limos y arcilla aluviales, con presencia abundante de manglares.

Se han definido áreas de test como de especial interés (ver Tabla 1), en base a la documentación y revisión bibliográfica realizada. Según Veliz (Véliz 1983; Véliz 2011) se tiene información general transmitida oralmente sobre salineras y la arqueología general de la zona (Baudez 1966) e información concreta sobre la existencia de dos sitios arqueológicos (Stone 1957: 97-98). Uno conocido como La Ola, un poco al noroeste de la ciudad de Choluteca, que se extiende a ambos lados del río Choluteca; el otro sitio conocido como Colama, un poco al suroeste de Choluteca. Ambos presentan tipologías arqueológicas en forma de montículos bajos de tierra y piedra, donde han aparecido vasijas policromas.



Tabla 1: Áreas de test de especial interés en la zona de estudio de la tesis

ÁREA DE INTERÉS	NOMBRE	LOCALIZACIÓN
AT-1	Salineras	Choluteca
AT-2	La Ola	Choluteca
AT-3	Colama	Choluteca
AT-4	Isla Amapala	Golfo de Fonseca
AT-5	Isla de Potrerillos	San Lorenzo
AT-6	Camaronera	Valle



FIGURA 1. Foto área USGS de AT-5 Isla Potrerillos (izqda.), AT-6 Camaronera (centro) y AT-2 La Ola (dcha.)

Actualmente se dio cuenta de un posible sitio en la isla de Amapala (AT-4) en el golfo de Fonseca y la isla de Potrerillos (AT-5) en San Lorenzo, departamento de Valle. Así como sitios de arte rupestre con el símbolo aparente de Venus entre los diseños encontrados. También se dispone de información y muestras de un sitio que fue destruido por la construcción de una Camaronera (AT-6) en el departamento de Choluteca.

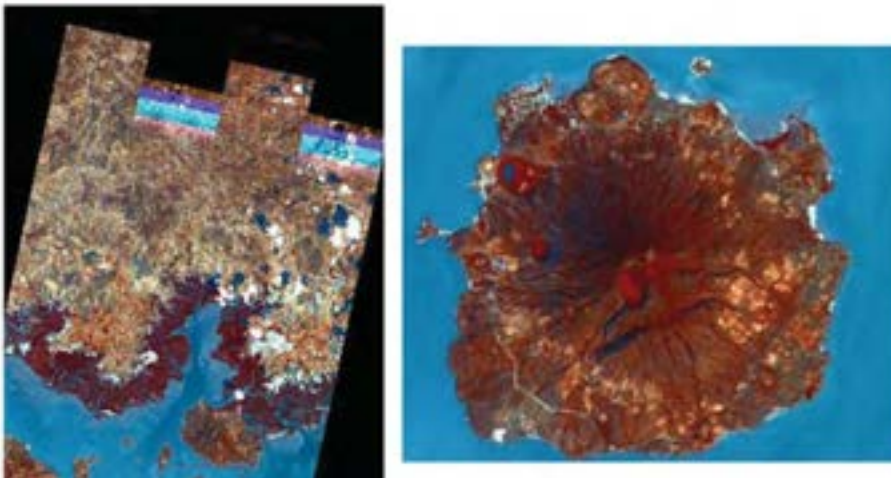
## 2.2 Datos e imágenes de satélite

Para el desarrollo de la investigación se ha utilizado cartografía de la zona sur de Honduras (departamentos de Choluteca y Valle). En concreto se ha dispuesto de las hojas cartográficas de base en escala 1:50.000, elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (Dirección de Catastro y Geografía) y datos actualizados del sistema Nacional de Información Territorial (SINIT).

Se han utilizado datos, metadatos e imágenes en el período mencionado procedentes de los sensores espaciales ALI (Figura 2), TM y ETM+. El captador de

imágenes ALI (*Advanced LandImager*) es un sensor multiespectral del programa Earth Observation del USGS/NASA (*United States Geological Survey/National Aeronautics and Space Administration*). El sistema ALI, montado en el satélite EO-1, orbita a 705 kilómetros y captura imágenes pancromáticas y multiespectrales similares a las tomadas por los satélites tipo LANDSAT. Adquiere 11 bandas espectrales de imagen desde el visible al infrarrojo medio, a las que se han agregado 3 bandas que cubren los  $0.433\mu\text{m}$  a  $0.453\mu\text{m}$ ,  $0.845\mu\text{m}$  a  $0.890\mu\text{m}$ , y  $1.20\mu\text{m}$  a  $1.30\mu\text{m}$ . Su resolución espacial es de 20 m para las bandas multiespectrales y 10 m para la banda pancromática.

FIGURA 2. Escena ALI en combinación RGB 7,4,2 (izqda.) y detalle de la Isla Amapala (AT-4) con banda pancromática ALI fusionada con las multiespectrales.



Asimismo, se han utilizado escenas del sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) que añade a las bandas ya disponibles en el TM (bandas multi espectrales de imagen desde el visible al infrarrojo térmico una resolución espacial de 30 m y 60 m) un canal pancromático con resolución espacial de 15 metros. Su órbita se sitúa a 705 Km de altitud, y sobrevuela la misma zona cada 16 días.

Los datos espaciales, así como fotografía aérea en niveles de gris y en color (Figura 1), se adquirieron desde el sitio web de EarthExplorer.

### 3. MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN EN EL ESTUDIO ARQUEOLÓGICO

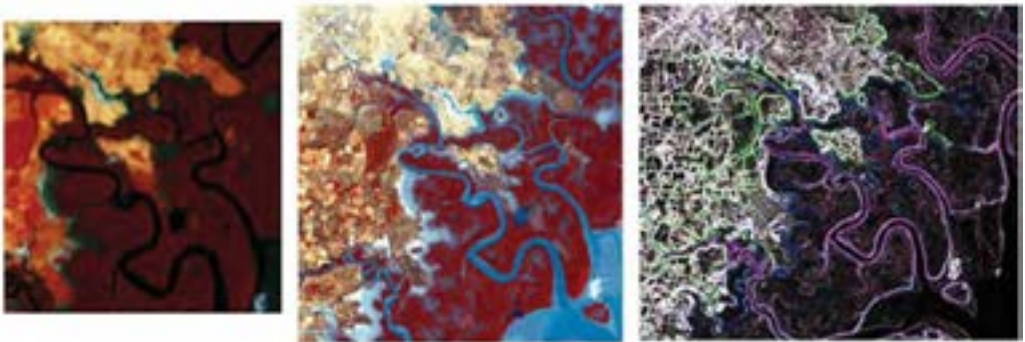
La investigación incorpora una fase de gabinete, para la que se han utilizado fundamentalmente datos espaciales, y diversas fases de campo diseñadas

a efectos de reconocimiento sobre el terreno, muestreo, radiometría de campo y validación.

Se han aplicado técnicas de teledetección a partir de los datos mencionados, como son análisis exploratorios, clasificación digital de imagen, análisis espectral de firmas y análisis de anomalías espectrales del terreno. Los datos de los sensores ALI, TM y ETM+ han sido primeramente pre-procesados y co registradas todas las bandas. Ha sido necesario transformar las imágenes a una escala absoluta, tanto espacial como espectral, de tal manera que podamos referir las medidas extraídas a otras procedentes de los distintos sensores o tomadas en distintas fechas. El objetivo ha sido preparar el conjunto de los datos para correlacionar espacialmente los elementos de interés arqueológico (muros, superficies, estructuras, restos de origen orgánico etc) con parámetros biofísicos extraídos mediante técnicas de tratamiento de imagen.

Se han aplicado filtros de imagen de paso alto y de texturas (Figura 3, izqda.) y se han calculado índices entre bandas como análisis exploratorios previos. Con ello se pretende correlacionar patrones espectrales y bordes, así como parámetros del suelo y vegetación con la identificación de estructuras arqueológicas.

Figura 3. Detalle de imagen ALI de AT-5 sin fusión (izqda.) y fusionada (centro) en combinación RGB 7, 4, 2. Filtro de textura aplicado a imagen fusionada de AT-5, en combinación rgb para los canales 7, 4, 2.



Se han calculado índices de vegetación y de suelo para el conjunto de las imágenes (Figura 4). Se han calculado tres índices de vegetación a partir de los valores de reflectancia de las imágenes multi espectrales. Se ha generado el NDVI (Rouse et al., 1974) para evaluar la estimación de la cubierta (IAF), y el cociente (Berni et al., 2010) entre el índice de reflectancia transformada por la absorción de la clorofila (TCARI) y el índice de vegetación del suelo ajustado optimizado (OSA-VI).

$$NDVI = \frac{\rho_{\mu NIR} - \rho_{\mu R}}{\rho_{\mu NIR} + \rho_{\mu R}} \quad (1)$$

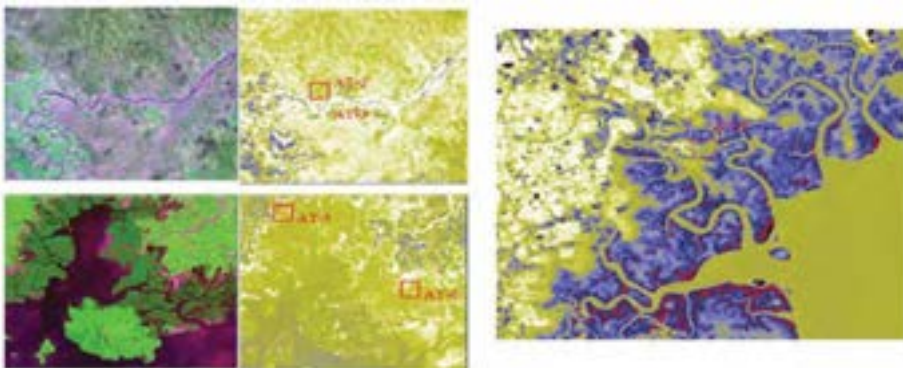
donde  $\rho_{\mu NIR}$  = reflectancia de banda del infrarrojo próximo,

$\rho_{\mu R}$  = reflectancia de banda del rojo.

$$TCARI / OSAVI = \frac{-3 \cdot [(\rho_{\mu 710} - \rho_{\mu 670}) - 0.2 \cdot (\rho_{\mu 710} - \rho_{\mu 510}) \cdot (\rho_{\mu 710} - \rho_{\mu 670})] + 0.16 \cdot (\rho_{\mu 400} - \rho_{\mu 670})}{(\rho_{\mu 400} - \rho_{\mu 670} + 0.16)} \quad (2)$$

donde  $\rho_{\mu i}$  = reflectancia de la banda i.

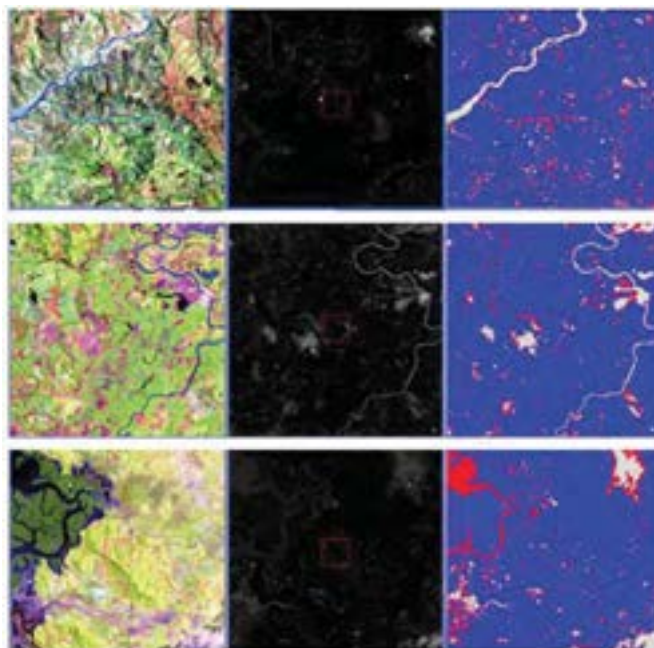
Figura 4. Detalle de Choluteca TM 1999 rgb 3,4,1 (sup. izqda.) e índice TCARI/OSAVI (sup. dcha.); detalle del golfo de Fonseca TM 1999 rgb 3,4,1 (inf. izqda.) e índice TCARI/OSAVI (inf. dcha.); detalle de AT-5 en TCARI/OSAVI a partir de la imagen ALI de 2003 (dcha.).



Un último paso en el análisis exploratorio ha consistido en aplicar fusión de imagen a las bandas multispectrales con la banda pancromática mediante el algoritmo *Imgfuse* (Geomática). Se han generado nuevas escenas de 10 m para ALI (Figura 3, centro) y 15 m para TM y ETM+ de resolución espacial, manteniendo la información espectral original, que han intervenido en el análisis de imagen subsecuente.

Se ha aplicado al conjunto de las imágenes el algoritmo RX (Reed y Xaoli, 1996) admitido ampliamente como un estándar en la detección de anomalías espectrales. Las anomalías espectrales se han calculado primero para el conjunto de bandas multispectrales fusionadas con la banda pancromática. Se ha aplicado una variación del método de cálculo de anomalías, incorporando los índices de

vegetación y suelo como nuevas variables (Figura 5, centro). Se ha observado cómo las anomalías espectrales están relacionadas con los parámetros de suelo y vegetación, influidos asimismo por la estación del año.



#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN

Los resultados obtenidos con el tratamiento de las imágenes espacial han permitido obtener posibles casos positivos de presencia de restos arqueológicos o antropológicos (Figura 6, Tabla 2) y generar una cartografía temática de cambios de cobertura del terreno en las fechas estudiadas.

No obstante, se ha realizado un exhaustivo reconocimiento de campo mediante sucesivas visitas, uno de los de cuyos objetos ha sido la recolección de información mediante entrevistas a reputados investigadores arqueólogos e historiadores. La documentación mediante expertos unida al reconocimiento a pie de terreno permite confirmar o desechar los casos extraídos del tratamiento de las imágenes como posible presencia de restos arqueológicos.

##### 4.1 Muestreos y verificación de campo

Se realizaron dos giras durante los meses de febrero y abril de 2013, visitando los departamentos de Valle y Choluteca en el sur de Honduras. En ellas se

ha realizado un reconocimiento de los emplazamientos a pie de terreno y se han georreferenciado mediante posicionamiento global GPS en modo autónomo, con 1 metro de precisión absoluta, suficiente para su contraste en las imágenes espaciales utilizadas.

Asimismo, se ha realizado una primera validación y archivo fotográfico de los sitios de investigación. Se encuestó a pobladores para obtener información local de los sitios de estudio. Se verificó posible clasificación arqueológica de sitios estudiados en un inicio (Tabla1).

Figura 6. Mapa generado a partir de mosaico TM en banda 5 con la localización de las áreas de interés (cuadrado azul) y posibles casos de existencia de restos arqueológicos/antropológicos (triángulo rojo)

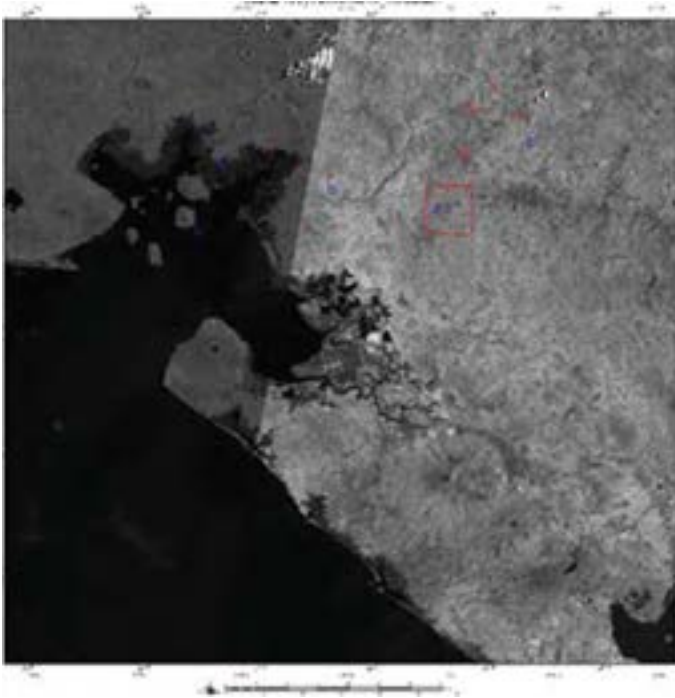


Tabla 2. Posibles casos positivos de presencia de restos arqueológicos extraídos del análisis de imagen

TABLA 2. Posibles casos positivos de presencia de restos arqueológicos extraídos del análisis de imagen.

<b>Casos positivos en las imágenes. Detalle (Google Earth)</b>					
					
C+1 Las Delicias	C+2 Los Encuentros	C+3 Las Cuevas 1	C+4 Las Cuevas 2	C+5 El Corralito 1	
					
C+6 El corralito 2	C+7 San Lorenzo	C+8 Santa Cruz	C+9	C+10 El Tambor	

## 4.2 Clasificación de sitios arqueológicos

Uno de los objetivos globales de la investigación es realizar una clasificación contrastada de sitios arqueológicos presentes en el área de estudio.

Veliz (2009) menciona que en el proyecto La Entrada (Nakamura et al., 1991), se tomaron en cuenta para la clasificación de los sitios arqueológicos los criterios de tamaño (1), ordenamiento arquitectónico (2), complejidad (3), extensión (4) y presunta función (5).

En base a ellos se desarrolla la clasificación arqueológica en 4 categorías que ha sido adoptada en la investigación:

- *Categoría especial.* Cementerios, estructuras sobre cerros, petroglifos, lugares de producción de cerámica y de lítica.
- *Categoría 1.* Artefactos dispersos en la superficie, sin estructuras presentes.
- *Categoría 2.* Una estructura aislada o agrupamientos de estructuras de menos de 2 m de altura. Algunos agrupamientos tienen patios, los que se supone son unidades habitacionales de campesinos.
- *Categoría 3.* Se definen por las siguientes características: (i) estructura más alta mide aproximadamente de 2 a 3.5 m de alto, (ii) casi todos tienen patios (o plazas), (iii) el tamaño de las estructuras aumenta, pero en comparación con las de Categoría 2, son bastante pequeñas y (iv) en algunos existen pisos de estuco, tiestos policromados y piedra tallada. El residente se supone haber sido alguien con cierto poder político local.

Teniendo en cuenta esta clasificación, se realizó un reconocimiento a pie de terreno de las siguientes áreas de interés (Tabla 3), contrastando al mismo tiempo el análisis de imagen:



Tabla 3. Áreas de interés reconocidas a pie de terreno en febrero -abril de 2013

Área	Nombre	Localización	Tipo de restos	Clasificación arqueológica
AT-1 AT-5	Salineras- Isla de Potrerillos	Valle	Montículos, tiestos, uso de bivalvos y lítica	Categoría 2-3
AT-2	La Ola	Choloteca	Se ubicó alterado	Sin categoría
AT-3	Colama	Choloteca	Montículos	Categoría 3
AT-4	Isla Amapala	Golfo de Fonseca	Restos de cerámica	Categoría 2
AT-7	Las Pintadas	Choloteca	Arte rupestre	Categoría especial
AT-6	Camaronera	Valle	Tiestos y lítica	Categoría 2
AT-8	El Corpus	Choloteca	Colonial	
AT-9	El Mitre	Choloteca	Cerámica y muros	Categoría especial
AT-10	La Pintura	Choloteca	Arte rupestre	Categoría especial
AT-11	Los Calpules	Choloteca	Cerámica y montículos	Categoría 3

AT-2. *Hacienda La Ola departamento de Choloteca, Sitio con cerámica y asentamientos.* Punto central, antigua casa principal de hacienda La Ola, ecosistema de bosque seco con intervención. Suelo con roca volcánica, metamórfica, y arcilloso. No evidencia arqueológica después de 50 años de primera investigación. (Stone, 1957).

AT-3 El sitio de Colama es una hacienda ubicada después del desvío al Papalote, por el cerro el Perico o entrando a la ciudad de Choloteca, desvío de tierra antes de la hacienda el Inglés. Se encontró evidencia de montículos diversos en una amplia zona, No se tuvo acceso directo a hallazgo por ser propiedad privada cercada con Caballos. El lugar aun esta conservado.

AT-1. *Isla de Potrerillos, bahía de Chismuyo, departamento de Valle, sitio precolombino:* Hoja 2656 li, bahía de Chismuyo. carretera Choloteca-Alianza, se toma desvío a El Aceituno, pasando campo de balompié hasta llegar a Pozo Sarco Cubulero, de aquí se llega a las salineras, se cruza el bosque de mangle a pie y se

llega a isla. Aproximadamente recorrido de 5 km. del desvío. Ecosistema de bosque de mangle. Se ubican 4 montículos, uno de los cuales es más grande, también una plataforma visible. Se encuentra material de tiestos monocromos, pedernal y piedras volcánicas como herramientas, además conchas de bivalvos en depósitos. Se puede decir que sitio está en buen estado de conservación. Hay indicios de saqueo y destrucción de particulares. Hay que caminar 0.5 km. por bosque de manglar para llegar a sitio. El suelo es arenoso- arcilloso y salino (Figura 7).



FIGURA 7. Isla Potrerillos, los montículos son visibles, Departamento de Valle.

**AT-6. La Camaronera, Valle, sitio precolombino:** Evidente destrucción. Zona intervenida para cultivo de camarón, con bosque de mangle. Se evidencia cerámica monocroma y piedra. El sitio está a orilla de un estero, de suelo arenoso. Se llega saliendo de la ciudad a Choluteca, se toma desvío a Coyolito, se le conoce al lugar como El Burro (Figura 8).

Figura 8. La Camaronera, destrucción de montículo, Valle



AT-4 *Isla de Amapala* ubicada en el golfo de Fonseca, se encontró evidencia de actividad volcánica en rocas de basalto y granito en el recorrido por toda la isla. Sólo un lugar denominado Tiguilote mostro evidencia arqueológica en un potrero cultivado, donde se encontró cerámica y rocas trabajadas como altares.

AT-8. *El Corpus, Choluteca, Colonial*. El Corpus es un antiguo pueblo minero en el sur de Honduras, con calles empedradas que data de 1584-1585, siendo famoso ante la corona española por la Mina de Clavo Rico (1585) que tenía pepitas de oro. Este pueblo está ubicado al este del departamento de Choluteca, aproximadamente a 20 km de distancia. Sus calles presentan evidencias de su pasado colonial.

AT-11 *San Marcos de Colon* próximo a la frontera con Nicaragua a 174 km. de la ciudad de Choluteca, se ubicó un yacimiento arqueológico llamado "Cerro los Calpules" según la descripción de Doris Stone, a tres leguas de la ciudad de San Marcos de Colón y a tres leguas en dirección a la quebrada el Jocote. El lugar está a 15 km de la ciudad, entre bosque de pino, en una montaña y rodeado de algunas comunidades aisladas. Se ubicó una posible zona para estudio durante el camino. Carlos Ordóñez, poblador de los más antiguos del lugar, atestigua que en cafetales y bordos se han encontrado artefactos indígenas, y que en un sitio llamado Colón, en la carretera a Duyure se han encontrado artefactos.

Nosotros ubicamos el sitio conocido como *Brisas de San Marcos*, propiedad de una cooperativa de campesinos. Aquí se encuentra uno de los sitios mejor

conservados, con cerámica, montículos, y plazas en peligro de destrucción. Este sitio es una prioridad para rescate y conservación con la participación de la comunitaria.

AT-7. *Las pintadas de Concepción de María, departamento de Choluteca, arte rupestre.* Tomando el desvío a Yusguare, después de pasar por el pueblo del Corpus-Choluteca, aproximadamente a 30 km desde el desvío. El lugar está ubicado antes de llegar al pueblo de Concepción de María-Choluteca. Bosque seco, intervenido por una población mediana, el suelo es arcilloso-calizo, con presencia de rocas volcánicas. En la casa de la señora Cándida Rosa Muñoz y la casa de la señora Kelyn Aguilar se ubican piedras grandes (Figura 10) de un metro y más de altura con diseños petroglifos geométricos y fitomorfos antiguos. Las rocas están siendo usadas para cerco de casas, algunas están partidas y presentan signos de contaminación.

Figura 9. Arte rupestre en Las Pintadas, Choluteca



AT-8. *Las Pinturas de Concepción de María, departamento de Choluteca, arte rupestre* Tomando el desvío a Yusguare, después de pasar por el pueblo del Corpus-Choluteca. El lugar está ubicado antes de llegar al pueblo de Concepción de María-Choluteca. Bosque seco, intervenido por una población mediana, con presencia de rocas volcánicas. Una en especial con diseños petroglifos geométricos antiguos. Las rocas presentan signos de contaminación antropogénica.

AT-9 *El Mitre, Duyure*. A través de recopilaciones bibliográficas se logra localizar este sitio arqueológico en lo alto de un cerro que sobresale en el paisaje, sin vegetación y erosionado. Este fue posiblemente un centro ritual, atestiguado por la cerámica dispuesta alrededor de estructuras de piedra como altares.

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

El trabajo presentado supone una aproximación en la aplicación de técnicas y metodologías de la información geográfica en el valle de Choluteca y golfo de Fonseca. Se han expuesto las características y estrategias de adquisición de datos medidos en zonas del espectro reflectivo y emisor de los sensores espaciales ALI, TM y ETM+. Esta experiencia ha permitido comprobar cómo diversas tecnologías de bajo coste permiten el registro y actualización de datos de arqueológicos. Se han estudiado 6 áreas de especial interés y se han extraído 10 posibles casos positivos de presencia de restos arqueológicos a partir del análisis espectral de imagen. Se ha comprobado cómo los sitios arqueológicos en la zona del manglar presentan especiales características para la investigación mediante teledetección, por su contraste entre la lámina de agua y los suelos.

Se ha iniciado el análisis exploratorio de los datos adquiridos entre 1990 y 2009, focalizado en el estudio de la correlación espacial y patrones espectrales entre las superficies y materiales arqueológicos presentes en las áreas de interés. Para ello se han generado ficheros multifuente, resultando crítico para el análisis posterior de los datos el corregistro espacial preciso entre las distintas capas de información.

Finalmente, el trabajo presentado se enmarca dentro de la línea de investigación de teledetección y SIG aplicados al corredor mesoamericano, cuyos objetivos generales son el registro digital y la propuesta de metodología como apoyo al estudio arqueológico y soporte de para futuras prospecciones y acciones iniciales para la protección del patrimonio cultural hondureño en esta área.

### Líneas futuras de investigación

Un línea de trabajo futura que se plantea, para la que serán necesarios estos primeros resultados geo referenciados con precisión, es el estudio de caminos óptimos y orientaciones astronómicas mediante SIG.

## Agradecimientos

Nuestro sincero agradecimiento a los coordinadores de la Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio que imparten la Facultad de Ciencias Espaciales FACES/UNAH y la Universidad de Alcalá de Henares. A Rafael Corrales por su asesoramiento.

Agradecemos al Instituto Hondureño de Antropología e Historia por su apoyo y asesoramiento. Un agradecimiento especial a las personas que han colaborado, en particular Bertilo Amaya en logística y David Williams nuestro guía de campo, así como Luis Soto y Rodolfo Ferrufino de la Portuaria por su apoyo. A la señora Cándida Rosa Muñoz, a la señora Kelyn Aguilar y al señor Carlos Ordóñez, por su amabilidad y ayuda en la recopilación de información llevada a cabo sobre el terreno.

## BIBLIOGRAFÍA

- ----- (s.f.) *Ley de Patrimonio Cultural de la Nación* Disponible en: [http://www.ihah.hn/que\\_es/ley\\_patrimonio.htm](http://www.ihah.hn/que_es/ley_patrimonio.htm) [online] [consulta: 04-12-2012].
- Berni, J.A., Zarco-Tejada, P., Suárez, L and Fereres, E. (2010). "Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle." *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 47, No. 3, March 2009.
- Burillo Mozota, Francisco, Severino Escolano Utrilla, Raúl López Romero y Enrique Ruiz
- Budría (2008) *Roma versus Segeda: una propuesta sobre el camino hispano seguido por el cónsul Nobilior en el año 153 a.C.* Fundación Segeda, Aragón Vivo.
- Farjas, M., Rejas, J.G., Mostza, T. and Zancajo, J. (2011). "Depening in the 3D modelling multisource analysis of a polychrome ceramic vessel through the integration of thermal and hyperspectral information". 39th annual international conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology - CAA2011Beijing (China), 12th-16th, April 2011

- Mostaza, T., Zancajo J.J. and Rejas, J.G. (2010). "Application of the New Techniques of Metric Documentation at Spatial Modeling of Archaeological Deposits" 38th CAA Congress, Granada (España), 16-20 abril 2010.
- Pineda Portillo, Noé (1997) *Geografía de Honduras*. Tercera Edición. Editorial Guaymuras, Tegucigalpa.
- Rejas, J.G., Pineda, M.C., Véliz, S.V., Burillo, F., Martínez, R., Marchamalo, M., Farjas, M. y Euraque, D.A. (2010). "Desarrollo en nuevas tecnologías para la protección y preservación del Patrimonio cultural y hábitats humanos en Honduras" IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Cultural y Cooperación para el Desarrollo, Sevilla (España), 16-18 junio 2010.
- Rejas, J.G., Pineda, M.C., Véliz, S.V. y Bastarrica, A. (2010). "Perspectiva de la teledetección en prospección, protección y gestión del patrimonio cultural. Casos de estudio de Honduras". 1er Congreso Internacional sobre Ordenamiento del Territorio y Tecnologías de la Información Geográfica, Tegucigalpa (Honduras), 22-26 octubre.
- Rejas, J.G., Burillo, F., López, R., Cano, M.A., Sáiz, M.E., Farjas, M. (2009). "Integrating SAR data and hyperspectral analysis for the archaeological survey of the Segeda city, Spain." III 2009, International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Space Time and Place 17-21 august, Tiruchirapalli (India).
- Rejas, J.G., Farjas, M., Burillo, F., López, R., Cano, M.A., Sáiz, M.E., Mostaza, T. and Zancajo J.J. (2008). "Comparative archaeometric analysis through 3d laser, short range photogrammetry, and hyperspectral remote sensing applied to the celtiberian city-state of Segeda". 37th International Symposium on Archaeometry, Siena (Italy), Mayo.
- Rejas Ayuga, J.G., Burillo Mozota, F., López, R. y Farjas Abadía, M. (2006). "Hyperspectral remote sensing application in the celtiberian city of Segeda". From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology, Rome (Italy) 4-7 diciembre.
- Stone, Doris (1957). "The archaeology of central and southern Honduras". *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*. Vol. 49, No. 3.

Cambridge, Massachusetts.

- Veliz, Vito (1983). "Síntesis histórica de la arqueología en Honduras. Yaxkin, Vol. VI, Números 1 y 2: 1-8. Órgano de Divulgación del Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa.
- Veliz, Vito (2009-2011) Borrador del proyecto "Desarrollo en nuevas tecnologías para la protección y preservación del patrimonio cultural y hábitats humanos en Honduras" Tegucigalpa.



# *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía*

Gustavo D. Buzai y Claudia A. Baxendale

## **Resumen**

La potencialidad actual de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el desarrollo de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) han proporcionado novedosas posibilidades para los estudios de las localizaciones, distribuciones, asociaciones, interacciones y evoluciones espaciales.

Las metodologías de mayor aplicación fueron desarrolladas en el interior de perspectivas racionalistas y cuantitativas, las cuales encuentran en la teoría de los Sistemas Complejos el marco que justifica la focalización espacial.

El presente trabajo arriba a la consideración de un marco teórico sustentado en la teoría de la Geografía en la búsqueda de resultados concretos a través de una ciencia aplicada que permita actuar sobre la realidad empírica.

**Palabras clave:** Teoría de la Geografía / Epistemología de la Geografía / Sistemas de Información Geográfica / Análisis Espacial / Geografía Aplicada

## **Abstract**

Sociospatial analysis with Geographic Information Systems. Conceptual framework based on the theory of Geography

The current potential of the Geographic Information Systems and the development of the Spatial Decision Support Systems have provided new possibilities for the study of spatial locations, distributions, associations, interactions and evolutions.

The methodologies of major application were developed in the interior of rationalist and quantitative perspectives which finds in the theory of Complex Systems the

framework that justifies spatial focalization.

The present work arrives to the consideration of a theoretical framework based on the theory of Geography in seeking concrete results through an applied science that allows acting on empirical reality.

**Keywords:** Theory of Geography / Epistemology of Geography / Geographic Information Systems / Spatial Analysis / Applied Geography.

---

**Gustavo D. Buzai** ([www.gesig-proeg.com.ar](http://www.gesig-proeg.com.ar) - [gesig-proeg@unlu.edu.ar](mailto:gesig-proeg@unlu.edu.ar)); **Claudia A. Baxendale** Universidad Nacional de Luján. Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG), Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica han producido una revolución tecnológica y una revolución intelectual. La primera se encuentra asociada con los procedimientos metodológicos y técnicos para el tratamiento de los datos espaciales y la segunda a la forma de pensar la realidad, al traslado de conceptos fundamentales entre disciplinas que comenzaron a incorporar componentes espaciales y al apoyo brindado al desarrollo de una inteligencia espacial. La Geografía como ciencia está en el centro de este proceso y claramente se ha convertido en la disciplina central de esta evolución.

Una serie de perspectivas paradigmáticas de la Geografía han contribuido para la formación de la actual Geografía Automatizada. El racionalismo y cuantitativismo que comenzaron a desarrollarse desde 1930 ayudaron a que muchos conceptos del tratamiento espacial de la información pudieran comenzar a ingresar en las computadoras a partir de la década de 1960 y formar la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica del siglo veintiuno.

Cabe indicar que estos avances no estuvieron exentos de problemas en su relación con la identidad de la disciplina al recorrerse un camino que avanza hacia la interdisciplina. La posición de la Geografía ante cualquier construcción disciplinaria es central y tiende a buscar siempre la integración a través de aspectos espaciales como un hilo conductor en la construcción de conocimientos.

En el presente trabajo se aborda la cuantificación en Geografía Humana ya que la mayoría de los fundamentos tecnológicos se encuentran enmarcados en esta línea de estudio. Su recorrido de fundamentación conceptual a lo largo de la segunda mitad del siglo veinte han generado una serie de consideraciones que serán detalladas.

Se analizan los fundamentos y alcances del *análisis espacial*, el *análisis geográfico* y se define el *análisis socioespacial*. Se ha generado un espacio de relaciones en el continuo *resolución-integración* con la finalidad de enmarcar estos conceptos en tanto contenedores de las diferentes metodologías empleadas en las aplicaciones.

Finalmente se abordan los conceptos fundamentales del análisis espacial para la aplicación de Sistemas de Información Geográfica: *localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial*, y se definen cuatro líneas básicas del *análisis socioespacial*. En ambos casos se enmarcan los procedimientos

técnicos y las aplicaciones presentadas a lo largo de los temas tratados.

## CUANTIFICACIÓN EN GEOGRAFÍA HUMANA

### Fundamentos iniciales

1. *El abordaje geográfico es principalmente espacial*: Desde el inicio de la Geografía como ciencia humana hemos visto que existen dos formas principales de encarar la investigación geográfica: como el estudio de la relación hombre-medio (definición ecológica) y como el estudio de la diferenciación de espacios sobre la superficie terrestre (definición corológica), las cuales pueden complementarse. Indudablemente cualquiera de estas perspectivas tiene su sustento en el espacio geográfico y para la Geografía Cuantitativa no existe posibilidad de realizar estudios geográficos sin sustento espacial, esta base de asociaciones y correlaciones espaciales es la que brindaría la identidad que singulariza a la Geografía en el contexto de las ciencias.

2. *La región se construye*: Tomando el avance teórico generado por la perspectiva racionalista los estudios de Geografía Cuantitativa consideran que la región, como delimitación de espacio sobre la superficie terrestre, se construye. No existe una región como realidad objetiva previa al investigador, sino que éste le pondrá límites de acuerdo a los objetivos de la investigación.

3. *La metodología de construcción regional es cuantitativa*: A diferencia de la perspectiva racionalista, la cual construía sus espacios geográficos a partir de la superposición cartográfica en un nivel cualitativo, la Geografía Cuantitativa utiliza métodos clasificatorios en los datos espaciales medidos en las entidades geográficas del área de estudio. El procedimiento de clasificación, que en las ciencias es utilizado para obtener clases de objetos específicos, en Geografía Cuantitativa se utilizaría para agrupar unidades espaciales y esto a nivel cartográfico lleva a definir espacios en un proceso de regionalización.

4. *Se busca la construcción de modelos*: Es una de las finalidades principales como ciencia nomotética, ya que atiende a las características espaciales generalizables. Los modelos espaciales son construcciones simplificadas de la realidad espacial que permiten comprenderla en sus rasgos fundamentales y también pueden actuar como una guía para la planificación territorial. La realización de modelos permite tener una base firme para avanzar en la construcción y transmisión del conocimiento.

5. *Se destruye el excepcionalismo*: La Geografía no es una ciencia excepcional y por lo tanto tiende a realizar estudios de aspectos modelizables. Como cualquier

otra ciencia, la Geografía puede utilizar metodologías de mayor rigurosidad para estudiar aspectos espaciales como configuraciones generalizables donde el investigador pondrá a prueba sus hipótesis y generará otras.

6. *Se producen capacidades interdisciplinarias:* El poder estandarizar el pensamiento y la acción al lenguaje matemático le brindaría la posibilidad de compartir un lenguaje común a otras ciencias con lo cual la Geografía adquiere una mayor capacidad en sus vínculos extradisciplinarios. Los estudios geográficos podrán ser disciplinarios, multidisciplinarios e interdisciplinarios, siempre apuntando a su focalización espacial.

7. *Se obtiene un mayor nivel de objetividad:* En ningún momento se considera que la investigación científica sea objetiva ya que intervienen constantes niveles de subjetividad a través de diferentes niveles decisionales del investigador. Sin embargo, se considera que se avanza en el nivel de objetividad al brindar abiertamente los métodos y procedimientos seguidos en la construcción de conocimientos, es decir, una concreta posibilidad de repetición, ya que cualquier investigador podrá reproducir los procedimientos implementados y obtener los mismos resultados.

## Fundamentos de afianzamiento

1. *Sobre los cambios paradigmáticos:* A partir del trabajo de Kuhn (1962, 1970) muchos geógrafos estudiosos del desarrollo conceptual de nuestra ciencia aplicaron su modelo de evolución científica. La Geografía del siglo XX, si bien podía presentar la regularidad de cambios paradigmáticos con períodos de ciencia normal de 20-25 años de duración, se aparta del modelo cuando se verifica que en ningún momento un paradigma eliminó al anterior, sino que lo desplazó momentáneamente. De esta manera como la Geografía Cuantitativa no eliminó a la Geografía Regional ni a la Geografía Racionalista, los paradigmas de la Geografía Crítica y la Geografía Humanista no eliminaron el paradigma cuantitativo, es así como Slocum (1990) demuestra que la perspectiva cuantitativa aumentó su caudal de trabajos y se ampliaron sus posibilidades metodológicas.

2. *Sobre el monismo metodológico:* La incorporación de técnicas cuantitativas en Geografía no necesariamente hace que los abordajes geográficos deban ser realizados bajo los cánones de las ciencias experimentales, las cuales son tomadas generalmente como modelos de ciencia. De hecho, la Geografía Cuantitativa, como perspectiva de análisis espacial, no puede llegar al nivel de experimentación logrado por algunas Ciencias Exactas ya que las variables socioespaciales son de imposible manipulación. Sin embargo, cabe aclarar, que las ciencias son prin-

principalmente observacionales y que la experimentación es simplemente una de las formas posibles de observar.

3. *Sobre las temáticas incorporadas:* La Geografía Cuantitativa, poniendo su eje de atención en las relaciones espaciales, no incorporó aspectos de la realidad social que resultaban imprescindibles para el entendimiento contextual. Difícilmente podría aportar a soluciones en un orden a-espacial y es por esto que las posturas radicales tuvieron que basarse en estudios de otras disciplinas que se encontraban más capacitadas para captar otros niveles de análisis. Las nuevas problemáticas no se encontraban en la agenda de la Geografía Cuantitativa y es por eso que las nuevas perspectivas buscaron posicionarse a través de un mayor compromiso social. Sin embargo, actualmente pasaron tres décadas del surgimiento de la Geografía Crítica y los problemas centrales evidenciados con el nuevo paradigma no solamente se han mantenido, sino que se han agravado considerablemente. En síntesis, la Geografía Cuantitativa no ha dado solución a las nuevas problemáticas y la Geografía Crítica tampoco, aunque ahora estas problemáticas ya no son nuevas.

4. *Sobre la esencia y la apariencia:* La Geografía Cuantitativa pone su foco de atención en las manifestaciones espaciales, las que se consideran resultado de procesos sociales. No niega la existencia de una dialéctica socioespacial, sin embargo, no es interés de la Geografía Cuantitativa realizar abordajes ontológicos y deja ese nivel para la Filosofía, la cual, según una definición clásica, se encargaría de estudiar las primeras causas en el orden del ser y las últimas en el orden del conocer. Así también deja a otras ciencias la explicación de relaciones a-espaciales que pueden ser consideradas por los geógrafos para comprender más acabadamente la realidad espacial bajo estudio. Esencia y apariencia no son aspectos contrapuestos sin embargo puede notarse que en la búsqueda de la esencia espacial muchas veces se deja de lado el nivel empírico necesario para intentar dar respuesta a problemas socioespaciales concretos. La Geografía cuantitativa tiende a la búsqueda de soluciones corroborables.

5. *Sobre el nivel de abstracción:* Generalmente se considera que la aplicación de métodos matemáticos brinda un grado de abstracción que separa los estudios geográficos de un nivel empírico. Sin embargo, las fases del proceso de investigación, nos muestra el camino que se recorre desde la base empírica hacia la abstracción sistémica y desde allí, nuevamente hacia la base empírica para su aplicación. La Geografía Cuantitativa tiene dos niveles: la mayor abstracción en el proceso de tratamiento y la mayor concreción en el momento de aplicación.

6. *Sobre la relevancia:* La Geografía Humana puede formularse múltiples preguntas sobre la realidad. Las preguntas que se realiza la Geografía Cuantitativa son básicamente de orden espacial, tendientes hacia la planificación territorial. El objetivo que persigue es colaborar en el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Cuando las aplicaciones intentan obtener sitios óptimos para determinadas actividades, cuando se intenta analizar la eficiencia o equidad espacial, cuando se cuantifican y mapean las diferencias socioespaciales o cuando se intentan ver las posibilidades de evolución espacial se lo hace desde una visión centrada en mejorar la calidad de vida de la población.

7. *Sobre los alcances:* Los estudios realizados desde la Geografía Cuantitativa no son completos, así como tampoco son completos los estudios realizados desde otras perspectivas paradigmáticas. Ningún paradigma es el mejor, el más actual y el de mayor relevancia, adherir a uno u otro permite definir las preguntas a responder y las formas de buscar el conocimiento para lograr soluciones. La Geografía Humana se puede hacer a través de múltiples abordajes paradigmáticos, individuales o en combinaciones, y también a través de trabajos interdisciplinarios.

### Discusiones actuales

1. *Sobre la revalorización del espacio:* Gran cantidad de trabajos teóricos consideran el período actual como un momento de "revalorización del espacio". Al respecto esta aseveración no debe corresponder a la Geografía como ciencia de múltiples enfoques, sino que sería una necesidad propia de la Geografía Crítica basada en estudios sociales de gran cantidad de componentes a-espaciales. Por su parte, otros enfoques geográficos y entre ellos la Geografía Cuantitativa nunca perdieron su horizonte espacial como sustento fundamental de la Geografía Humana.

2. *Sobre un nuevo paradigma:* Podría considerarse que la Geografía Automatizada es un nuevo paradigma de la Geografía. Su aparición se produjo 20-25 años más tarde que las últimas visiones paradigmáticas establecidas, pero esta automatización, a nuestro entender (Buzai, 1999) no sería una nueva forma de ver la realidad, simplemente significa que mediante el uso de las tecnologías digitales se han podido automatizar muchos de los procedimientos de análisis geográfico realizados por los abordajes racionalista y cuantitativo, por lo cual consideramos que es una excelente revalorización de estas posturas a través de un nuevo ambiente de trabajo.

3. *Sobre la definición de ciclos:* El ciclo más común en la historia del pensamiento geográfico se define a través de los períodos de ciencia normal de 20-25 años de duración para las diferentes sucesiones paradigmáticas, aunque estos corres-

ponden a la sucesión de posturas filosóficas amplias como las del historicismo y positivismo. Las "olas" de surgimiento positivista se producen detrás de estos ciclos cortos en períodos que duplican el tiempo a 50 años (ciclos de Kondratieff): Positivismo geográfico (a) ligado a la Biología evolucionista a finales de siglo XIX, (b) ligado a la lógica-matemática a mediados del siglo XX, y (c) ligado a la Informática de finales de siglo XX y principios del XXI.

4. *Sobre la explosión disciplinaria:* En la ola inicial y final de este ciclo largo se producen dos explosiones disciplinarias de la Geografía: a finales del siglo XIX la Geografía brinda objetos de estudio a campos específicos explotando en muchos fragmentos y quedando definida como ciencia humana, y a finales del siglo XX a través de la tecnología SIG la Geografía brinda visiones y perspectivas espaciales al resto de las ciencias. A través de los sistemas computacionales se trasladan saberes teórico-metodológicos de la Geografía al resto de las ciencias.

5. *Sobre la "globalización" de la visión espacial:* Desde las diversas ciencias las visiones espaciales incorporadas en los medios computacionales llegan paulatinamente a la sociedad a través de los diferentes servicios de información. De esta manera muchos conceptos de base geográfica aparecen utilizados en diferentes contextos (ej: *mapa del genoma humano, atlas del cerebro, mapas conceptuales, entre otros*).

6. *Sobre la incorporación del Ciberespacio:* El nuevo espacio electrónico que se encuentra entre las pantallas de las computadoras también brindan la posibilidad de realización de estudios espaciales desde diferentes perspectivas. La Geografía Cuantitativa aporta mediciones a esta nueva dimensión a través de estudios globales en el ámbito de la Cibergeografía (Buzai, 2002; Toudert y Buzai, 2004), de las mismas posibilidades en computadoras personales y servicios remotos a través del SIG en línea (*GIS On-line*) y desarrollos de la *Realidad Virtual*.

### **La visión espacial como enfoque predominante en la tecnología SIG**

Poner el espacio geográfico en el centro de la Geografía no puede hacerse solamente desde un punto de vista discursivo y sin sustento aplicado, sino que resulta completamente necesario actuar de forma concreta sobre él.

En este sentido el desarrollo metodológico de las tecnologías digitales en las últimas dos décadas es fundamental para poder captar e intentar brindar alternativas de mejoras a dichas características espaciales y en este sentido Cook (2005) reconoce que el momento actual es privilegiado para lograrlo debido a que



las nuevas tecnologías destruyen intereses individuales y llevan a un camino de privilegio a actividades cooperativas en el marco de la investigación y la docencia. Las entidades ubicadas sobre la superficie terrestre difícilmente puedan ser reclamadas como objetos exclusivos de estudio de disciplinas particulares, por lo tanto la cuestión central de cada campo de conocimiento es su enfoque, y el enfoque geográfico es espacial, las teorías y metodologías de la Geografía están destinadas al estudio de las localizaciones, distribuciones, asociaciones, interacciones y evoluciones espaciales.

En este contexto los estudios geográficos mediante tecnologías digitales permiten, sin lugar a dudas, poner su atención en la organización espacial a través de la planificación territorial, e intenta abordarla con la finalidad de conseguir mayor eficiencia en sus funciones y llevar mayor equidad a sus habitantes, como lo han hecho durante décadas muchos geógrafos aún en ausencia de estas técnicas o ante la preeminencia de paradigmas en donde lo espacial quedó relegado a lo social.

## ESPACIO DE DEFINICIONES

### **Análisis Espacial y Análisis Geográfico**

Cuando se lo enfoca desde un punto de vista temático, el Análisis Espacial constituye una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Cuando se lo enfoca desde la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica el Análisis Espacial se considera su núcleo (sinónimo del subsistema de tratamiento) ya que es el que posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica.

Según los diferentes momentos de evolución científica el Análisis Espacial ha contado con diferentes definiciones de variada amplitud, ya que, aunque el término Análisis Espacial surgió ante la abstracción presentada por el paradigma cuantitativo, actualmente este término es utilizado por todos los enfoques geográficos. Existen diferentes perspectivas del Análisis Espacial, desde aquellas que consideran todo proceso de consulta espacial hasta aquellas que consideran únicamente los aspectos geométricos de las configuraciones espaciales sin tener en cuenta sus atributos asociados.

En un nivel de definición, Berry (1996) considera que el Análisis Espacial se define a través de operaciones cuyos resultados dependen de la localización

espacial, es decir, que si se mueven espacialmente las entidades los resultados cambian.

El ejemplo clásico de esta definición lo constituye el cálculo del promedio de una serie de datos. Si son numéricos y se encuentran en la columna de una base de datos, aunque cambiemos de lugar cualquiera de las posiciones el resultado será igual (se obtendrá el mismo valor promedio). Si es gráfico lo deberemos tratar mediante las técnicas centrográficas obteniendo un promedio espacial o centro medio de la distribución de puntos a partir de los promedios de las localización en los ejes x e y .

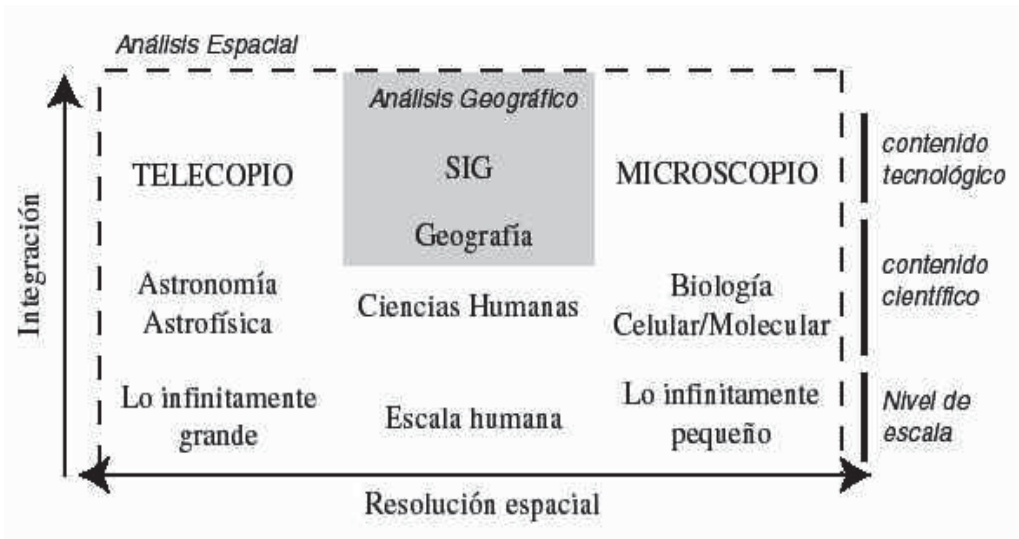
Efectivamente, el trabajar exclusivamente con bases de datos numéricas puede brindar una serie de resultados a-espaciales aunque los resultados correspondan a una determinada área de estudio. Cuando estos datos se encuentran vinculados a un mapa consideramos que los resultados son espaciales y el límite de la definición entonces cuenta con una importante amplitud.

Los datos intercambiables de población/área generan diferentes valores de densidad, mientras que el intercambio de lugar de los polígonos en el mapa ampliaría el análisis al brindar distintas distribuciones espaciales de la variable. En este sentido, la distribución espacial de los datos, a nuestro entender, sería uno de los procedimientos básicos que estaría definiendo el inicio del alcance del análisis espacial.

Sin embargo, como el Análisis Espacial puede realizarse dentro de una amplia gama de resoluciones e integraciones espaciales, estos diferentes niveles de detalle y complejidad brindarían el límite que le daría existencia al *Análisis Geográfico* en su interior.

Basado en Buzai (2005) en la Figura 1 el Análisis Espacial cubre todos los niveles en el espacio de relaciones *resolución-integración* y en su interior el Análisis Geográfico se ubica en los mayores niveles de *integración* en el interior de la escala humana. El eje de *resolución* espacial alude al nivel de *detalle* entre dos extremos y el eje de *integración* corresponde al nivel de combinación de variables en la búsqueda de resultados desde el análisis univariado hasta el análisis multivariado. El límite entre el Análisis Espacial y el Análisis Geográfico fluctúa de acuerdo al objetivo de cada aplicación.

Figura 1. Campos del Análisis Espacial y el Análisis Geográfico



Resulta interesante considerar en este punto algunas consideraciones proporcionadas por de Rosnay (1977), para quien entre lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande, en la escala humana, se encuentra lo infinitamente complejo, situación posible de ser estudiada a través de una perspectiva sistémica que funcionaría como *macroscopio*.

Entre los dos extremos, ubicamos la definición del *análisis socioespacial* en dos sentidos: (a) el estudio de los patrones de distribución espacial univariado y multivariado de temas sociales, económicos y demográficos medidos en la población, y (b) la importancia que la componente espacial ejerce en dichos patrones de distribución.

### Conceptos centrales del análisis geográfico

Son cinco los conceptos básicos del análisis geográfico que se transforman en fundamentales al momento de realizar un análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica:

Teniendo en cuenta lo que el geógrafo francés Emmanuel de Martone (1873-1955), en su intento de delimitar el campo de la disciplina, estableció como *Principios Geográficos (localización, conexión, extensión, complejidad, dinamismo, conexión y globalidad territorial)*, los cuales fueron claramente presentados y analizados por Vilá Valentí (1983), podemos ver que de ellos son obtenidos los cinco conceptos

fundamentales del Análisis Espacial: *Localización, Distribución espacial, Asociación espacial, Interacción espacial y Evolución Espacial*.<sup>1</sup>

A partir del estudio de Nyerges (1991) y analizando el posterior desarrollo de Nyerges y Golledge (1997) podemos verificar que estos conceptos se han transformado en sintetizadores de los principios geográficos que se hacen operativos a partir del Análisis Espacial, actualmente aplicados a través de los Sistemas de Información Geográfica. A continuación serán desarrollados sus contenidos y alcances para la investigación geográfica aplicada.

## Localización

El concepto considera que todas las entidades (con sus atributos asociados) tienen una ubicación específica en el espacio geográfico.

Esta ubicación puede ser vista de dos maneras complementarias. Si se apela al denominado *espacio absoluto* corresponde a un *sitio* específico y fijo de emplazamiento sustentado por la topografía local y si se apela al denominado *espacio relativo* corresponde a una posición específica y cambiante respecto de otros sitios con los cuales se pueden establecer vínculos funcionales.

## Distribución espacial

El concepto considera que el conjunto de entidades de un mismo tipo se reparten de una determinada manera sobre el espacio geográfico. Estas pueden ser puntos, líneas o polígonos (áreas) con diferentes atributos asociados en sistema *vectorial*, o localizaciones dispersas que representan puntos y zonas con clases similares contiguas en sistema *raster*. Manchas de entidades geográficas puntuales pueden ser transformadas como áreas de diferente forma y extensión. Las transformaciones en el formato espacial de las entidades (de *raster a vectorial* y de *vectorial a raster*) en sistema SIG se realizan con motivo de buscar la mayor aptitud en el posterior Análisis Espacial.

Las distintas características medidas en entidades de naturaleza espacial difícilmente se distribuyan de manera homogénea, por lo tanto, es común que las

---

<sup>1</sup> El principio de globalidad territorial no queda expresado por un concepto ya que representa el modo de accionar geográfico en la perspectiva tradicional. En todo caso corresponde a una etapa final que agrupa los principios anteriores en una integración de los diferentes resultados en una síntesis que tiene la finalidad de brindar un panorama completo de la estructura espacial analizada.

distribuciones que presentan concentraciones varíen de un sector a otro. Considerada como distribución puntual, esa mancha de entidades puede tener una estructura espacial concentrada, aleatoria (sin un patrón definido) o regular (distribución uniforme, también considerada dispersa), aspectos que pueden ser medidos a través de un análisis de vecindad. Considerada como *intensidad*, cualquier variable puede ser distribuida en un área de estudio en base a los procedimientos típicos de la cartografía temática mediante la selección de intervalos de clase y como *densidad*, la distribución espacial podría ser considerada (tomando como modelo la terminología estadística) como una frecuencia con la que estos hechos se reparten sobre el espacio geográfico.

### *Asociación espacial*

El concepto considera el estudio de las semejanzas encontradas al comparar distintas distribuciones espaciales.

La forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de dos distribuciones. A través de este procedimiento, una distribución espacial A se puede superponer a una distribución espacial B y de esa manera verificar su grado de asociación en base a una proporción de correspondencia. Cuanto más grande sea la superficie de superposición mayor será la asociación existente entre ellas.

### *Interacción espacial*

El concepto considera la estructuración de un espacio relacional en el cual las localizaciones (sitios) distancias (ideales o reales) y vínculos (flujos) resultan fundamentales en la definición de espacios funcionales. Corresponde a la conceptualización de los componentes básicos que se consideran en el *análisis sistémico*.

El estudio de la interacción espacial siempre ha sido fundamental en la investigación geográfica, pero al mismo tiempo también lo ha sido en la formulación de un campo interdisciplinario de las ciencias sociales como lo es la Ciencia Regional, la cual según Isard (1960) pone su foco de atención en espacios y sistemas espaciales, en regiones y sistemas regionales y en localizaciones y sistemas locacionales, en los cuales es central el concepto multidimensional de distancia (física, económica, social y política). Una interesante y útil reseña sobre la historia y actualidad de la Ciencia Regional ha sido publicada por Benko (1998).

## *Evolución espacial*

El concepto considera la incorporación de la dimensión temporal a través de la permanente transición de un estado a otro.

Los estudios geográficos son básicamente abordajes del presente (recordemos que la Geografía generalmente se presentan como una ciencia del presente), sin embargo, en ningún momento se deja de reconocer que la dimensión temporal es de gran importancia en un análisis geográfico completo (Cliff y Ord, 1981), siendo que ir hacia el pasado nos muestra el origen de las manifestaciones empíricas del presente. Centrarse en el donde corresponde a una visión basada en la localización y en el cuando en una visión basada en el tiempo. El como, desde un punto de vista espacial, presentaría el camino evolutivo *espacio-temporal*.

## **LINEAS TEMÁTICAS DEL ANÁLISIS SOCIOESPACIAL CON SIG**

Desde un punto de vista aplicado, todo *análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica* se incluye dentro de las líneas precedentes, ya que ellas permiten abordar diferentes temáticas en un importante nivel de concreción.

Al respecto, en base al análisis de Friedman (1996) hemos redefinido una serie de temáticas posibles que se presentan a título orientativo y no agotan las múltiples posibilidades existentes.

### **Procesos de aglomeración**

Concentración poblacional en núcleos de población. Forma y dimensión de los núcleos de población. Crecimiento urbano. Estructuras de soporte del crecimiento poblacional urbano. Cambios de usos del suelo en el espacio rural, en el espacio urbano y conversión de rural a urbano. Cambios en los valores del suelo.

### **Procesos de diferenciación**

Diferenciación social de la población en escala intraurbana o regional. Estructura espacial de la población en base a sus características socio-económicas y demográficas. Concentración y segregación espacial de grupos poblacionales específicos. Diferenciación en el grado de exposición a riesgos ambientales y sociales. Acceso diferencial a equipamientos de servicios por inversiones localizadas.

## Procesos de integración

Accesibilidad e interacción espacial a nivel intraurbano, urbano y regional. Configuración del espacio funcional. Conexiones y circulación de flujos tangibles e intangibles. Estructuras básicas del sistema adaptado (fijos) y sistema de flujos (conexiones). Circuitos económicos y crecimiento económico regional.

## Procesos de transformación

Huella del paisaje (local) y huella ecológica (global). Cambio de usos del suelo en entornos periurbanos y dinámicas de transformación espacial. Uso y deterioro de los recursos. Recuperación de ambientes naturales deteriorados. Revitalización de centros históricos. Producción del espacio urbano.

## EL MARCO GLOBAL: APOORTE DE LA PERSPECTIVA SISTÉMICA

A partir de los aspectos teórico-metodológicos presentados queda en evidencia que el *análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica* se encuentra sustentado en una *visión sistémica* de la realidad.

Esta postura fue sistematizada inicialmente como *Teoría General de los Sistemas (General Systems Theory*, quizá sería más adecuado hablar de *teoría de los sistemas generales*) por Von Bertalanffy (1968) centrando su atención en el descubrimiento de las leyes generales que podrían identificar similares comportamientos en diferentes tipos de sistemas, ya sean físico-naturales o humanos.

Sin embargo, nuestra perspectiva de análisis avanza sobre esta línea de abordaje apoyada por la teoría de los *sistemas complejos* sistematizada por García (2006) y cuyos fundamentos presentan importantes características teórico-epistemológicas en las posibilidades de abordajes concretos en diferentes niveles de análisis.

Aspectos centrales de la teoría consideran al sistema como un recorte de la realidad que se presenta como *totalidad organizada*. Mientras la totalidad es inabordable, ya que esto implicaría llegar a la esencia de sus componentes, el sistema resulta accesible al ser resultado de una construcción realizada por parte del investigador.

El recorte de la realidad se realiza a través de definir los componentes del sistema complejo. Se definen sus *elementos* a través de mutuas determinaciones,

sus límites ante la presentación del recorte que se va a estudiar (uno de los límites corresponde al uso de la materialidad geográfica), y su *estructura* como organización que se genera a partir de las relaciones de los elementos del sistema.

Estas partes del *sistema complejo* pueden estudiarse de forma aislada en estudios interdisciplinarios o intentando un abordaje más completo a través del abordaje interdisciplinario en una *base empírica* que resulta ser el dominio material de la investigación.

Toda investigación científica es empírica, porque la ciencia es empírica al tratar cuestiones del mundo real. El análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica es empírico y su práctica se hace operativa a través de apelar a aspectos teóricos (teoría de la Geografía), aspectos metodológicos (análisis espacial) y las principales posibilidades de aplicación (planificación territorial).

A partir de los diferentes casos de aplicación (Buzai y Baxendale, 2001 y 2012) se encuentran muchos elementos generalizables que apoyan los fundamentos de la teoría general de los sistemas. Sin embargo, resulta de gran importancia para nosotros una visión complementaria, generada por la teoría de los sistemas complejos a través de su componente epistemológico y ontológico.

El componente epistemológico aborda el problema del conocimiento a partir de analizar lo que se conoce y de que manera se lo hace. La teoría de los sistemas complejos surge de proposiciones constructivistas empíricas. El componente ontológico aborda la estructura de la realidad como totalidad organizada por estratos. Hay diferentes niveles de procesos y de niveles de análisis. Cada uno es semi-autónomo y teorías que pueden ser explicadas en un nivel pueden no serlo en otros.

Una serie de aspectos resultan destacables para todo estudio aplicado.

1. La realidad se encuentra estratificada y los diferentes paradigmas de la Geografía ponen su focalización en distintos niveles. De aquí no solamente puede entenderse porqué en la Geografía ningún paradigma desplazó completamente a otro, sino también porqué todas las discusiones paradigmáticas resultaron estériles. Evidentemente fueron planteadas en diferentes niveles y atendiendo a diferentes sectores de la base empírica.

2. En la porción de la realidad definida como *totalidad organizada* a estudiar se producen diferentes niveles de análisis, por lo tanto, en Geografía, nunca un para-



digma pudo brindar visiones completas de la realidad. En este sentido, la teoría de los sistemas complejos brinda elementos que justifican finalizar con las discusiones paradigmáticas y avanzar en la construcción interparadigmática, lo que sería equivalente al trabajo científico interdisciplinario.

3. En el interior de la Geografía el nivel focal de análisis del espacio geográfico está dado por los paradigmas de la Geografía Regional, Geografía Racionalista y Geografía Cuantitativa a través de las tres definiciones operativas de la geografía provenientes de un abordaje ecológico, corológico y sistémico respectivamente. Definiciones que estarán presentes en todo abordaje de análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Por su parte, discusiones entre paradigmas de la Geografía no tendrían clara resolución al pertenecer a *programas de investigación* (Lakatos, 1975) con objetivos focalizados en diferentes niveles de la realidad.

4. La ciencia es empírica porque trabaja con elementos concretos de la realidad, la Geografía como ciencia empírica se posiciona como ciencia aplicable/aplicada a través de la práctica del Ordenamiento Territorial. De esta manera sus acciones estarán orientadas al logro de condiciones espaciales adecuadas al correcto desarrollo de las actividades socioeconómicas de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benko, G. 1998. *La Ciencia Regional*. Editorial UNS. Bahía Blanca.
- Berry, J.K. 1996. *The Unique Character of Spatial Analysis*. GIS World. April: 29-30.
- Buzai, G.D. 1999. *Geografía Global*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. 2002. Cibergeografía, nuevos lugares, nuevas posiciones. *Estudios Geográficos*. 250:112-120.
- Buzai, G.D. 2005. Los Sistemas de Información Geográfica y sus métodos de análisis en el continuo Resolución/Integración. *X Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. San Juan de Puerto Rico.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica / temáticas de base raster*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2012. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 2: Ordenamiento territorial / temáticas de base vectorial*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Cliff, A.; Ord, J. 1981. *Spatial Process. Models and Applications*. Pion. London
- Cook, E. 2005. *Different perspectives of geography. Geographical*. February. de
- Rosnay, J. 1977. *El Macroscopio*. Editorial AC. Madrid.
- Friedman, J. 1996. *Revisión del núcleo curricular de la planificación*. Ciudades. 29:3-14.
- García, R. 2006. *Sistemas Complejos*. Gedisa. Barcelona.
- Isard, W. 1960. *The Scope and Nature of Regional Science*. Papers and Proceedings of the Regional Science Association. 6:9-34.
- Kuhn, T.S. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. The Chicago University Press. Chicago (second edition, 1970).
- Lakatos, I. 1975. *Falsación y metodología de los programas de investigación científica*. En: I.Lakatos; A.Musgrave (eds.) *La crítica y el desarrollo del conocimiento*. Grijalbo. Barcelona.
- Nyerges, T.L. 1991. Analytical Map Use. *Cartography and Geographic Information Systems*. 18(1):11-22.
- Nyerges, T.L.; Golledge, R.G. 1997. *Asking Geographic Questions*. NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Sciences. National Center for Geographic Information Sciences. University of California. Santa Barbara.
- Slocum, T. 1990. *The use of quantitative methods in major geographical journals, 1956-1983*. *Geographical Analysis*. 42(1):84-94.
- Vilá Valentí, J. 1983. *Introducción al estudio teórico de la Geografía*. Ariel. Barcelona.
- Von Bertalanffy, L. 1966. *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México.

# *Propuesta de validación parcial de modelos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares mediante análisis de sensibilidad*

Pablo Barreira González,  
Francisco Aguilera Benavente y  
Montserrat Gómez Delgado

## **Resumen**

La geosimulación de los procesos urbanos ha cobrado especial importancia en los últimos años, como herramienta para desarrollar metodologías y procedimientos que nos permitan estimar el impacto que el crecimiento urbano provocará en el futuro. Concretamente, los modelos basados en autómatas celulares (AC) son los que más difusión han tenido, dada su capacidad para reproducir la tendencia y las características intrínsecas de estas dinámicas. En el presente trabajo se presenta una alternativa a esta forma tendencial de entender la simulación, utilizando estos modelos para desarrollar alternativas de futuro (escenarios). Los resultados obtenidos, sin embargo, no pueden validarse de forma total, dado que no contamos con datos reales de futuro con los que contrastarlos. En este contexto, se presenta un modelo de simulación de crecimiento urbano basado en AC para la Comunidad de Madrid, que pretende simular un escenario futuro de sostenibilidad. La aportación de este trabajo consistirá en realizar propuestas alternativas de validación parcial del modelo para dar mayor robustez a unos resultados que no pueden ser contrastados con datos reales y así reducir el riesgo asociado a la toma de decisiones sobre la urbanización del territorio.

**Palabras clave:** Simulación crecimiento urbano, autómatas celulares, validación parcial, análisis de sensibilidad, Comunidad Autónoma de Madrid.

## **Abstract**

In recent years, geosimulation of urban processes has become important as a tool to develop methods and procedures that allow us to estimate the future impact of urban growth. In particular, cellular automata (CA) based models have been aired

more than others due to their ability to reproduce tendencies and the intrinsic characteristics of that dynamism. In this work, we present an alternative to this way of simulation, using these models to develop future alternatives (scenarios). Nevertheless, the obtained results cannot be totally validated because there are no real future data to contrast with. In this context, we present an urban growth CA based model for the Madrid Community where a sustainable future scenario is expected to be simulated. The contribution of this work consists of making alternative proposals for the model's partial validation to give more robustness to results that cannot be contrasted with real data and then, reduce the associated risk with the landscape urbanization decision making.

**Keywords:** Urban growth simulation, cellular automata, partial validation, sensibility analysis, Madrid Region.

---

**Pablo Barreira González** (pablobarreiragonzalez@hotmail.com); **Francisco Aguilera Benavente** (f.aguilera@uah.es); **Montserrat Gómez Delgado** (montserrat.gomez@uah.es). Departamento de Geografía y Geología, Universidad de Alcalá, Madrid, España.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los cambios de usos del suelo en general, y el crecimiento de los usos urbanos en particular, son dos de los fenómenos más estudiados debido a sus consecuencias sobre el cambio global del planeta. La estimación del impacto de dicho crecimiento y la aplicación de instrumentos de ordenación urbana son de relevante interés para minimizar los daños ocasionados por el desarrollo urbano sobre el entorno, tanto en ámbitos urbanos como rurales (Barredo et al., 2004), procurando así un crecimiento más sostenible.

Es en este contexto donde la combinación de diferentes técnicas, ciencias y metodologías son necesarias para armonizar el desarrollo del territorio. Y es aquí donde la Geosimulación ha mostrado un amplio potencial en este aspecto, ya que permite diseñar y construir modelos espaciales basados en objetos, con el fin de explorar ideas e hipótesis sobre cómo operan los sistemas espaciales (Benenson y Torrens, 2004), combinando elementos de la Matemática Fundamental con la computación, la teoría general de sistemas y evidentemente la Geografía, materializada en su vertiente más actual: las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG).

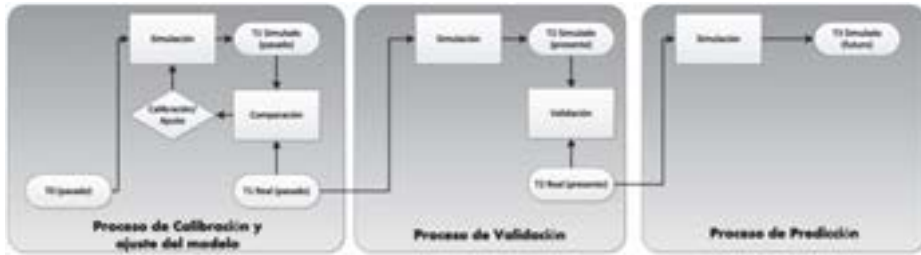
En este sentido, ha surgido una corriente (muy extendida en las últimas décadas) dedicada a la simulación de dinámicas de los usos del suelo. Este tipo de estudios tienen como eje principal los instrumentos de simulación de procesos urbanos, los cuales aportan información de carácter relevante sobre lo que puede ocurrir en un territorio y su posible evolución (Santé et al., 2010), sobre los cambios en los patrones de crecimiento de las ciudades y áreas metropolitanas (Berling-Wolf y Wu, 2004), y cómo estos afectan al paisaje y el territorio donde tienen lugar (Aguilera y Talavera, 2009).

Dentro de la variedad de modelos de simulación de crecimiento urbano disponibles, los modelos basados en autómatas celulares (AC) han sido los más utilizados en las dos últimas décadas para la simulación prospectiva (Batty *et al.*, 1997; White et al., 1997; Barredo et al. 2003; Aguilera et al., 2010; Santé *et al.*, 2010), dada su capacidad para reproducir los comportamientos complejos propios del crecimiento urbano (Torrens, 2000).

Tradicionalmente estos modelos han tenido un enfoque meramente tendencial, siguiendo una metodología similar a la que se muestra en la figura 1. Ésta asume que, tras la calibración del modelo en un espacio de tiempo pasado, será

capaz de reproducir dinámicas pasadas, como demuestra una validación total. Una vez validado el modelo, se proyecta la tendencia observada hacia el futuro.

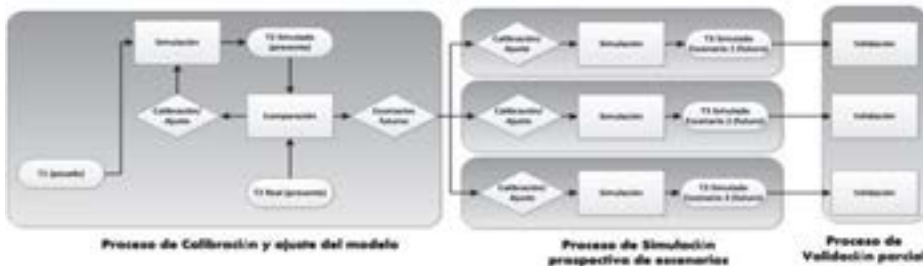
Figura 1. Proceso de simulación con modelos basados en AC.  
La validación se realiza antes de las simulaciones futuras.



En el caso de la simulación del crecimiento urbano, este enfoque predictivo puede resultar algo problemático (Berdoulay, 2009), dado el grado de incertidumbre que lleva asociado este proceso, dependiendo muchas veces de decisiones político-administrativas o situaciones económicas que divergen de las proyectadas.

Por ello, además de poder simular tendencias pasadas y proyectarlas al futuro, es necesario valorar otro tipo de alternativas para mejorar la planificación urbana. Estas alternativas se presentan a través de la generación de escenarios y su integración dentro de los modelos de simulación de crecimiento urbano (Dreborg, 2004). De esta forma se consigue que la planificación pueda ser más efectiva, reduciendo la incertidumbre asociada al fenómeno de crecimiento urbano. El empleo de esta nueva visión debe desembocar en una modificación del proceso de creación de los modelos de simulación de crecimiento urbano, tal y como recoge la figura 2.

Figura 2. Propuesta de simulación-validación para la exploración de escenarios futuros.



En este caso, tras la calibración del modelo, éste se podría ajustar tantas veces como escenarios futuros sean planteados y es aquí donde surge la necesidad de realizar una propuesta diferente para llevar a cabo su validación. Hemos de tener en cuenta que no se dispondrá nunca de una verdad terreno con la que validar nuestros resultados, por lo que resulta imprescindible desarrollar procedimientos que nos permitan testar de algún modo la fiabilidad y robustez de los resultados de cada uno de los escenarios que se planteen.

Uno de los procedimientos considerados más importantes en cualquier proceso de validación es la evaluación de la estabilidad y robustez de los resultados a través de un análisis de sensibilidad (Qureshi, 1999, Paegelow y Camacho, 2008, Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2009). El análisis de sensibilidad (AS) nos permite estudiar cómo la variación de los resultados puede ser atribuida (cualitativa o cuantitativamente) a la variación de las variables y parámetros de partida del modelo (Saltelli et al, 2000). Los resultados de este análisis pueden indicarnos, entre otros aspectos, qué partes del modelo deberían ser mejoradas o a qué datos de partida deberíamos prestar especial atención por su influencia en los resultados (Saltelli, et al., 2008).

Por otro lado, pese al enfoque que tradicionalmente se ha llevado a cabo estudiando la influencia de parámetros implicados en el modelo de forma específica (Ménard y Marceau, 2005; Kocabas y Dragicevic, 2006; García *et al.*, 2011; Pan *et al.*, 2011), se entiende que se debe valorar el conjunto de parámetros y además estudiar qué influencia tiene cada uno en los resultados obtenidos. Para poder estudiar esta influencia, y al tratarse de modelos explícitamente espaciales, es necesario emplear métodos de comparación de mapas. Existen métodos diversos, desde los más tradicionales como la comparación visual y uso de índices estadísticos (Kappa, por ejemplo), hasta otros métodos más novedosos que buscan eliminar la rigidez de la comparación píxel a píxel.

En el presente trabajo se utiliza un AS como procedimiento de validación parcial de simulaciones futuras. Concretamente se aplicará sobre un modelo de simulación de crecimiento urbano basado en AC, desarrollado en la Comunidad Autónoma de Madrid, dentro del proyecto de investigación SIMURBAN<sup>1</sup>. En se-

---

<sup>1</sup> SIMURBAN: análisis y simulación prospectiva mediante Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) del crecimiento urbano actual. Evaluación de sus sostenibilidad. (SEJ2007-66608-C04-00/GE0G). Es posible encontrar más información en [www.geogra.uah.es/simurban/](http://www.geogra.uah.es/simurban/).

gundo lugar, se pretenden explorar varios métodos de comparación de mapas, herramienta imprescindible para evaluar de manera explícitamente espacial los resultados del AS. Así, una vez planteados diversos modelos derivados del inicial, los resultados serán evaluados a partir de métodos tanto tradicionales, como otras propuestas más novedosas. La última aportación consistirá en la elaboración de un mapa que registre las zonas más veces seleccionadas por los modelos para el desarrollo urbano, pues estas zonas serán las más robustas y sobre las que el proceso de planificación debería prestar especial atención.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO Y MATERIALES**

### **2.1. La Comunidad de Madrid.**

La Comunidad de Madrid (figura 3) se ha convertido en uno de los lugares más dinámicos de Europa en las últimas décadas, en lo que a crecimiento urbanos se refiere (Plata Rocha et al., 2010). El aumento de la densidad de población, y en definitiva el crecimiento en número de habitantes per se, constituye uno de los motores activos de la Comunidad de Madrid, alcanzando en 2011 los 6,3 millones de habitantes. Sin embargo, ha sido el contexto económico positivo que experimentó España a finales de los 90 y principios de este milenio (que supuso un aumento de la construcción residencial, la actividad comercial e industrial y que derivó en burbuja inmobiliaria (Burriel, 2011), lo que ha provocado un aumento notable e innecesario del suelo urbano. Este dinamismo se ha traducido, además, en cambios en los patrones de crecimiento urbano con importantes consecuencias sobre la estructura urbana (OSE, 2006).

Aunque actualmente el crecimiento urbano se ha frenado ante el impacto de la crisis económica (Burriel, 2011), la Comunidad de Madrid sigue siendo un territorio interesante para el estudio de las dinámicas urbanas, y especialmente para su simulación contemplando diferentes escenarios a futuro, pues es necesaria una planificación sostenible del territorio que todavía permanece sin urbanizar.



Figura 3. Situación de los usos urbanos en la Comunidad de Madrid, año base del modelo basado en AC: 2000.



## 2.2 El modelo basado en AC.

En la última década, los modelos basados en AC han seguido las premisas expuestas por White et al. (1997). Estos modelos representan de forma discreta tanto el espacio (representación ráster), como el tiempo (Barredo et al., 2003, Aguilera, 2006; Petrov et al., 2009).

Para el presente trabajo se ha empleado como modelo una modificación del diseñado para simular diferentes escenarios de crecimiento urbano en la Aglomeración Urbana de Granada (Aguilera et al., 2010), adaptado a las características específicas de la Comunidad de Madrid. Este modelo, calibrado con los datos del periodo 1990-2000 para el área de estudio, simula el crecimiento de los usos residencial y productivo (superficies comerciales e industriales) entre los años 2000 y 2020, con un tamaño de píxel de 200m de resolución.

El funcionamiento del modelo se rige por las siguientes pautas: para cada lugar del ámbito de estudio (píxel) se estima un potencial de transición ( $P_j$ ) para cada uno de los usos simulados, de forma que en cada iteración del modelo se tienden a transformar en zonas urbanas los píxeles con mayor potencial de transición. Este potencial se calcula a través de la combinación de los cuatro factores habitualmente presentes en este tipo de modelos de simulación: vecindad, accesibilidad, aptitud y un parámetro aleatorio.

El factor **vecindad** estima la influencia (atracción o repulsión) que tiene en cada píxel los usos que tengan los píxeles vecinos, de forma que, por ejemplo, evite la localización de nuevas zonas industriales muy próximas a zonas residenciales existentes. Por otro lado la **aptitud** pretende determinar la capacidad que tiene cada píxel para albergar un uso urbano, dadas sus características geográficas: pendiente, altitud, distancia a hidrografía, etc. La **accesibilidad** calcula para cada píxel la capacidad de acceso a la red viaria y a otros equipamientos y servicios básicos. Finalmente el modelo cuenta con un parámetro de **aleatoriedad** o estocástico que pretende reproducir la incertidumbre con la que se producen los crecimientos urbanos.

Este modelo posee la flexibilidad necesaria para simular diversos escenarios, siendo además adaptable a la representación de diferentes patrones o formas de crecimiento (Aguilera et al, 2011). En el caso de la propuesta de AS planteada, se empleará uno de los escenarios de crecimiento urbano propuesto por el grupo de expertos involucrados en el proyecto SIMURBAN. Se trata del escenario de "innovación y sostenibilidad", el cual pretende establecer un equilibrio entre los factores sociales, económicos y medioambientales, para generar un crecimiento sostenible con el territorio. En comparación con el crecimiento registrado en la Comunidad de Madrid en el periodo de calibración del modelo, el escenario reduce el crecimiento residencial un 17% y un 25% el crecimiento de superficie de uso productivo.

### 3. MÉTODOS

La propuesta metodológica se basa en la aplicación de un AS que permitirá determinar cómo los resultados se ven influenciados por los factores que interactúan en el modelo basado en AC. Para ello, se elaborarán diferentes versiones del modelo inicial, recogiendo en cada caso una combinación diferente de los factores que lo integran (tabla 1) pero simulando todos la misma cantidad de píxeles que se transformarán en zonas urbanas,. Así pues, las variaciones que podremos observar entre resultados atenderán únicamente a la localización de los crecimientos simulados.

Tabla 1. Relación de factores implementados en cada modelo derivado del inicial. MODELOS M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 PARÁMETROS Aleatoriedad

MODELOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
PARÁMETROS								
Aleatoriedad								X
Vecindad	X	X	X		X			X
Accesibilidad	X	X		X		X		X
Aptitud	X		X	X			X	X

Como se puede observar, la aleatoriedad únicamente se recoge en el modelo completo M8, dado que este factor no es estable. Estos modelos se ejecutarán y se compararán los resultados obtenidos para cada uso entre sí. En este caso el modelo que tomaremos como referencia será el M1 que incluye la totalidad de factores estables a excepción de la aleatoriedad (no estable).

### 3.1 Métodos de Comparación de Mapas.

Dentro de las diversas metodologías de comparación de mapas existentes, podemos decir que coexisten dos vertientes: la primera recoge los métodos más tradicionales, que se basan en la comparación píxel a píxel de los mapas; la segunda recoge otros métodos que, normalmente empleados para otros fines, son a nuestro juicio una fuente de información relevante para valorar las diferencias de patrones de crecimiento simulados y que además permiten una mayor flexibilidad de la evaluación de los resultados.

En este caso consideramos que el empleo de ambos tipos de procedimientos puede darnos una visión de conjunto detallada sobre la influencia de cada factor en los resultados y dotar a los mismos de mayor robustez. Como métodos tradicionales se ha decidido emplear la comparación visual y el porcentaje de coincidencia (ver tabla 2). En cuanto a los métodos empleados para otro tipo de fines, se ha decidido explorar las posibilidades que ofrecen la aplicación de áreas de influencia o *buffers* y la utilización de métricas espaciales o *spatial metrics*.

La comparación visual nos permitirá entender a grandes rasgos cómo varían los resultados ofrecidos por el modelo de forma general en función de los factores introducidos, así como observar tendencias espaciales fruto de los mismos.

Por otro lado, el porcentaje de coincidencia es un índice calculado a partir de los píxeles coincidentes entre dos mapas, en función del total de píxeles simulados.

Los llamados *buffers* permiten generar zonas de influencia alrededor de los píxeles de nueva creación en el modelo que se tome como referencia en la comparación. Estas zonas se añaden a la superficie de crecimiento generada por el modelo en cuestión, de forma que al comparar los resultados de otro modelo con los de éste, se pueda determinar qué cantidad de píxeles caen dentro del área de influencia.

Estas áreas de influencia se han empleado con éxito en otros ámbitos, teniendo su origen en la utilización de la banda épsilon para verificar la exactitud de la cartografía de elementos lineales. Algunos autores han desarrollado procesos para medir la exactitud de la posición de elementos lineales, basados en la generación de este tipo de corredores (Goodchild y Hunter, 1997, Tveite y Langaas, 1999).

Es evidente que cuanto mayor sea el buffer, mayor será la coincidencia de resultados entre el modelo de referencia y el modelo a comparar. Por ello, y basándonos en el trabajo realizado por Tveite y Langaas (1999), se propone el empleo de dos *buffer* a 1.000 y 2.000m de distancia de los resultados generados por el modelo M1. Hemos de advertir que se compara solamente la superficie simulada de cada uso, no teniendo en cuenta la superficie preexistente en el año 2000, dado que aumentarían tanto los porcentajes de coincidencia, que sesgarían los resultados, impidiendo determinar correctamente las diferencias entre los distintos modelos ensayados.

Por otro lado las métricas espaciales (Herold et al, 2005) se han empleado con éxito en muy diversos ámbitos de estudio para estudiar los diferentes patrones de ocupación urbana (Irwin et al, 2007; Aguilera et al, 2011; Wu et al, 2011; Sun et al, 2013), e incluso para la comparación de los resultados de simulaciones (Petrov et al, 2009). Estas métricas permiten medir las características espaciales y morfológicas de las diferentes ocupaciones urbanas a través de un conjunto de valores numéricos. Dentro de las diferentes métricas que se pueden aplicar (ver Mcgarigal et al, 2002), se han escogido las más relevantes para el estudio. Así, el PN permitiría determinar el número de teselas de cada uso pudiendo valorarse su grado de fragmentación o agregación. El SHAPE\_MN por su parte permitirá conocer la forma de las teselas y finalmente el ENN\_MN determinará la distancia media entre

teselas, como una medida de la dispersión.

Las métricas señaladas se calcularán para la superficie total urbana resultado de la simulación, esto es, la superficie preexistente del uso en el año 2000 más la superficie simulada en el año 2020, ya que el interés de estas métricas es el de valorar los patrones de ocupación urbana resultantes y para ello necesitamos evaluar la superficie total del uso.

Tabla 2. Cuadro resumen de métodos de comparación empleados.

METODO		APLICACION
Comparación Visual		Visualización de todos los mapas resultado de los modelos y comparativa entre los mismos
Porcentaje de Coincidencia		Porcentaje de píxeles del uso simulado coincidente entre modelos
Buffer	1000m	Porcentaje de píxeles del uso simulado que caen dentro de los <i>buffer</i> generados sobre los píxeles simulados por el modelo de referencia
	2000m	
Métricas espaciales	NP	Número de teselas (píxeles contiguos del mismo uso), nos indica la fragmentación/agregación del uso
	SHAPE_MN	Índice de forma media, aporta información en relación a la forma de las teselas.
	ENN_MN	Distancia media entre teselas, señala la dispersión o concentración de un uso.

### 3.2. Mapa de las zonas más veces seleccionadas para el desarrollo urbano

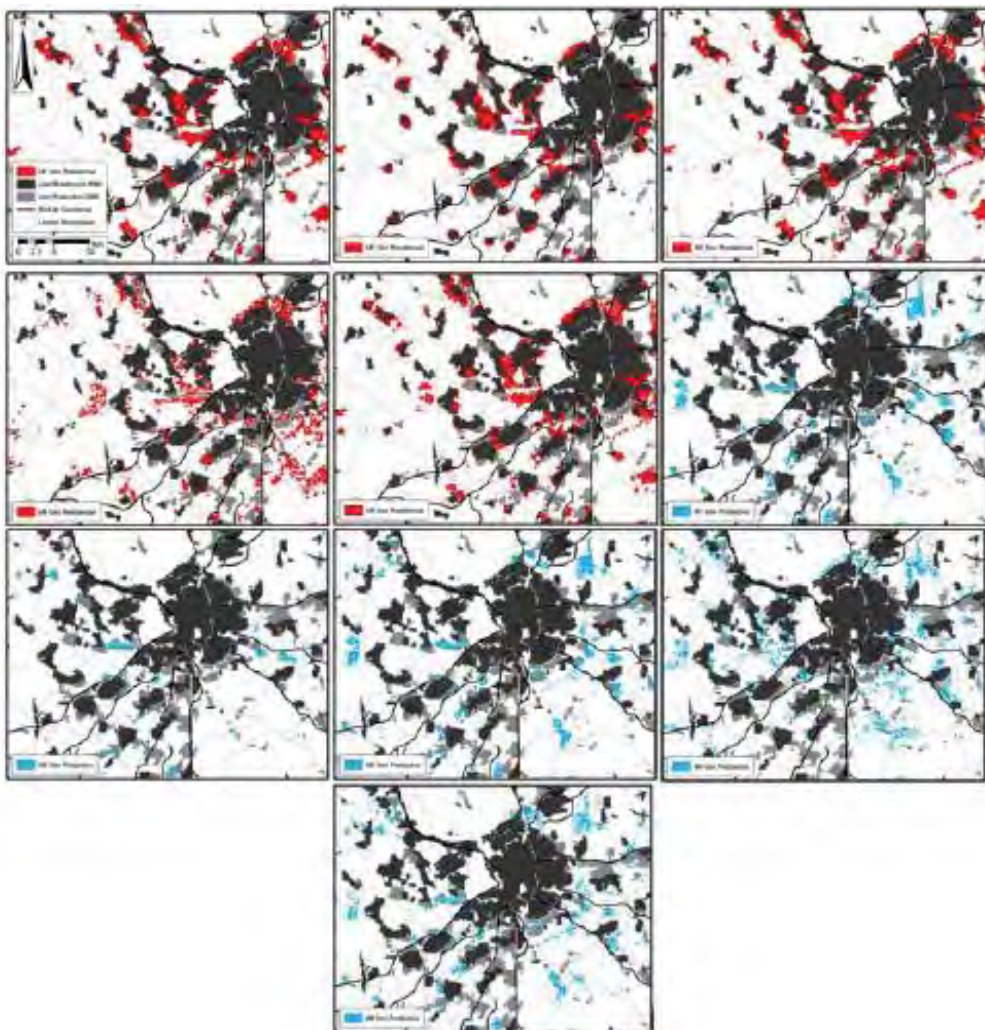
Finalmente es posible localizar aquellas zonas del territorio que sistemáticamente, e independientemente de las variaciones realizadas en el modelo, son seleccionadas como nuevas zonas a urbanizar en un mayor número de simulaciones. Se trataría, por tanto, de los resultados más estables y robustos, y, en cierto modo, nos estaría indicando que son las zonas que poseen una mayor tendencia a ser urbanizadas. Para ello se utilizará la cartografía de los píxeles más veces seleccionados (Lodwick, 1989; Lowry *et al.*, 1995; Canters *et al.* 2002, Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2004). De esta forma, un mapa que refleje los píxeles más repetidos en las simulaciones podrá derivar en una mejora significativa de la planificación urbana, disminuyendo el riesgo y la incertidumbre asociada a la toma de decisiones en este ámbito concreto.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Comparación visual.

Una vez ejecutados los modelos, se han obtenido para cada uno dos mapas, uno que muestra la situación tras la simulación del uso residencial para el año 2020 y otro que refleja la situación para esa misma fecha del uso productivo. En la figura 4 aparecen los resultados más representativos.

Figura 4. Detalle de algunos de los resultados más relevantes generados los modelos derivados del inicial.



Podemos constatar que los modelos M8 y M1 son muy similares (con algunas leves diferencias en el uso productivo), estando sus diferencias principales en localizaciones aisladas generadas principalmente por la aleatoriedad. Además M3 se muestra bastante similar a estos modelos lo que puede indicar que la accesibilidad no está teniendo un efecto especialmente relevante en los resultados.

Por otro lado, se observa que M2 se diferencia más de los dos modelos anteriores (M8 y M1), adoptando en el caso del uso residencial otro patrón de crecimiento (tendencia circular), mientras que para el uso productivo las grandes formaciones de nuevas zonas comerciales e industriales dan lugar a emplazamientos más diseminados y fragmentados. En el caso de M4, los resultados parecen estar mucho más fragmentados que M1, dado que se elimina la vecindad y el modelo tiende a localizar los nuevos crecimientos en las zonas con mayor aptitud.

Con esta primera aproximación visual es posible hacerse una idea general de las principales diferencias entre los modelos, pero será necesario algún tipo de apoyo matemático que complemente esta información y nos permita cuantificar las diferencias diversos resultados.

#### **4.2. Porcentaje de coincidencia y *Buffers*.**

A continuación se muestran los porcentajes de coincidencia derivados de la comparación neta de cada uno de los resultados de los modelos con el modelo M1 de referencia. Además se recoge el porcentaje de coincidencia entre el área de influencia generado por el *buffer* (1.000 y 2.000m) del modelo de referencia y los resultados del resto de modelos (tabla 3).

Es necesario advertir que la superficie preexistente en el año 2000 en los dos usos estudiados es del orden de entre 2 y 3 veces superior en comparación con la superficie generada por la simulación. Dada esta situación, la comparación como se indicó en el apartado 3 se realizará teniendo en cuenta solamente la superficie simulada para 2020.

Tabla 3. Porcentajes de coincidencia de los resultados generados entre los modelos derivados y M1, donde PC es el porcentaje de coincidencia, B1000 es el buffer a 1.000m y B2000 es el buffer a 2.000m.

Modelo	PC	PC+B1000	PC+B2000	PC	PC+B1000	PC+B2000
M2	37,12	69,56	84,45	40,71	78,39	84,88
M3	90,52	99,67	99,96	93,46	99,57	99,65
M4	40,00	69,04	81,68	22,56	64,96	82,99
M5	37,03	69,56	84,48	40,79	78,62	85,04
M6	5,59	36,68	54,54	21,73	51,26	68,90
M7	39,76	68,67	81,18	22,32	67,09	83,27
M8	81,14	98,17	99,50	74,92	97,44	98,94

El modelo que presenta mayor similitud con M1 es M3, donde la coincidencia alcanza porcentajes superiores al 90% en ambos usos. Esto parece indicar que la accesibilidad no está influyendo excesivamente en los resultados, como mostraba la comparación visual. Además se demuestra que los resultados que no coinciden de forma directa se encuentran dentro del primer *buffer*, es decir, muy próximos a los resultados de referencia (más de 99,5% de coincidencia).

En segundo lugar, el modelo M8 es el segundo con mayor similitud espacial con M1. La aplicación del primer *buffer*, nos señala que los resultados debidos a la aleatoriedad no coinciden espacialmente con los de M1 píxel a píxel, pero sí a una cierta distancia de estos (1.000m). Podemos afirmar pues, que la aleatoriedad localiza los resultados en las proximidades de los ofrecidos por M1, formando el resto de píxeles que no entran en el segundo *buffer* un tipo de crecimiento aislado. Por otro lado el M2, donde se elimina la aptitud, alcanza una coincidencia espacial del 40% aproximadamente en ambos usos, valores que aumentan hasta colocarse en el segundo *buffer* entorno al 85%. Se comprueba que al no incluir este factor, los píxeles de nuevo crecimiento se situán lejos de los preexistentes. Estos resultados son prácticamente idénticos a los recogidos en la comparación con M5. Además, en el caso de M4 ocurre algo similar, siendo los resultados muy parecidos. El efecto es un poco más evidente para el uso productivo. En la misma línea de resultados se encuentra el modelo M7.

En cuanto al modelo M6, al incluir solamente la aleatoriedad, se demuestra



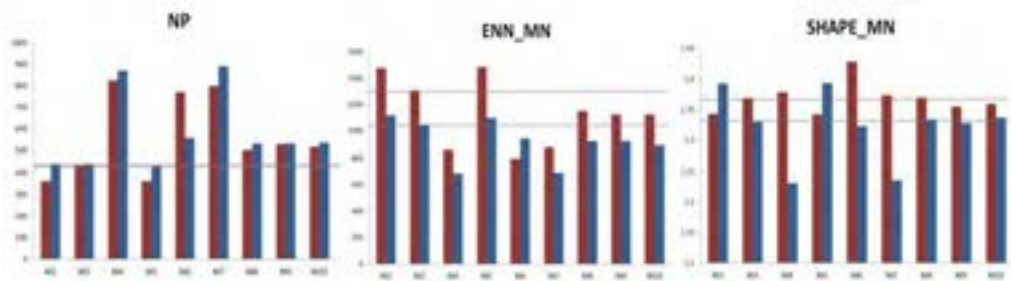
la importante influencia de los parámetros de vecindad y aptitud en los resultados del modelo.

### 4.3. Métricas espaciales (*Spatial Metrics*)

Los modelos que más se asemejan el patrón de crecimiento del modelo de referencia M1 son M3 y M8. Se comprueba que la aleatoriedad o la accesibilidad poco influyen en la definición del patrón de crecimiento asociado a este escenario. La única diferencia remarcable puede estar en la distancia entre teselas, dado que la aleatoriedad daba lugar a crecimientos aislados, por ello el ENN\_MN para M8 dista levemente del M1.

Por otro lado, se aprecia cómo la aptitud genera resultados más fragmentados en el uso productivo, por ello su eliminación hace que descendan los valores de PN en M2 con respecto a M1; las formas son más compactas y se disminuye la dispersión, dados los valores altos en ENN\_MN. Para el uso productivo, las formas son más complejas, pero la dispersión y fragmentación/agregación son similares a las de M1.

Figura 5. Valores obtenidos para las métricas espaciales en los modelos empleados. En azul para el modelo productivo y rojo el residencial. La línea discontinua recoge el valor para el modelo de referencia M1



En el caso de la vecindad, su exclusión en M4 puede ser el más llamativo por las diferencias en los resultados en ambos usos. La fragmentación es muy superior al modelo de referencia (del orden del doble). Las formas del uso productivo son más próximas a círculos, registrándose valores muy próximos a la unidad en el índice SHAPE\_MN. Además, al aumentar la fragmentación, disminuye la distancia media entre teselas, (ver ENN\_MN). Luego se puede decir que la vecindad fomenta la agregación, lo que resulta algo lógico, dada la naturaleza de este parámetro.

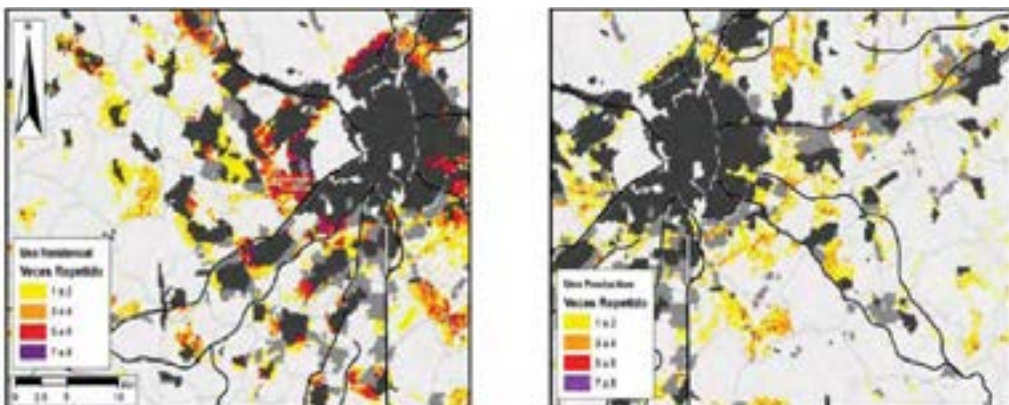
Además genera resultados más dispersos, dado que su eliminación crea teselas más próximas. La eliminación conjunta de vecindad y accesibilidad (M7) aporta los mismos resultados prácticamente que M4, mostrando otra vez la poca influencia de la accesibilidad. La acción conjunta entre aptitud y vecindad (eliminados en M6) muestra los resultados más dispares.

#### 4.4. Localización de los resultados más estables a partir de la cartografía de los píxeles más veces seleccionados.

En la figura 6 se recogen los emplazamientos de nuevo crecimiento generados por los 8 modelos, en función del número de veces que estos han sido seleccionados en dichos modelos. En el caso del uso residencial parece existir una fuerte tendencia en el modelo a localizar en el entorno más inmediato del núcleo urbano de Madrid los nuevos emplazamientos, además de tender a ocupar los espacios intersticiales entre los diferentes núcleos urbanos próximos entre sí. Es ahí donde se recogen los valores más altos de coincidencia (entre 5 y 8 veces seleccionados).

Por otro lado, el uso productivo sigue una tendencia diferente, al generarse una menor cantidad de crecimiento para 2020 en comparación con el residencial. Para este uso observamos pocas zonas seleccionadas por todos o casi todos los modelos, estando el principal punto común en ciertas zonas cercanas a otros núcleos industriales y/o comerciales ya existentes y próximos o en línea con las vías de comunicación principales.

Figura 6. Zonas más veces recogidas por los modelos como resultado simulado a futuro



## 5. CONCLUSIONES

Pensamos que en el presente trabajo ha quedado demostrado que es necesario y posible establecer propuestas alternativas de validación de aquellos modelos que pretenden realizar simulaciones futuras plausibles y/o deseables, y cuyos resultados no pueden ser contrastados y verificados con datos reales. La aplicación de un sencillo AS ha aportado información interesante y valiosa sobre la influencia de cada uno de los factores incluidos en el modelo sobre la estabilidad de sus resultados. Por otra parte nos ha permitido detectar posibles deficiencias en el tratamiento y modelación de alguno de estos factores. Concretamente parece que el factor de accesibilidad no está resultando apenas influyente, pues su eliminación en el modelo no provoca cambios sustanciales en los resultados (M3). Sin embargo, se trata de un factor que tradicionalmente ha sido determinante en la creación de nuevos desarrollos urbanos. Será necesario revisar el tratamiento que de él se ha hecho para que resulte de mayor influencia en los resultados, tal y como sería esperable.

En cuanto a las propuestas para llevar a cabo la evaluación de los resultados del AS, la aplicación de la metodología tradicional de comparación de mapas (comparación visual y coincidencia píxel a píxel) permite tener una visión general y valiosa de las diferencias a grandes rasgos entre los modelos presentados. Sin embargo, la aplicación de áreas de influencia o buffers demuestra que la comparación píxel a píxel puede ser demasiado rígida y poco apropiada para evaluar los resultados de la simulación de este tipo de fenómenos (dinámica urbana), y que resulta razonable incorporar cierta flexibilidad en la coincidencia de los resultados. Además, las métricas espaciales han demostrado que su aplicación y comparación entre modelos puede proporcionarnos claves interesantes para entender cómo varían los patrones de crecimiento en función de los factores introducidos en el modelo.

Por otro lado se ha comprobado que dependiendo del método de comparación de mapas seleccionado es aconsejable el uso de la superficie simulada solamente o la total en la comparación de los resultados. Así, por ejemplo en el caso concreto de las métricas espaciales, es necesario emplear la superficie total para conocer los patrones resultado de la simulación.

Por último la cartografía de los píxeles más veces seleccionados nos ha permitido identificar de manera sencilla aquellas zonas con más tendencia a de-

sarrollarse según el modelo y escenario planteados. Es importante que estos emplazamientos sean tenidos en cuenta a la hora de realizar nuevas planificaciones urbanas en este entorno, dado que parecen ser las más robustas para albergar los nuevos usos simulados por el modelo. En este caso concreto, hemos podido comprobar que los resultados para el uso residencial son, en términos generales, bastante robustos y estables. Sin embargo, la localización de usos productivos resulta más incierta, lo que debería obligarnos a revisar la estructura de este modelo y la modelación de las variables que forman parte del mismo y prestar especial atención a la hora de planificar estas zonas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera Benavente, F., 2006: "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares". *GeoFocus*, 6: pp. 81-112.
- Aguilera Benavente, F. y Talavera García, R., (2009): "Valoración de escenarios futuros a través de la conectividad del paisaje", *Observatorio Medioambiental*, 12, pp. 17-36.
- Aguilera Benavente F, Plata Rocha W, Bosque Sendra J, Gómez Delgado M, 2009: "Hacia la simulación de escenarios futuros de demanda de ocupación de suelo en ámbitos metropolitanos", in *Proceedings of II Internacional Conference on Sustainability Measurement and Modelling*, 1-21, Terrassa, España.
- Aguilera Benavente, F.; Valenzuela Montes, L.M. y Bosque Sendra, J., (2010): "Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de Granada a través de modelos basados en Autómatas Celulares", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 54, pp. 271-300.
- Aguilera Benavente, F.; Valenzuela Montes, L.M.; y Botequilha-Leitão, A., (2011): "Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitana area", *Landscape and Urban Planning*, 99, pp. 226-238.
- Barredo, J.; Kasanko, M.; McCornick, M. y Lavalle, C., (2003): "Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through celular automata", *Landscape and Urban Planning*, 64, pp. 145-160.

- Barredo, J.I.; Demicheli, L.; Lavalle, C.; Kasanko, M. y McCormick, N., (2004): "Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, pp 65-84.
- Batty, M. y Xie, Y. (1997): "Possible Urban Automata", en Besussi, E y Cecchini, A (Ed): *Artificial Worlds and Urban Studies*. Venezia, DAEST, pp 153-164.
- Benenson, I. y Torrens, P., (2004): *GEOSIMULATION: Automata-based modelling of urban phenomena*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Erdoulay, V. (2009). La historia de la Geografía en el desafío de la prospectiva. *Boletín de la A.G.E.* 51: 9-23
- Berling-Wolf, S. y Wu, J., (2004): "Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA", *Urban Ecosystems*, 7, pp. 215-240.
- Burriel, E.L. (2011). Subversion of land-use plans and the housing bubble in Spain, *Urban Research & Practice*, Vol.4, No.3, pp. 232-249.
- Canters, F. y Genst, W. De y Dufourmont, H. (2002): "Assessing effects of input uncertainty in structural landscape classification", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.16, No.2, pp. 129-149.
- Dreborg 2004. Scenarios and Structural Uncertainty: Explorations in the Field of Sustainable Transport. PhD thesis. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- García, A.M.; Santé, I.; Crecente, R. y Miranda, D. (2011): "An analysis of the effect of the stochastic component of urban cellular automata models", *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, pp. 286-296.
- Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2004): "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones", *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, p. 179-208. ISSN: 1578-5157
- Gómez Delgado, M y Bosque Sendra, J. (2009): "Validation of GIS-performed analysis", *Geoinformatics for Natural Resource Management*, NOVA Science Publisher (ISBN 978-160692-211-8), pp. 559-571, New York (USA)

- Goodchild, M.F. y Hunter, G.J. (1997): "A simple positional accuracy measure for linear features", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.11, No.3, pp. 299-306.
- Herold, M; Couclelis, H, y Clarke K.C. (2005) "The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change". *Computer and Environment Systems*, nº 29, p. 369-399.
- Irwin, E.G. y Bockstael, N.E. (2007): "The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation", *Proc Natl Acad Sci U S A*. December 26; 104(52): 20672–20677.
- Kocabas, V., y Dragicevic, S., (2006): "Assessing cellular automata model behavior using a sensitivity analysis approach", *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, pp. 921–953.
- Lodwick, W. (1989): "Developing confidence limits on errors of suitability analysis in GIS", en Goodchild, M.F. y Gopal, S. (Eds.): *The Accuracy of Spatial Databases*. London, Taylor & Francis, pp.69-78.
- Lowry, J.H; Miller, H.J. y Hepner, G.F. (1995): "A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/US border", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 61, No.11, pp. 1347-1359.
- Ménard A. ; Marceau, D.J. (2005): "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata". *Environment and Plan. B*, 32 (2005), pp. 693–714
- OSE, Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006): *Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad*. Alcalá de Henares, OSE.
- Paegelow, M. y Camacho, M.T (2008): *Modelling Environmental Dynamics*. Berlin, Springer-Verlag.
- Pan, X.Z. y Zhao, Q.G. (2011): "Measurement of urbanization process and the paddy soil loss in Yixing city, China between 1949 and 2000". *CATENA*. Volume 69, Issue 1, 16 January 2007, Pages 65–73

- Petrov, L., Lavalle, C., y Kasanko, M. (2009): "Urban land use scenarios for a tourist region in Europe: Applying the MOLAND model to Algarve, Portugal", *Landscape and Urban Planning*, 92, pp. 10-23
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M. y 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 (Artículos)*, nº 10, p. 103-134. ISSN: 1578-5157.
- Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. 2011. "Simulating urban growth scenarios using GIS and Multicriteria Evaluation techniques: a case study of the Madrid Region, Spain", *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.38, 1012-1031.
- Qureshi, M.E., 1999. *Development and Implementation of a Decision Support Process for Sustainable Catchment Management*. PhD thesis, The University of Queensland, Brisbane.
- Santé, I., García, A.M., Miranda, D. y Crescente, R., (2010): "Cellular autómatas models for the simulation of real world urban processes: A review and analysis", *Landscape and Urban Planning*, 96, pp. 108-122.
- Saltelli, A., Chan, K. y Scott, E.M., (2000): *Sensitivity Analysis*. Chichester, John Wiley & sons.
- Saltelli, A, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni, D. Gatelli, M. Saisana, S. Tarantola (2008): *Global Sensitivity Analysis. The Primer*; John Wiley and Sons.
- Sun, C.; Wu, Z.; Lv, Z.; Yao, N. y Wei, J (2013): "Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data" *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 21. Pp. 409-417
- Tveite, H. y Langass, S. (1999): "Accuracy assessments method for geographical line data sets based on buffering", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.13, No.1, pp. 27-47.

- Torrens, P.M., (2000): "How cellular models of urban systems work". London, WP-28. Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London.
- White, R., Engelen, G., y Uljee, I., (1997): "The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land use dynamics", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, pp. 323-343.
- Wu, J.; Jenerette, G.D.; Buyantuyev, A. y Redman, C.L. (2011): "Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States" *Ecological Complexity*; vol 8. pp. 1-8.



# *Monitoreo con SIG de la calidad de la atmósfera urbana para la gobernanza local: el caso de Madrid*

Rosa Cañada Torrecilla y  
Antonio Moreno Jiménez

## **Resumen**

Las políticas locales están demandando estudios de evaluación periódicos para determinar si la evolución urbana es positiva o negativa, desde diferentes principios o perspectivas como el de los desequilibrios espaciales. Tal es el caso de Madrid, donde anualmente se realiza un examen de los mismos, incluyendo los aspectos de polución atmosférica, dada su repercusión en facetas como la salud ciudadana, la sostenibilidad, la justicia ambiental, etc.

En esta contribución se presenta una actividad de asesoramiento municipal en esa línea desde la universidad, que implica análisis abundantes basados en geotecnologías. Como ilustración se describe someramente la metodología y los resultados para valorar las desigualdades intraurbanas en tres contaminantes importantes (NO<sub>2</sub>, ozono y PM<sub>10</sub>). Para ello se aplican técnicas de interpolación espacial a datos registrados en las estaciones para estimar la polución en el área urbana; los resultados luego se sintetizan por distritos municipales, base para la comparación y la toma de decisiones.

**Palabras clave:** desequilibrios urbanos / polución atmosférica / interpolación espacial / gobernanza urbana / Madrid.

## **Abstract**

Local policies are requesting periodical assessments to elucidate whether urban evolution is positive or negative, according to different principles or points of view, such as the spatial disequilibria one. This is the case of Madrid, where on a yearly basis it is performed an exam of them, including issues such as atmospheric pollution, provided that it affects to human health, sustainability, environmental equity, etc.

In this contribution it is exposed a consulting activity made from the university, involving lots of geotechnologies based analysis. As an example, it is described here the

methods and main results to assess the intraurban inequalities in outstanding air pollutants (NO<sub>2</sub>, ozone and PM<sub>10</sub>). To this end, using data registered in sampling stations, spatial interpolation is applied to estimate the pollution for the whole urban area; the results are then summarized for municipal districts, as a basis for comparison and decision taking.

**Keywords:** urban disequilibria / atmospheric pollution / spatial interpolation / urban governance / Madrid.

---

**Rosa Cañada Torrecilla** (rosa.canada@uam.es); **Antonio Moreno Jiménez** (antonio.moreno@uam.es). Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, España. Este trabajo se ha elaborado parcialmente en el marco del proyecto de investigación "Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica", financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, referencia CSO2011-26177.

## 1. INTRODUCCIÓN

El contexto de actual gobernanza local aparece caracterizado por algunos rasgos singulares que conviene recordar: información sobre las ciudades más abundante y de mejor calidad, mayores posibilidades de compartirla entre los agentes interesados (*stakeholders*) a través de las redes de comunicaciones, superior sensibilidad ciudadana hacia los problemas del municipio, disponibilidad de cauces más eficaces para la participación ciudadana en los procesos de formación de decisiones públicas, crecientes relaciones, bien de competencia, bien de cooperación, entre ciudades (en línea con los postulados del marketing territorial), requerimientos más intensos desde organismos internacionales (e. g. la UE) para aplicar protocolos de evaluación de distintas facetas de las ciudades, de difusión de los resultados obtenidos y de diseño y puesta en marcha de políticas y acciones que mejoren la realidad presente (e. g. medidas correctivas o de impulso), etc. Todo ello está haciendo brotar unas necesidades de seguimiento periódico del estado y evolución urbanas en aspectos como por ejemplo la calidad de vida, la situación social, el desenvolvimiento de las actividades económicas, el medio ambiente, etc.

En consecuencia, cada vez más los gobiernos locales están asumiendo que, de cara a avanzar por la senda del desarrollo, no solo las fórmulas a medio y largo plazo, como el planeamiento urbano tradicional o los planes estratégicos, sino también los planes sectoriales y las actuaciones de menor alcance y la gestión urbana deben entenderse, concretarse y evaluarse desde principios importantes socialmente compartidos. La asunción de tales principios, sobre los que remitimos a otros trabajos (*vid.* Moreno y Vinuesa, 2009), implica una permanente labor de análisis sobre las diversas facetas de la ciudad, de cara a disponer de informes fundados sobre el estado y evolución de las mismas, a establecer la convergencia-divergencia de la ciudad respecto a los principios del desarrollo, a orientar decisiones mejor, a evaluar ex post los logros de políticas y actuaciones, etc. Sobre tales premisas cobra sentido la contribución que desde la Geografía cabe realizar, por su acreditada labor de estudio sobre las ciudades, desde la complementariedad de las perspectivas sectorial e integral u holista.

Esa capacidad de la disciplina ha sido fortalecida e impulsada sobre todo desde el advenimiento de las geotecnologías, las cuales están haciendo posible desarrollar una "inteligencia del territorio basada en TIG", que ofrece como resultado "conocimiento espacial" útil de manera ágil, rigurosa y asequible para los agentes y *stakeholders* urbanos. Como una materialización de esta sugerente línea de

aplicación de las TIG, en esta contribución se describe una experiencia actual, desarrollada mediante una colaboración del Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid con el Observatorio Económico del Ayuntamiento de Madrid, en la que se aborda periódicamente el examen y valoración de los desequilibrios y reequilibrios en dicha ciudad.

En el apartado siguiente se describe someramente la actividad desarrollada, para exponer después un ejemplo de los datos tratados, los análisis ejecutados y los resultados obtenidos, concretamente el concerniente a la calidad del ambiente atmosférico. Tras ello se realiza un balance y conclusiones acerca de esta ilustrativa experiencia de análisis geográfico urbano orientado a la gobernanza local.

## **2. LA ACTIVIDAD DE MONITOREO DE LOS EQUILIBRIOS Y REEQUILIBRIOS INTRAURBANOS DE LA CIUDAD DE MADRID**

Como en otro lugar hemos señalado (Moreno y Vinuesa, 2009), el concepto de desequilibrio alude a desigualdades y desajustes territoriales negativamente connotados, los cuales deben distinguirse del término más general y "aséptico" de diferencias espaciales, que simplemente revela contrastes, sin juicio de valor explícito, y que por ende podrían resultar bien positivos y valiosos, bien negativos. Los desequilibrios son la consecuencia de dinámicas muy heterogéneas en las que concurren factores varios - unos de índole físico-natural, otros de origen humano -. Como resultado de ellas se conforman estructuras espaciales que poseen unas implicaciones (negativas o positivas), a veces importantes. Ciertos procesos, en su decurso, ocasionan la diferenciación espacial, en tanto que otros pueden mostrar una mayor propensión a reducir las desigualdades y a uniformar el territorio. Cuando tales desigualdades comportan consecuencias indeseables o graves, se habla de desequilibrios y brota la necesidad de diagnosticarlas, prevenirlas o corregirlas mediante actuaciones (e.g. políticas, planes, etc.).

El gobierno municipal de la ciudad de Madrid ha manifestado desde hace varios años una preocupación acerca de la situación y evolución de los desequilibrios intraurbanos a través del Observatorio Económico (<http://www.esmadrid.com/es/observatorio-economico>), una unidad de análisis especializada en la elaboración e impulso de estudios sobre la realidad económica y territorial del municipio. En ese contexto, y junto con especialistas de otros campos y entidades, desde mediados de la pasada década un equipo de investigación de la Universidad Autónoma de Madrid ha podido colaborar en el análisis de los desequilibrios-reequilibrios de Madrid. La voluntad inicial estribaba en disponer de evaluaciones periódicas de

los mismos, considerando un espectro muy amplio de facetas urbanas, lo que dio lugar a informes extensos basados en más de cien indicadores (vid. Cuadrado et al., 2005; Moreno y Vinuesa, 2009). En fechas recientes y por diversas razones, los estudios se han redimensionado dando lugar a documentos más compactos, aunque manteniendo su vocación de abordar una gama básica de dimensiones de la ciudad (vid. Moreno et al., 2011 y 2012).

El destino primero y, por ende, las utilidades inmediatas de este seguimiento anual de la ciudad estriban en que sus resultados sean conocidos y manejados por la Dirección General de Participación Ciudadana, órgano municipal responsable de encauzar las relaciones con las organizaciones vecinales de cara a la formación de los "planes de barrio". Éstos son instrumentos de intervención integral en partes selectas de la ciudad, que resultan de la negociación entre Ayuntamiento y representantes ciudadanos. Los análisis realizados por nuestro equipo buscan dar una visión sintética acerca de si globalmente tales planes (que son además individualmente evaluados) generan cambios positivos, es decir, una reducción de las desigualdades en el conjunto de la ciudad. A tal fin los informes son puestos simultánea y gratuitamente a disposición de políticos, expertos y ciudadanos en general a través de una publicación periódica (*Barómetro de Economía de la Ciudad de Madrid*<sup>1</sup>). Se trata por tanto de una expresión genuina de la sociedad del conocimiento, con la que se persigue ayudar a la evaluación de decisiones locales que palién los desequilibrios intraurbanos detectados en diversas facetas urbanas (e.g. en la calidad del aire urbano).

Los informes realizados en la actualidad adoptan como unidad espacial los distritos municipales, por cuanto conforman divisiones administrativas territoriales relevantes para la formación de decisiones, por lo que el diagnóstico valorativo ha de atenerse a esa escala. Ello no obsta para que, en el curso del análisis, se elaboren y obtengan resultados con una mayor desagregación espacial, si bien finalmente han de sintetizarse y presentarse a ese nivel.

Las facetas tratadas en los estudios más recientes conciernen a la composición de la población, nivel socioeconómico, vivienda, actividad económica, transporte y accesibilidad, y medio ambiente. Para cada una de ellas se obtiene un conjunto de indicadores representativos (alrededor de veinte), los cuales son cartográficas y gráficas. A través de los resultados se trata de desvelar en qué

<sup>1</sup> Descarga en el portal: <http://www.esmadrid.com/es/portal.do?IDM=137&NM=3&TR=C&IDR=2032>

medida las desigualdades entre los distritos pueden ser interpretadas en términos de desequilibrios intraurbanos que incidan sobre varios principios de evaluación importantes: la calidad de vida ciudadana, la competitividad urbana, la sostenibilidad, la cohesión, la equidad territorial y la justicia ambiental. En el aspecto ambiental concretamente se examinan los niveles medios anuales de concentración de contaminantes en la atmósfera urbana (dióxido de nitrógeno, ozono y  $PM_{10}$ ), cuyo tratamiento se describe más adelante.

Pues bien, desde la óptica de la elaboración técnica de los mencionados informes, resulta procedente señalar aquí que, aparte de una importante labor de recopilación de datos, en la que la colaboración de los propios servicios del Ayuntamiento resulta sobresaliente, el tratamiento y análisis de la información ha de basarse y de manera muy intensa en los SIG y diversas técnicas de análisis estadístico-espacial. Para ciertos indicadores, como es el caso de la valoración de las desigualdades intraurbanas en la contaminación atmosférica, el proceso reviste un interés, a nuestro juicio, que justifica su presentación aquí como una ilustración de las potencialidades que las TIG proporcionan para el asesoramiento regular a los gobiernos locales de forma asequible y sistemática. A ello se dedican los apartados siguientes.

### 3. LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES: LA CALIDAD DEL AIRE

Desde el punto de vista de los desequilibrios espaciales, el examen periódico de la contaminación atmosférica urbana resulta pertinente por cuanto ésta incide en varios de los principios anteriormente reseñados como relevante; en particular, la sostenibilidad, **la calidad de vida y el bienestar humano, junto con la justicia ambiental**, están directamente condicionados por esa calidad del aire. Las diferencias intraurbanas pueden ocasionar además serias penalizaciones a ciertas áreas y subpoblaciones de la ciudad que deben desvelarse. De otra manera, la mayor o menor **polución está también asociada a la desigual eficiencia con que funcionan ciertas actividades dentro del espacio urbano** (por ejemplo, el transporte o los sistemas de calefacción).

Ahora bien, la valoración de la contaminación atmosférica urbana mayoritariamente se basa en los datos muestrales registrados por las estaciones de una red de calidad del aire que deja amplios espacios sin cubrir y no permiten una apreciación de las condiciones ambientales del conjunto de la ciudad. Para informar con

mejor fundamento a los responsables del gobierno local, se precisa abordar primero una estimación de la contaminación en todo el espacio poblado del municipio, para elaborar después una síntesis por unidades administrativas territoriales (e.g. los distritos municipales), que facilite la apreciación de los logros globales de las actuaciones municipales que inciden en el medio ambiente urbano.

Los contaminantes atmosféricos más significativos para analizar y evaluar la calidad del aire que se están utilizando son el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ) y las partículas en suspensión inferiores a  $10 \mu$  ( $\text{PM}_{10}$ ) correspondientes al año 2011; otros examinados con anterioridad, como el  $\text{SO}_2$ , no resultan en estos momentos preocupantes. Pues bien, esos tres contaminantes experimentaron problemas en ese año para cumplir los objetivos fijados por la normativa vigente, ya que presentaron superaciones de los valores límite horario y anual de protección a la salud humana. El objetivo de las políticas de los países es conseguir un medio ambiente en el que el nivel de contaminación no dé lugar a efectos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, y en el que los grupos de población más vulnerables estén protegidos.

Actualmente se están desarrollando políticas a nivel europeo entre las que destacan el Sexto Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente (6PAMA), la Estrategia sobre Medio Ambiente y Salud, el Plan de Acción 2004-2010 de la UE, el proceso paneuropeo de Medio Ambiente y Salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, que es la norma europea más reciente que regula la evaluación de la calidad del aire y establece los niveles de los contaminantes que son más relevantes por sus efectos en la salud humana, que son precisamente los tres que se estudian en este trabajo (véase tabla 1). Directiva Europea incorporada a nuestra legislación mediante el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero.

Tabla 1. Valores límites de la calidad del aire

<i>CONTAMINANTES</i>	<i>VALOR LÍMITE DIARIO</i>	<i>VALOR LÍMITE ANUAL</i>	<i>VALOR OBJETIVO AÑO 2010-2012</i>
Dióxido de nitrógeno $\text{NO}_2$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 18 ocasiones al año	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Ozono $\text{O}_3$	<i>Umbral de información a la población:</i> 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ valor medio de 1 hora. <i>Umbral de alerta:</i> 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ valor medio de 1 hora		120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Medio octohoraria máxima en un día). No podrá superarse más de 25 días al año como promedio de tres años
Partículas $\text{PM}_{10}$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 35 veces al año	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Fuente. Directiva 2008/50/CE y RD 102/2011.

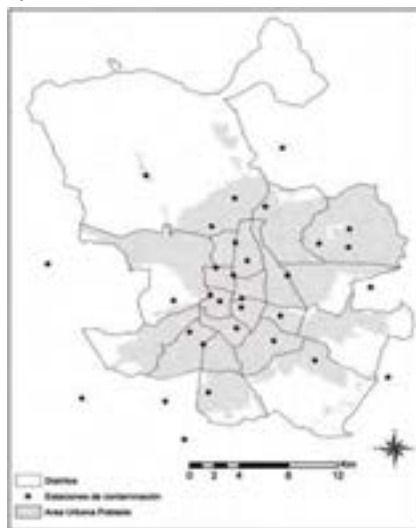
Los umbrales propuestos por la WHO (*World Health Organization*) son menos tolerantes, el límite anual del NO<sub>2</sub> coincide con el de la legislación europea, pero en las PM<sub>10</sub> no debe superar los 20 µg/m<sup>3</sup> y en el ozono el límite ha descendido a 100 µg/m<sup>3</sup> de media en 8 horas; además en el último Informe de la WHO (2013) se recomienda endurecer estos valores, todavía más, por los efectos negativos de la contaminación en la salud humana.

#### 4. DATOS Y METODOLOGÍA

El ámbito de interés es el municipio de Madrid, pero dada la prioridad sobre los efectos adversos de la contaminación en la población, se ha circunscrito el análisis exclusivamente a la zona urbana poblada, eliminando las partes no urbanas o despobladas. Para ello, a partir de diversas fuentes (Corine Landcover 2006 e imágenes aéreas recientes) se realizó una identificación de zonas claramente no residenciales, que fueron excluidas del área estricta de estudio. Estas operaciones se apoyaron en la tecnología SIG (ArcGIS). La figura 1 muestra lo que conforma el "área urbana" (AU) de Madrid y las estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire utilizadas.

Los datos utilizados corresponden a la media anual de cada contaminante en el año 2011 de las estaciones de medición de la ciudad de Madrid. Como estas eran escasas se han añadido algunas estaciones de la Comunidad de Madrid, próximas al municipio (figura 1).

Figura 1. Localización espacial de las estaciones de contaminación y área urbana





Para disponer de información continua de cada contaminante sobre la totalidad del espacio urbano (AU), se ha recurrido a la aplicación de técnicas de predicción espacial o técnicas de interpolación, práctica muy habitual en estudios de variables ambientales (Babak y Deutsch, 2009), mediante la utilización de la extensión *Geostatistical Analyst de ArcGIS*, versión 10.1. El objetivo de la interpolación es detectar el modelo espacial de un fenómeno, estimando valores de zonas donde no hay información a partir de datos muestrales (Diem y Comrie, 2001). El resultado final es un mapa que muestra la distribución espacial del contaminante analizado. Dado que la polución es muy variable, espacial y temporalmente, un análisis más preciso hubiera requerido datos muestrales más abundantes y representativos espacialmente de la contaminación atmosférica, para hacer viable el uso de modelos de difusión / dispersión a escalas grandes, i.e. a nivel de vías y plazas públicas.

Las estimaciones realizadas con la interpolación se han exportado a capas raster con una resolución de 200 m. Con la extensión *Spatial Analyst* y mediante *Raster Calculator* se han recortado para ajustarlas a los límites de la zona urbana poblada. En una fase posterior, los datos por píxeles se promediaron para cada distrito lo que ha permitido determinar la calidad ambiental media en los diferentes distritos de la ciudad y estudiar las desigualdades entre ellos.

El método de interpolación finalmente utilizado ha sido el inverso de la distancia (IDW), uno de los que se emplea con mayor frecuencia, por la facilidad de su cálculo y porque no requiere ninguna asunción previa de los datos, pero sobre todo, porque proporciona menores errores en la predicción de los contaminantes. Combina el concepto de proximidad con el de cambio gradual de la superficie de tendencia. Es definido como la media ponderada por el inverso de la distancia dentro de una determinada forma de búsqueda de vecindad. La fórmula para su cálculo es:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(s_i)$$

donde  $Z(s_0)$  es el valor que se intenta predecir para el lugar  $s_0$ ,  $N$  es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán tenidos en cuenta en la predicción,  $\lambda_i$  es el peso asignado a cada punto muestral que se va a usar. Estos pesos decrecen con la distancia y  $Z(s_i)$  es el valor observado del lugar  $s_i$ .

La fórmula para determinar los pesos es:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{j=1}^N d_{j0}^{-p}$$

A medida que la distancia se hace más grande, el peso es reducido por un factor  $p$ . Es decir, que según se incrementa la distancia entre los puntos observados y el punto calculado, el peso que tendrá un punto muestral sobre el predicho **decrecerá potencialmente**;  $d_{i0}$  es la distancia entre el lugar de predicción  $s_0$  y cada lugar muestral,  $s_i$ . Los pesos de los lugares utilizados para la predicción serán escalados de tal forma que su suma sea 1, es decir,

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

El óptimo valor de  $p$  se determina haciendo mínimo el error de predicción o error cuadrático medio (RMSE en inglés), que tiene la siguiente fórmula:

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$$

El *Analista Geoestadístico* de ArcGIS, que es la extensión utilizada para realizar estos cálculos, emplea potencias más grandes que 1. Por defecto se usa  $p = 2$ , que se conoce como distancia inversa al cuadrado (Cañada, 2007).

Otra cuestión importante es determinar el número de vecinos a tener en cuenta para calcular el valor predicho. Esto dependerá del tipo de datos y de la **superficie que se intente crear**. Por defecto el *Analista Geoestadístico* establece 15 vecinos y un mínimo de 10. Sin embargo los investigadores no se ponen de acuerdo, unos aconsejan entre 3 y 7 vecinos, otros entre 6 y 9 y algunos un número inferior a 6 (Babak y Deutsch, 2009). Al ser el IDW muy sensible al número de vecinos y al valor de  $p$  es importante cuidar la elección de estos parámetros.

En el caso de la interpolación de los tres contaminantes del municipio de Madrid, los parámetros aplicados en cada caso, han sido diferentes, siempre buscando aquellos valores que producían un menor error cuadrático medio y una media de los errores más reducida. La forma de búsqueda de vecindad ha sido un círculo, aunque dividido en un número de sectores diferentes pero con idénticas dimensiones del eje, porque el modelo utilizado ha sido el isotrópico (véase tabla 2). Se ha buscado el óptimo valor de  $p$ .

Tabla 2. Parámetros utilizados en la interpolación con IDW y resultados de la validación cruzada (crossvalidation)

<i>Contaminante</i>	<i>Nº Estaciones</i>	<i>Nº vecinos Max./Mín.</i>	<i>Forma vecindad</i>	<i>Dimensiones Eje en m</i>	<i>Óptimo Valor de p</i>	<i>Media errores</i>	<i>RMSPE</i>
NO <sub>2</sub>	32	7/3	Círculo 8 sectores	10.343	1	1,6	9,1
O <sub>3</sub>	21	10/4	Círculo 4 sectores	10.343	1,16	-0,96	6,2
PM <sub>10</sub>	19	9/3	Círculo 4 sectores	10.343	1,81	0,0	3,2

Fuente. Elaboración propia.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo de distribución espacial de los tres contaminantes en el municipio de Madrid es diferente. Si se considera el dióxido de nitrógeno, la mayor parte del espacio incumple la normativa legal vigente; no sucede lo mismo con las PM<sub>10</sub> y el ozono. A continuación se examina el patrón espacial estimado de cada contaminante y las diferencias por distritos.

### 5.1. El patrón espacial del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

La media de los datos estimados por el modelo de interpolación es bastante cercana a la de los datos observados. En ambos casos el valor medio de la red ha superado el máximo legal (40 µg/m<sup>3</sup>). El valor máximo pronosticado es un poco más bajo y el mínimo un poco más alto. Destaca la menor variabilidad de los valores pronosticados (2,5 frente a 9,3), porque el objetivo de la técnica es hacer mínimo el error de la predicción (tabla 3).

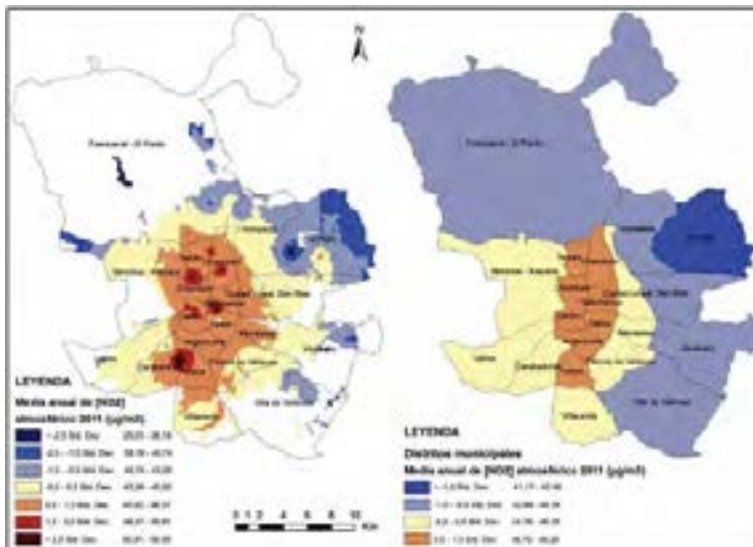
El patrón de distribución espacial del NO<sub>2</sub> muestra que la mayor parte del municipio rebasa el valor límite anual permitido por la ley (40 µg/m<sup>3</sup>). Los valores más altos se registraron en las zonas de mayor tráfico: eje Castellana-Recoletos hacia el sur y glorieta de Fernández Ladreda. Únicamente algunos enclaves del norte, donde hay nuevos desarrollos urbanos, este y sureste (ensanche de Vallecas) se han mantenido en niveles inferiores al valor límite anual, representados en tonos azules en el mapa (véase figura 2 izqda.).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los datos observados y pronosticados de concentración media anual de NO2 en 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Madrid

<i>ESTADÍSTICOS</i>	<i>DATOS OBSERVADOS</i>	<i>DATOS PRONOSTICADOS</i>
Media	43,2	44,63
Des. típica	9,3	2,5
Máximo	63	57,9
Mínimo	23	25,03

Fuente. Elaboración propia.

Figura 2. Distribución espacial de la concentración atmosférica de NO2 en 2011 y su distribución por distritos



Los factores que explican esta mala calidad del aire, mencionados en otra publicación (Cañada, 2012) tienen que ver, por un lado, por la alta densidad de tráfico rodado en el centro urbano, y entre el centro y la periferia, donde se ubican los nuevos desarrollos urbanísticos, y por otro lado, por el tipo de arquitectura urbana, con vías estrechas, encajonadas; sin olvidar que un clima con frecuentes episodios de calma atmosférica y baja precipitación, como es el de Madrid, no ayuda a la dispersión de la contaminación.

Las desigualdades entre los valores por distritos son pequeñas (coeficientes de variación y de convergencia sigma de 0,04 y 0,05 respectivamente). Se ob-

serva que los niveles más altos de NO<sub>2</sub> se producen en una franja N-S que ocupa el interior y el ensanche y se prolonga hasta la periferia meridional, y el nivel más bajo corresponde a un distrito del E, Barajas. Los niveles medio-bajos engloban a un conjunto de distritos del N, E y SE de Madrid (véase figura 2 dcha.).

La clasificación de los valores por distrito en cuatro intervalos, muestra una clara asimetría negativa y un patrón concéntrico. El mayor número de distritos se concentra en el intervalo superior, con valores por encima de 46,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiendo a ocho distritos del centro y del ensanche. En torno a la media (45,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se congrega otro subconjunto de distritos (en concreto siete) que conforman un arco alrededor de los distritos centrales. El valor más alejado de la media constituye el intervalo inferior, donde se ubica el distrito de Barajas.

El NO<sub>2</sub> es un contaminante que afecta a la salud, inhibiendo algunas funciones de los pulmones como la respuesta inmunológica, disminuyendo así la resistencia a infecciones.

## 5.2. El patrón espacial del ozono (O<sub>3</sub>)

El ozono es un contaminante secundario que se forma a partir de una serie de reacciones fotoquímicas en las que intervienen la radiación solar, el NO<sub>2</sub> y los compuestos orgánicos volátiles (COV) cuando se dan unas condiciones meteorológicas adecuadas, en concreto, en presencia de temperaturas elevadas; esto aclararía por qué los niveles más altos se registran en las tardes de verano. La actividad humana es la principal responsable de los precursores (NO y COV) de este contaminante. La molécula de ozono es muy reactiva y tiende a descomponerse en las zonas en las que existe una alta concentración de monóxido de nitrógeno (NO), lo que explica por qué su presencia es más baja en el centro de las grandes ciudades que en los cinturones metropolitanos o en las áreas rurales circundantes. Por otro lado, el ozono también se ve implicado en fenómenos de transporte atmosférico a grandes distancias por lo que origina problemas de contaminación transfronteriza.

Los estadísticos calculados a partir de datos observados para el conjunto de la red son bastante parecidos a los estimados, sobre todo, la media y el valor mínimo. El valor máximo estimado se ha recortado un poco, pasando de 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 55,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De nuevo la desviación típica de los valores estimados es más reducida que la de los observados (véase tabla 4). Se recuerda que se ha interpolado el valor medio anual de este contaminante, a pesar de no estar legislado como

indicador.

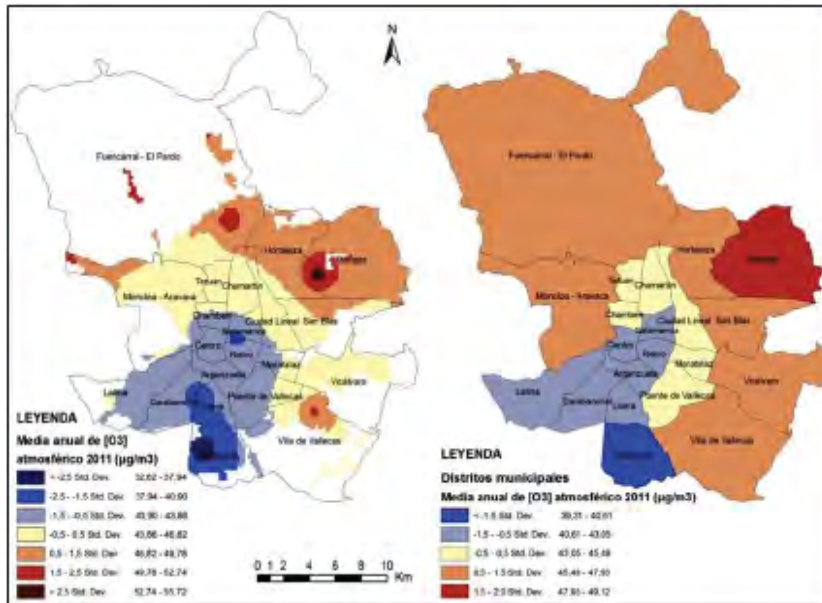
Tabla 4. Estadísticos descriptivos de los datos observados y pronosticados de concentración media anual de  $O_3$  en 2011 ( $\mu g/m^3$ )

<i>ESTADÍSTICOS</i>	<i>DATOS OBSERVADOS</i>	<i>DATOS PRONOSTICADOS</i>
Media	45,49	45,3
Des. típica	6,4	2,9
Máximo	60	55,7
Mínimo	32	32,6

Fuente. Elaboración propia.

La observación de la figura 3 izquierda permite constatar los siguientes aspectos: la zona con menores valores de ozono, se sitúa en el centro-sur de Madrid, con cifras inferiores a  $43,8 \mu g/m^3$ ; desde ahí los valores crecen hacia la periferia norte-noreste, donde se alcanzan los  $55,7 \mu g/m^3$ . Este modelo es el inverso al mostrado por el  $NO_2$ , la razón está en las especiales características del  $O_3$  como contaminante secundario descritas con anterioridad; son los barrios con menor tránsito de vehículos y con más espacios verdes los que tienen peor calidad del aire según este indicador, ya que en esas zonas escasean las emisiones de óxidos de nitrógeno, que son los que al reaccionar con la molécula de ozono la hacen desaparecer.

Durante 2011 cinco de las catorce estaciones que miden  $O_3$  registraron más de 25 superaciones del valor límite legal. Y hubo tres estaciones (Juan Carlos I, Tres Olivos y Barajas Pueblo) que tuvieron superaciones del umbral de información a la población ( $180 \mu g/m^3$  durante una hora), rebasado el cual, la autoridad competente está obligada a avisar puntualmente a la población, informando sobre las medidas de protección a tomar, especialmente a los colectivos más vulnerables. El modelo de distribución espacial del  $O_3$  por distritos muestra una configuración en la que los distritos con niveles más altos ocupan una corona periférica que se extiende por el O, N, E y SE del municipio, mientras que los distritos centrales, del ensanche y del SO exhiben niveles menores (véase figura 3 derecha). El valor medio de todos los distritos ha sido de  $45 \mu g/m^3$  y los coeficientes de variación y de convergencia sigma de 0,06. Se trata de una situación contrapuesta a la del  $NO_2$ .

Figura 3. Distribución espacial de la concentración atmosférica de O<sub>3</sub> en 2011 y su distribución por distritos

El mayor número de distritos (33%) se concentran en el intervalo que se sitúa una desviación típica por debajo de la media, con valores que oscilan entre 40,61 y 43,05 µg/m<sup>3</sup> (corresponden al centro y sur del municipio). En el intervalo de la media, entre 43,05 y 45,49 µg/m<sup>3</sup>, se agrupan el 28,5 % (algunos del centro y ensanche) y el mismo porcentaje se sitúa a una desviación típica por encima de la media (son distritos periféricos del municipio). Los extremos están marcados por Villaverde (39,31 µg/m<sup>3</sup>) de un lado y Barajas (49,12 µg/m<sup>3</sup>) del otro (véase figura 3 derecha).

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar todo un cuadro de enfermedades pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías se incrementan un 0,3 % y un 0,4 % respectivamente con un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de ozono. La respuesta a la exposición de este contaminante puede variar mucho entre individuos por razones genéticas, edad y por la presencia de afecciones respiratorias como alergias y asma, cuyos síntomas son exacerbados por el ozono. El impacto de este tipo de polución es elevado en la calidad de vida y bienestar de los ciudadanos, y concierne también a la sostenibilidad y la justicia ambiental.

### 5.3. El patrón espacial de las $PM_{10}$

Las partículas en suspensión (aerosoles) son elementos sólidos o líquidos dispersos en el aire de origen natural (partículas de arena o tierra levantada por el viento, incendios forestales, erupciones volcánicas, sal marina) o artificial (partículas de combustión tanto industrial como urbana o residencial, emisiones industriales, tráfico, minería, cementeras, humo de tabaco, empleo de aerosoles, etc.). No se trata de un contaminante único y homogéneo, sino de un conjunto de contaminantes de muy diversa naturaleza, tanto en su tamaño como en su composición. Las partículas sólidas suelen ser de origen mineral (sílice) u orgánico. En ambientes urbanos, donde la principal fuente de emisión es el tráfico, tienen mucha importancia las partículas de carbono procedentes de los humos de los motores diésel, debidas a una combustión incompleta que, además, tienen mucha capacidad para ensuciar y decolorar las superficies de los diversos materiales de los edificios. Asimismo, también se trata de partículas de origen animal o vegetal, bacterias, hongos, polen, etc. Las partículas líquidas están constituidas por pequeñas gotitas de agua. Desde el punto de vista medioambiental se consideran dos fracciones de partículas en suspensión diferenciadas por tamaño que, por otra parte, tienen diferentes orígenes y efectos sobre la salud de las personas expuestas: son las fracciones de partículas menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ) y de 2,5 micras ( $PM_{2,5}$ ). En nuestros estudios se utiliza el primer indicador, por disponer de una red de medición más amplia.

La legislación vigente establece dos tipos de valor límite de contaminación por  $PM_{10}$  para la protección de la salud humana: un valor límite anual y un valor límite diario. En cuanto al primero de ellos, no debe exceder los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo la Organización Mundial de la Salud recomienda no superar los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para una adecuada protección de la salud humana.

El valor límite diario de  $PM_{10}$  está fijado en  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que según la legislación actual no debe superarse más de 35 días al año. En 2011 ninguna estación registró superaciones, si se descuentan en el cómputo anual las contribuciones de fuentes naturales, tal como prevé la legislación.

Los valores de  $PM_{10}$  del año 2011 indican que todas las estaciones están lejos del límite establecido por la normativa de la UE. Sin embargo, 11 de las 12 estaciones que miden  $PM_{10}$  superaron el valor límite anual recomendado por la OMS, así como el valor medio de la Red, que alcanzó los  $24,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La proximi-



dad entre los estadísticos descriptivos de los valores pronosticados respecto a los observados es una prueba de la fiabilidad del ajuste realizado (tabla nº 5).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los datos observados y pronosticados de concentración media anual de  $PM_{10}$  en 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<i>ESTADÍSTICOS</i>	<i>DATOS OBSERVADOS</i>	<i>DATOS PRONOSTICADOS</i>
Media	24,21	23,8
Des. típica	3,6	1,7
Máximo	30	29,9
Mínimo	19	19

Fuente. Elaboración propia.

El examen de la distribución espacial estimada de este contaminante pone de manifiesto dos zonas donde se dan las mayores concentraciones de  $PM_{10}$ ; una corresponde a barrios del centro y sur de la ciudad y otra al extremo este-sureste, en torno a Vicálvaro y Vallecas (figura 4 izquierda). Las razones que explican esta disposición son, por un lado la alta densidad de tráfico de algunos de esos barrios, alrededor del Paseo de la Castellana, Glorieta de Gregorio Marañón y Cuatro Caminos; y por otro lado, además del tráfico (Glorieta de Fernández Ladreda), hay que mencionar que en otros casos son ámbitos con una pobre cobertura vegetal, con grandes espacios de suelos secos (Villa de Vallecas y Vicálvaro), más fácilmente erosionables y expuestos todo el año a la acción del viento que levanta gran cantidad de polvo en suspensión.

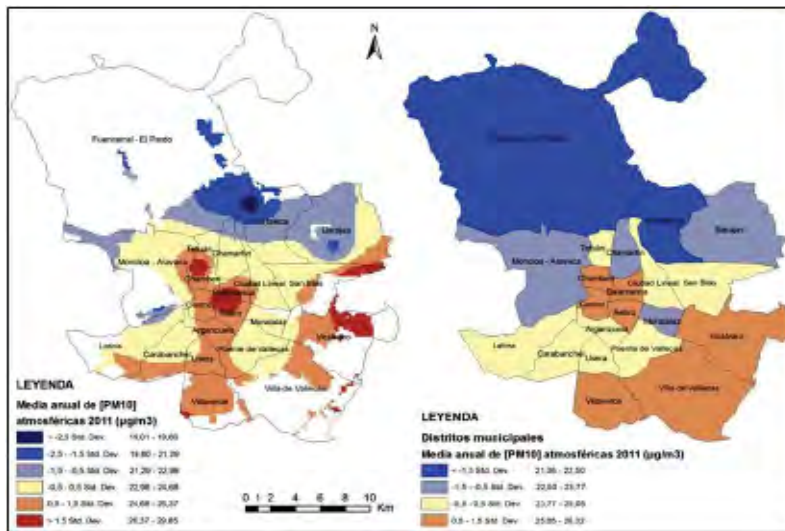
El valor medio de este indicador por distritos en 2011 es de  $24,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sus coeficientes de variación (0,05) y de convergencia sigma (0,08) son muy reducidos lo que indica una poca variabilidad entre distritos.

La agrupación de los datos en cuatro clases (figura 5 dcha.) refleja la coincidencia de la moda y de la media en el mismo intervalo ( $23,8-25,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) donde se concentran el 38% de los distritos. El 33% de los mismos está entre la media más una desviación típica ( $25,05-26,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El tramo más bajo está representado por Fuencarral-El Pardo y Hortaleza. La distribución presenta una ligera asimetría negativa.

El mapa por distritos muestra una persistencia del patrón espacial de este indicador en la ciudad (vid. figura 4 dcha.). Se observan dos zonas más desfavorecidas con superior concentración de partículas, una corresponde a los distritos de la zona centro (Chamberí, Salamanca, Centro y Retiro) y la otra a distritos del S y SE (Villaverde, Villa de Vallecas y Vicálvaro). Los distritos con menor concentración de partículas, que corresponden a zonas con menos tráfico y más espacios verdes, se localizan en el O-NO (Moncloa-Aravaca y Fuencarral-El Pardo), N y E (Chamartín, Hortaleza, Barajas).

Este indicador incide sobre el bienestar y la calidad de vida porque la alta concentración de PM10 en la atmósfera afecta a la salud ciudadana, incrementando la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, e incluso puede reducir la esperanza de vida. También concierne a la justicia ambiental porque se ha apreciado que algunos distritos del S con niveles altos de partículas son los que poseen además rentas más bajas (Cañada *et al.*, 2011).

Figura 4. Distribución espacial de la concentración atmosférica de PM10 en 2011 y su distribución por distritos



## 6. BALANCE Y CONCLUSIONES

El seguimiento de los logros de las políticas urbanas está requiriendo de evaluaciones *ex post* con un alto contenido geográfico. A tal fin, las administraciones territoriales se están sensibilizando del valor que aporta ese conocimiento,

cuya generación precisa, en muchos casos, recurrir a técnicas y geotecnologías de cierta sofisticación, pero cuya potencia posibilita abordar cuestiones complejas, tales como la de dirimir si las estructuras urbanas avanzan hacia escenarios más o menos equilibrados.

Como ilustración del conocimiento producido con geotecnologías (SIG) para tales fines se han mostrado aquí algunos análisis que regularmente se ejecutan para evaluar las desigualdades dentro del municipio de Madrid, mediante el concurso de técnicas de interpolación, que permiten generar una superficie continua de información ambiental con la que caracterizar las distintas zonas de la ciudad.

Metodológicamente se ha empleado la técnica del *Inverso de la Distancia* (IDW) con modelo isotrópico, aplicando distintos parámetros según cada contaminante. En próximos trabajos se utilizará el modelo anisotrópico con variaciones en sus parámetros, que está consiguiendo mejorar un poco la bondad de ajuste de los resultados.

El patrón espacial de cada contaminante resulta diferente. La calidad del aire en cuanto al  $\text{NO}_2$  es mala en casi toda la superficie urbana, salvo pequeños enclaves periféricos por el oeste, norte y noreste del Municipio; son los distritos con mayor tráfico los que presentan peor situación. Un patrón contrapuesto al anterior exhibe el  $\text{O}_3$ , son las zonas con menor densidad de tráfico y más espacios verdes las que soportan tasas más elevadas de contaminación por ozono. En cuanto al análisis de las  $\text{PM}_{10}$  vuelven a ser los distritos del centro, sur y este los que más sufren las consecuencias de este contaminante, que por otra parte incumplen la normativa marcada por la OMS.

Los parámetros utilizados para ver los desequilibrios entre distritos indican que las diferencias entre ellos, aunque existen, son pequeñas. El  $\text{NO}_2$  y las  $\text{PM}_{10}$  presentan contrastes similares, las diferencias aumentan si se tiene en cuenta al ozono.

En resumen, procede insistir en que este tipo de análisis tiene como finalidad principal ayudar a los políticos y otros agentes sociales a valorar los planes y programas que inciden sobre el medio ambiente urbano, los cuales deben avistar la mejora de la calidad del aire, paliando los desequilibrios e inequidades socio-ambientales entre barrios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cuadrado Roura, J. R., Marcos Calvo, M. A. y Lisbona Fuentes, L. (2005). Reequilibrio territorial. Estudio comparativo. Situación social y económica en la ciudad de Madrid. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, Observatorio Económico.
- Babak, O. y Deutsch, C.V. (2009): "Statistical approach to inverse distance interpolation", *Stoch. Environ. Res. and Risk Assess*, 23, págs.543-553.
- Cañada, R. (2007): "Técnicas de interpolación espacial deterministas y exactas: media ponderada por el inverso de la distancia y funciones de base radial", en Moreno, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de Autoaprendizaje con ArcGIS. Ra-Ma*, págs. 791-819.
- Cañada, R., Vidal, M. J. y Moreno, A. (2011): "Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, 11, págs. 118-154. [http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo6\\_2011.pdf](http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo6_2011.pdf)
- Cañada, R. (2012): *Estimación y Diagnóstico Espacio-Temporal de la Contaminación por Dióxido de Nitrógeno en el Municipio de Madrid (2001-2011)*. Comunicación al XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, CHSS-CSIC, págs.. 265-277. ISBN: 978-84-695-4759-5.
- Barómetro de Economía Urbana (2007): "Equilibrio territorial: Situación y evolución del equilibrio territorial en la Ciudad de Madrid", *Barómetro de Economía Urbana*, 12, abril 2007, Ayuntamiento de Madrid. <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCObservEconomico/BarometroEconomia/2007/Ficheros/Abril/Equilibrio%20territorial.pdf>
- De Mesnard, L. (2013): "Pollution models and inverse distance weighting: some critical remarks", *Computers and Geosciences*, Vol. 52, págs. 459-469.
- Diem, J.E. y Comrie, A.C. (2002): "Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations", *Environmental Pollution*, 119, págs. 99-117.
- Moreno Jiménez, A. y Vinuesa Angulo, J. (2009): "Desequilibrios y reequilibrios intrametropolitanos: principios de evaluación y metodología de análisis", *Ciu-*

dad y Territorio - Estudios Territoriales, LXI, 160, págs. 233-262.

- Moreno, A., Vinuesa, J. y Cañada, R. (2011): Los desequilibrios y reequilibrios intraurbanos en Madrid: diagnóstico 2011, Barómetro de Economía de la Ciudad de Madrid, 30, octubre, págs. 133-168. [http://www.esmadrid.com/recursos/doc/es/Negocio/ObservatorioEconomico/1182573588\\_62201213348.pdf](http://www.esmadrid.com/recursos/doc/es/Negocio/ObservatorioEconomico/1182573588_62201213348.pdf)
- Moreno, A., Vinuesa, J. y Cañada, R. (2012): Los desequilibrios y reequilibrios intraurbanos en Madrid: diagnóstico 2012, Barómetro de Economía de la Ciudad de Madrid, 34, octubre, págs. 81-120. [http://www.esmadrid.com/recursos/doc/es/Negocio/ObservatorioEconomico/1199732380\\_28122012143144.pdf](http://www.esmadrid.com/recursos/doc/es/Negocio/ObservatorioEconomico/1199732380_28122012143144.pdf)
- WHO (2013). REVIHAAP (Review of evidence on health aspects of air pollution). World Health Organization, Regional Office for Europe, págs. 33. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/182432/e96762-final.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf)

# *Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Metodologías de Evaluación Multicriterio (EMC) en la búsqueda de escenarios alternativos para el mejoramiento socio-espacial de las áreas urbanas populares de la Ciudad de Comayagua*

José Luis Palma Herrera

## **Resumen**

La investigación brinda una metodología en base a SIG y EMC como herramientas de apoyo para que el gobierno local mejore la accesibilidad espacial de la población menos favorecida de la ciudad de Comayagua a servicios públicos.

Fases de la aplicación: 1) Obtención de mapas vector: se generan los mapas de todas las centralidades: i) puntuales: centros de salud y centros educativos; ii) lineales: rutas de transporte público. 2) Obtención de criterios: Los vectores se transforman en ráster, de esta manera, se puede trabajar con sus píxeles como unidad de medida y evaluación. La evaluación Multicriterio se realiza con el método WLC. 3) Obtención de criterios: cada centralidad o vector es una "capa temática". Luego se define para cada una las distancias a la centralidad. Se definirán franjas de similar amplitud (metros) alrededor de la centralidad. Los valores de los píxeles para cada franja serían 5, 4, 3, 2 y 1 los píxeles más lejanos. 3) Combinación lineal ponderada (WLC): Al tener todos estos mapas de "nivel de accesibilidad" a cada centralidad o mapa, se superponen o suman con la calculadora. El valor mayor será el de mayor accesibilidad y el de menor valor el de menos accesibilidad. Esta resolución simple luego puede obtener variantes con el método de ponderación por WLC donde previo a la suma de valores se multiplican por un valor ponderado previamente. Pero se aplica posteriormente de haber obtenido los primeros resultados. Este es el MAPA DE ACCESIBILIDAD, es el resultado u objetivo 1. 4) Evaluación del modelo: realizamos una evaluación con criterios de accesibilidad para el cumplimiento de los objetivos del estudio. Si el modelo cumple dichos criterios el objetivo es

alcanzado. En caso contrario, se genera otro modelo territorial para luego aplicar el procedimiento nuevamente hasta llegar al modelo óptimo.

**Palabras clave:** Evaluación Multicriterio; Ordenamiento Territorial; Barrios Populares; Accesibilidad; Criterios de decisión.

---

**José Luis Palma Herrera** (herrer@hotmail.com). Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Facultad de Ciencias Espaciales (FACES), Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio. Boulevard Suyapa, Ciudad Universitaria, F.M., Tegucigalpa, M.D.C., Honduras, Centroamérica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades latinoamericanas han crecido hasta sobrepasar por mucho su capacidad para brindar a los ciudadanos un entorno productivo que ayude a la gestión pública en servicios que cubran necesidades públicas. Se ha llegado a una situación en la cual se hace evidente la carencia de adecuados servicios, un **ineficiente manejo de la educación, salud y vías de comunicación**, lo cual está causando un marcado descenso en el nivel de calidad de vida de la población en áreas metropolitanas y comunidades cercanas. La ya precaria infraestructura se está socavando debido a la presión proveniente de la creciente migración y la proliferación de barrios populares o barriadas marginales en las ciudades.

En este sentido, resulta evidente que, uno de los principales problemas de la gestión gubernamental está dado por el uso de las herramientas de gestión y toma de decisiones. En los últimos años, cada vez es más común utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la toma de decisiones, los cuales pueden brindar información socio-espacial relevante en múltiples dimensiones. A través de la modelización digital es posible apoyar una actividad de racionalidad científica en la planificación territorial.

En conclusión, abordando las comunidades de una ciudad, como una red, las autoridades que formulan políticas de desarrollo pueden lograr un mejor equilibrio espacial en la política y gestión de desarrollo económico. Esto se logrará realizando acciones correctas, y para esto se necesitan las herramientas idóneas **con fines a la toma de decisiones con base científica**. En una política tal, se reconocerá que la satisfacción de las necesidades básicas y el bienestar de la población de las áreas metropolitanas dependen del fortalecimiento de la base económica y la infraestructura social de los asentamientos más necesitados. Y para la toma de decisiones y gestión de tierras, se consideran de gran utilidad las herramientas de administración de información territorial.

## 2. AREA DE ESTUDIO

La investigación de la presente tesis tiene como área de estudio la ciudad de Comayagua cabecera del Municipio y del Departamento homónimo. Ubicado en la zona central de la República de Honduras en Centroamérica.



Figura 1. Mapa No.1 Ubicación geográfica de la Ciudad de Comayagua  
Ciudad de Comayagua



Fuente: elaboración propia.

La ciudad de Comayagua está localizada a unos 594 metros sobre el nivel del mar. Al sur de Comayagua se encuentra Tegucigalpa (80 kilómetros) y al norte la ciudad de San Pedro Sula (165 kilómetros). La ciudad tiene una población de **50,600 habitantes** y la superficie municipal tiene **5,124 kilómetros cuadrados**.

La ciudad de Comayagua está formada por barrios y colonias, como todas las ciudades de Honduras. Y de acuerdo al relevamiento de los servicios básicos de la población y uso del espacio físico del año 2,000 (ver anexo No.1), realizado por la Unidad de Investigación y Estadística Social de la Municipalidad de Comayagua (UIES-COM) y con financiamiento por las naciones unidas, se identificó que los asentamientos humanos con mayor concentración poblacional son; la Colonia 21 de Abril, y los barrios; Arriba, Independencia, Abajo, Cabañas y la Sabana. Como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 1. Barrios y colonias con mayor concentración poblacional. Asentamientos con mayor Concentración Poblacional No. Barrio/Colonia Población %

Asentamientos con mayor Concentración Poblacional			
No.	Barrio/Colonia	Población	%
1	Barrio Arriba	5,547	9.90
2	Barrio Independencia	3,509	6.30
3	Barrio Abajo	3,499	6.20
4	Barrio Cabañas	3,240	5.80
5	Colonia 21 de Abril	3,089	5.50
6	Barrio La Sabana	2,860	5.10

Fuente: Alcaldía de Comayagua, año 2000.

Igualmente, este relevamiento identifico estos barrios como las zonas poblacionales con mayor concentración de unidades habitacionales ocupadas (hacinamiento de viviendas). Los resultados tabulados que demuestran esto son los siguientes:

Tabla 2. Barrios y colonias con mayor concentración de unidades habitacionales ocupadas (viviendas)

Asentamientos con mayor Concentración de unidades			
No.	Barrio/Colonia	Unidades	%
1	Barrio Arriba	1,287	11.0
2	Barrio Independencia	793	6.80
3	Barrio Abajo	766	6.50
4	Barrio Cabañas	720	6.10
5	Colonia 21 de Abril	591	5.00
6	Barrio La Sabana	573	4.90
	<b>Total</b>	<b>4,730</b>	

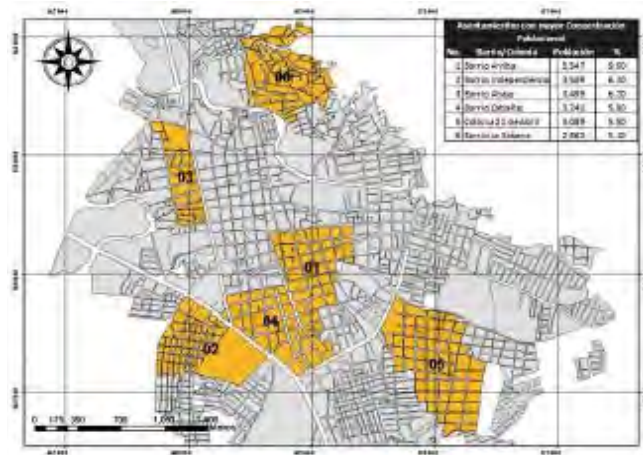
Fuente: Alcaldía de Comayagua, año 2000.

De estas 4,730 unidades habitacionales, el 27.55% (1,303) tiene piso de tierra en sus interiores y el 39.20% tienen por cubierta, techos de teja. Todos los anteriores indicadores muestran que estos barrios poseen características de asentamientos populares o "barrios populares".

Debido a que estos asentamientos se han identificado como "**barrios populares**" podemos deducir que estas zonas residenciales contienen la población urbana con mayor necesidad de servicios para satisfacer sus necesidades básicas. Por ende, y aplicando el principio de "Justicia y Equidad Social"<sup>1</sup>, donde se maneja el axioma de que "los que tienen menos necesitan más", este estudio se centra en esta zonas de la ciudad; para lo cual, los mapas proporcionados por la alcaldía de Comayagua, son los insumos utilizados para generar los modelos territoriales. A continuación se muestra un mapa de estos barrios:

<sup>1</sup> Moreno Jiménez, A. 2006. En torno a los conceptos de equidad, justicia e igualdad espacial. Huellas. La Pampa. Argentina. 11:133-142

Figura 2. Mapa No.2 Barrios y colonias con mayor concentración poblacional de la Ciudad de Comayagua



Fuente: elaboración propia.

### 3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Generar un **modelo territorial** mediante una herramienta de ordenamiento y gestión territorial para crear escenarios que ayuden a distribuir equitativamente y de acuerdo a los más necesitados la oferta de servicios públicos y privados en la ciudad de Comayagua en base a la accesibilidad.

### 4. APLICACIÓN TÉCNICA DEL EMC A CASO COMAYAGUA

La investigación brindara elementos de decisión territorial y, con ello, convertirse en una herramienta de apoyo para que el gobierno local (organismos de planificación) implemente políticas que tiendan a mejorar la accesibilidad espacial de la población de la ciudad de Comayagua. La accesibilidad hacia diferentes "centralidades". Estas centralidades corresponden a servicios e infraestructuras urbanas. A continuación se detallan las fases de la aplicación:

#### a. Obtención de mapas vector:

Para la tarea de aplicación hay que tener los mapas de todas las centralidades posibles: (1) puntuales – centros de salud y centros educativos. (2) lineales – rutas de transporte público. Dichos mapas vectores, fueron proporcionados por la Unidad de Investigación y Estadística Social de la Municipalidad de Comayagua (UIES-COM).

**b. Obtención de criterios:**

La evaluación Multicriterio realizada con el método WLC, trabajada en Idrisi, requiere que los vectores sean transformados en ráster. De esta manera, se puede trabajar con sus píxeles como unidad de medida y evaluación.

**c. Generación de factores:**

Cada centralidad o vector es una "capa temática". Luego se define para cada una las distancias a la centralidad. Ej: zonas (buffer) de diferentes distancias a los centros de salud y centros educativos. Todo en "sistema ráster" del Spatial Analyst. Se definirán franjas de similar amplitud (metros) alrededor de la centralidad, para este caso, 5 y la última una zona lejana. Los valores de los píxeles para cada franja serían 5, 4, 3, 2 y 1 los píxeles más lejanos.

**d. Combinación Lineal Ponderada (WLC):**

Al tener todos estos mapas de "nivel de accesibilidad" a cada centralidad o mapa, se superponen o suman con la calculadora. El valor mayor será el de mayor accesibilidad y el de menor valor el de menos accesibilidad, o puede obtenerse un "promedio" de valores, Si un píxel obtiene el valor 5 esto significa que su posición es la mejor de todas en todos los casos, 1 sería lo inverso. Esta resolución simple luego puede obtener variantes con el método de ponderación por WLC (Combinación Lineal Ponderada) donde previo a la suma de valores se multiplican por un valor ponderado previamente. Pero se aplica posteriormente de haber obtenido los primeros resultados. Este es el MAPA DE ACCESIBILIDAD DEL AREA DE ESTUDIO 1, es el resultado u objetivo 1.

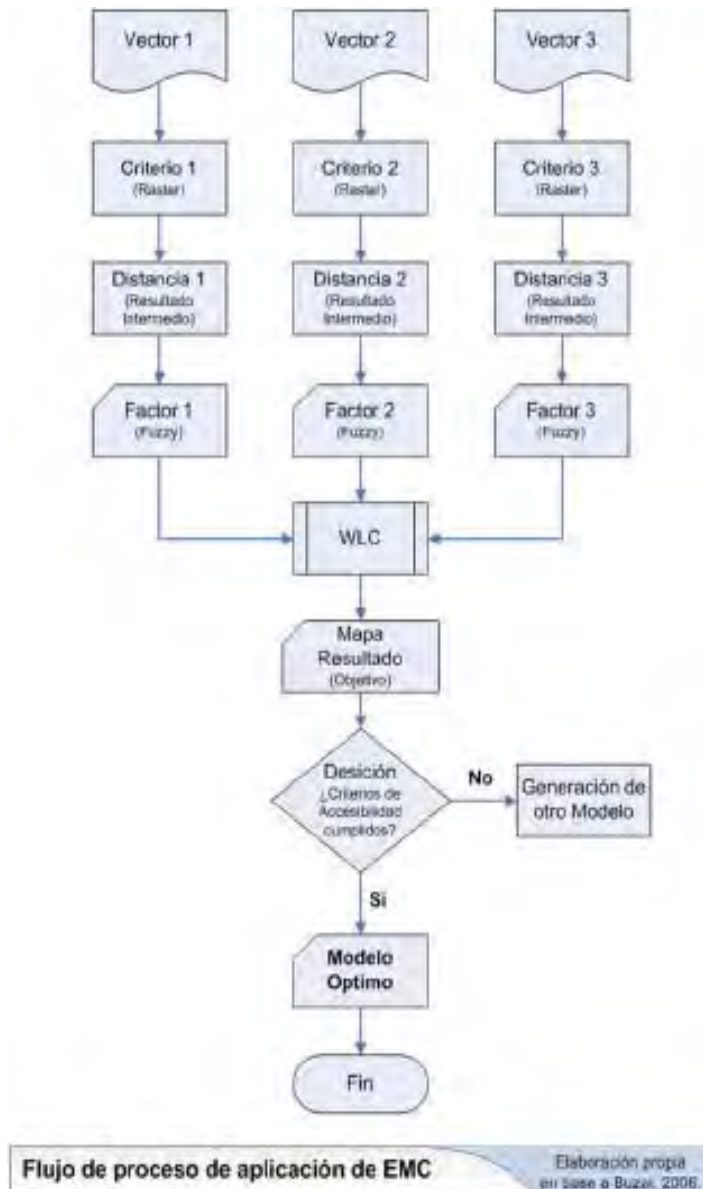
**e. Evaluación de modelo:**

El mapa de accesibilidad y los mapas de aptitud anteriores muestran donde se localizan las zonas con mayor accesibilidad. Para determinar si el modelo es el adecuado con estos resultados, realizamos una evaluación en base a criterios de accesibilidad definidos en base al cumplimiento de los objetivos del estudio. Si el modelo cumple dichos criterios el objetivo es alcanzado y por ende el modelo es el deseado u óptimo.

En caso contrario, donde estos criterios no cumplen, se genera otro modelo territorial con la agregación o reubicación de cualquier centro (educación, salud, ruta de transporte, etc) y aplicar el procedimiento nuevamente para llegar a un **segundo resultado final: MAPA DE ACCESIBILIDAD DEL AREA DE ESTUDIO 2**. Este es el resultado 2, en el que igualmente se evaluara el cumplimiento de los criterios.

Este proceso se continúa hasta encontrar el resultado deseado. El siguiente flujo de proceso explica gráficamente la aplicación de este caso:

Figura 3. Flujo de proceso de aplicación de Evaluación Multicriterio



Al generar los ESCENARIOS DE MEJORAMIENTO DE ACCESIBILIDAD, se deberá seleccionar el MEJOR ESCENARIO. Para esto, utilizaremos los criterios de decisión, los cuales han sido establecidos basándose en la Justicia y Equidad espacial<sup>2</sup>.

Los criterios de decisión que se utilizaran para definir el modelo territorial óptimo serán:

- a) Mayor área de población beneficiada con servicios.
- b) Mayor distribución de servicios.
- c) Las áreas con mayor aptitud están en los barrios populares.

Con esto trataremos el problema de donde situar un servicio o actividad, escogiendo el mejor modelo territorial que logre ofrecer a la población más necesitada lo siguiente:

1. Aumentar la calidad de vida de la población que reside o usa el territorio
2. La organización más equilibrada o coherente del espacio geográfico de acuerdo a las necesidades insatisfechas.

## 5. RESULTADOS: MAPA DE ACCESIBILIDAD

Utilizando los criterios descritos en el inciso anterior se generaron varios modelos hasta encontrar el que cumplía con los criterios de decisión establecidos. Es hasta el tercer intento o modelo territorial que se cumplen los criterios de decisión. A continuación la descripción de este resultado.

### a. Generación de mapa de accesibilidad:

Ya que ni el primer ni el segundo modelo cumplieron con los criterios de selección, se concluye que se debe realizar un tercer modelo. Este tercer modelo, consiste en realizar cambios en la distribución de los servicios de las rutas de transporte público únicamente, debido a que es el único factor que no ha recibido cambio, con esto tendremos un escenario en el cual se mantienen los factores de salud y educación del segundo modelo.

---

<sup>2</sup> Moreno Jiménez, A. 2006. En torno a los conceptos de equidad, justicia e igualdad espacial. Huellas. La Pampa. Argentina. 11:133-142

### Rutas de transporte:

En este tercer modelo se realizarán cambios en las rutas de transporte, dicho cambio consistirá en la ampliación de las rutas de transporte.

### Centros de servicios:

En este tercer modelo se mantienen los centros de servicios agregados en los anteriores modelos, por lo cual, en este modelo no se realiza cambio alguno.

Figura 4. Vector No.1 Rutas de transporte público.



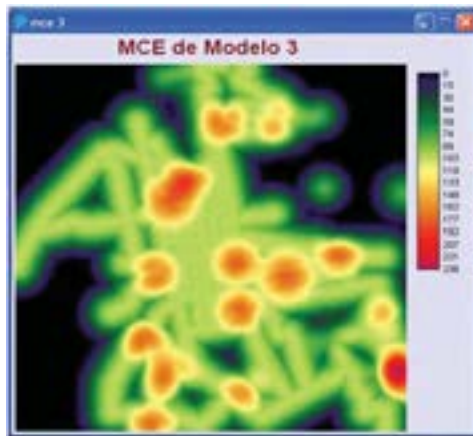
Fuente: Alcaldía Municipal de Comayagua.

### **b. Realización del procedimiento EMC (MCE)**

Con el nuevo mapa fuzzy de rutas y usando los mapas fuzzy de salud y educación del segundo modelo, procedemos a aplicar el procedimiento del WLC, a través de la siguiente fórmula:

$$WLC = (Factor\ 1 \times 0,30) + (Factor\ 2 \times 0,30) + (Factor\ 3 \times 0,40)$$

Figura 5. Mapa No.5 – Evaluación Multicriterio Modelo No.3

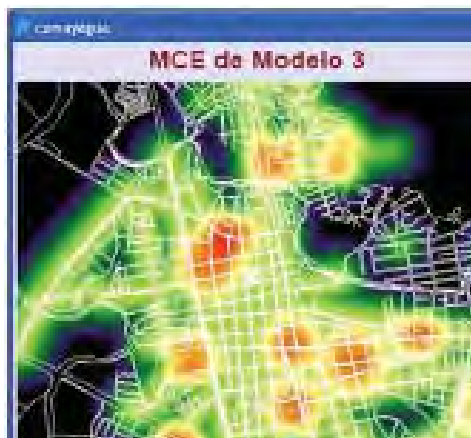


Fuente: elaboración propia.

### c. Generación de mapa de accesibilidad y mayor aptitud:

Con el MCE, se recortan los resultados superponiéndolos al área de estudio (mapa catastral), con la cual, se obtiene el MAPA DE ACCESIBILIDAD, constituyendo este el resultado 3 del modelo No.3:

Figura 6. Mapa No.5 – Mapa de Accesibilidad del Modelo No.3.



Fuente: elaboración propia.



Priorizando el mapa de accesibilidad en las zonas de aptitud alta, usaremos el rango entre 100 y 255 como se ha realizado anteriormente. Con lo cual, obtenemos el mapa de ubicación de las zonas de mayor aptitud o accesibilidad:

Figura 7. Mapa No.6 -Mapa de las áreas con mayor aptitud o accesibilidad del Modelo No.3.



Fuente: elaboración propia.

#### d. Reclasificación del mapa de accesibilidad y cálculo de área del mapa de accesibilidad :

En este tercer modelo mantendremos los valores digitales  $DN = 1$ , para las áreas beneficiadas con los servicios en evaluación, y las áreas con valores digitales  $DN = 0$ , son las áreas sin el beneficio de estos servicios. Una vez obtenido el mapa de las áreas beneficiadas se calcula la superficie del área en kilómetros cuadrados.

Figura 8. Imagen No.1 –Cálculo de área de beneficio



Fuente: elaboración propia.

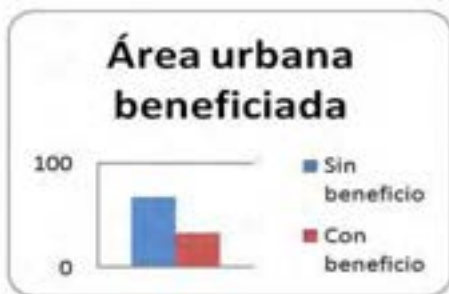
Los cálculos de la superficie beneficiada con una accesibilidad óptima a los servicios de transporte público, salud pública y educación pública para este modelo, nos muestran los siguientes resultados:

Area Urbana	Superficie (Km2)	Porcentaje (%)
Sin beneficio	6.0583	67.31
Con beneficio	2.9417	32.69
<b>Total</b>	<b>9.0000</b>	<b>100.00</b>

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación el análisis del modelo No.3, criterio a criterio:

### a. Mayor área de población beneficiada con servicios



En el tercer modelo se cumplió este criterio, produciendo un **aumento del área beneficiada en 32.69% (10.32% mayor que lo resultante en el primer escenario)** de la zona urbana en estudio.

Figura 9. Área urbana beneficiada.

## b. Mejor distribución de servicios



También este criterio es cumplido, ya que las zonas de mayor aptitud o accesibilidad, se encuentran más distribuidas en la zona de estudio. Lo mejor del modelo, es que los servicios se distribuyen hacia los barrios populares.

Figura 10. MCE de Modelo 3.

## c. Las áreas con mayor aptitud están en los barrios populares

Finalmente, este criterio también fue cumplido, ya que la zona de mayor aptitud es un barrio popular (Colonia 21 de Abril) Después otros cuatro barrios tienen alto grado de aptitud, exceptuando el barrio abajo.

Figura 11. Mapa No.7 – Mapa de ubicación de barrios populares del Modelo No.3



Fuente: Elaboración propia.

## 7. CONCLUSIÓN SOBRE MODELO TERRITORIAL NO.3

Se puede concluir, que los criterios se cumplen en su totalidad por este tercer Modelo Territorial, por lo que se concluye que este modelo ofrece la mayor accesibilidad a los servicios para los habitantes de barrios populares.

Tabla 4. Cumplimiento de criterios de decisión Modelo No.3

No	Criterio	Si Cumple	No cumple
1	<i>Mayor área de población beneficiada con servicios.</i>	X	
2	<i>Mejor distribución de servicios</i>	X	
3	<i>Las áreas con mayor aptitud están en barrios populares.</i>	X	

Fuente: Elaboración propia.

## BIBLIOGRAFIA:

- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2006. **Análisis Socioespacial** con Sistemas de Información Geográfica. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Thunen Von, Johann Heinrich **Der isolierte Staat** en: Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie (Neudruck der Ausgabe 2.bzw.1.Auflage 1842 bzw, 1850). Stuttgart 1966 (4).
- Barkin, D. 1994. Reconcebir la ciudad: una nueva perspectiva de las políticas de asentamientos humanos en América Latina. En: Smolka, M.O.; Mullahy, L. (eds.) **Perspectivas urbanas**. Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge.
- Bosque Sendra, J. 1992. **Sistemas de Información Geográfica**. Rialp. Madrid.
- Bosque Sendra, J. 2001. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. **El Campo de las Ciencias y las Artes**. Madrid. España. 138:137-174.
- Buzai, G.D. 2003. **Mapas Sociales Urbanos**. Lugar Editorial. Buenos Aires. 1:61-62.
- Calder, A; Greenstein, R. 2007. Política de suelo, mercados inmobiliarios y segregación espacial urbana. En: Smolka, M.O.; Mullahy, L. (eds.) **Perspectivas urbanas**. Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge. pp. 323-328.

- Eastman, J.R. 2007. La verticalización de los Sistemas de Información Geográfica. **Memorias de la XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica**. Departamento de Ciencias Sociales – UNLu. Luján. pp. 183-195.
- Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, J.I. 2006. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. Alfaomega-Rama. México.
- Moreno Jiménez, A. 2006. **En torno a los conceptos de equidad, justicia e igualdad espacial**. Huellas. La Pampa. Argentina. 11:133-142.
- Smolka, M. 2007. **Mercados Informales de Suelo y Regularización de Asentamientos Informales, Curso Latinoamericano**. Lincoln Institute of Land Policy. Lima, Perú.
- Smolka, M.O.; Mullahy, L. (eds.) 2007. **Perspectivas urbanas**. Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge.
- Clarks Labs, 2004. **Manual del Idrisi Kilimanjaro**, Guia para SIG y procesamiento de imágenes, mayo 2004

# *Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras*

María Cristina Pineda de Carías, German Flores, Mirza Castro, Pedro Jiménez, Gerardo Reyes y Enrique López

## **Resumen**

El objetivo fue aplicar tecnologías de información geográfica para identificar cambios importantes en cobertura de la tierra y, analizar señales dominantes ligadas a procesos de cambios sistemáticos en el occidente de Honduras. Se analizaron períodos antes y después del huracán Mitch que afectó Centroamérica en 1998. Se utilizaron mapas de 1991, 1995, 2003 y 2006 clasificados en: bosque mixto, pino, matorral, pastos, agricultura, urbano y suelo desnudo. Los de 1991 y 1995 y de 2003 y 2005 se compararon para construir matrices de tabulación cruzada que se analizaron separadamente para identificar persistencia, ganancias y pérdidas por categorías. Se calculó cambio neto, intercambio, cambio total; y las transiciones entre categorías. Como resultado se encontró que entre 1991-1995 el mayor cambio neto fue en agricultura (9.54%), matorral (6.07%) y pino (4.92%). Para 2003-2006, en matorral (5.54%), pasto (4.39%) y bosque mixto (3.13%). Entre 1991-1995 el intercambio se dio en la mayoría de las categorías: bosque mixto (20.15%), agricultura (18.86%), matorral (13.56%), pino (12.32%) y suelo desnudo (11.96%); y entre 2003-2006 en: agricultura (23.98%), pino (15.30%), suelo desnudo (14.77%), matorral (13.47) y bosque mixto (8.22%). Los resultados evidencian una alta dinámica de cambio del paisaje, 52.57% entre 1991-1995 y 48.78% entre 2003-2006. Las principales transiciones sistemáticas entre 1991-1995 fueron: de bosque mixto a pino y de matorral a agricultura, las primeras debidas a la expulsión de grandes aserraderos de la zona; las segundas al avance de la frontera agrícola. Entre 2003-2006 las transiciones se dieron: de pino a bosque mixto y de matorral a pino, las primeras debidas a la importancia económica que adquirieron otras especies, las segundas al agotamiento de capacidad productiva de matorrales que pasaron a especies de mayor valor económico, como el pino. Estas últimas tendencias revelan

potencialidad de regeneración natural del bosque e intencionalidades humanas de protección y económicas.

**Palabras clave:** Cobertura de la tierra; cambios en categorías; transiciones sistemáticas; Honduras: Occidente.

## Abstract

The aim was to apply geographic information technologies to identify significant changes in land cover and analyze dominant signals linked to systematic processes of changes in western Honduras. Periods were analyzed before and after Hurricane Mitch that hit Central America in 1998. We used maps of 1991, 1995, 2003 and 2006 classified in: mixed forest, pine, shrubs, herbaceous, agriculture, urban and bare soil. The 1991 and 1995 and 2003 and 2005 were compared to build cross-tabulation matrices that were analyzed separately to identify persistence, gains and losses by category. We calculated net change, swap, total change; and the transitions between categories. As a result it was found that for 1991-1995 the largest net change was in agriculture (9.54%), shrubs (6.07%) and pine (4.92%); for 2003-2006, in shrubs (5.54%), herbaceous (4.39%) and mixed forest (3.13%). Between 1991 -1995 the swap occurred in most of the categories: mixed forest (20.15%), agriculture (18.86%), shrubs (13.56%), pine (12.32%) and bare soil (11.96%); and between 2003 -2006 in: agriculture (23.98%), pine (15.30%), bare soil (14.77%), scrubs (13.47) and mixed forest (8.22%). The results show a high dynamic landscape change, 52.57% in 1991-1995 and 48.78% in 2003-2006. The main systematic transitions between 1991 -1995 were: mixed forest to pine and shrubs to agriculture, the first due to the expulsion of large sawmills in the area, the latter to the advance of the agricultural frontier. Between 2003 -2006 the main systematic transitions were: pine to mixed forest and shrubs to pine, the first due to the economic importance that there acquired other species, the second to the depletion of productive capacity of shrubs that became most economically valuable species, as pine. These latest trends reveal potential of natural regeneration of the forest and human protection and economic intentions.



**Keywords:** Land cover; categorical changes; systematic transitions; Honduras: West.

---

**María Cristina Pineda de Carías** (mcpinedacarias@gmail.com), Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Espaciales. **German Flores** (german.flores@fao.org.hn); **Mirza Castro** (mirza.castro@fao.org); **Pedro Jiménez** (pedro.jimenezPJ@gmail.com); **Gerardo Reyes** (gareyesn@yahoo.com); **Enrique López** (enriqueauxume17@yahoo.es). Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA/FAO).

## INTRODUCCION

En 1998 Mitch, primero como un huracán y luego como una tormenta tropical azotó severamente el territorio centroamericano particularmente a Honduras. Para detectar los cambios en la cobertura de la tierra antes y después de Mitch sobre un sector del occidente de Honduras, se realizó un estudio abarcando los años de 1991 a 2006 (Pineda de Carías, Ochoa, & Corrales, 2012). Se utilizaron cuatro imágenes LandSat del sector (resolución espacial de 28.5 metros) de diferentes fechas comprendiendo un período de siete y medio años antes y después Mitch. La metodología empleada incluyó, desde la selección de las imágenes de fechas y características apropiadas, el pre procesamiento para realizar correcciones geométricas y radiométricas, la delimitación del área de estudio y acopio de información relevante de la zona, la obtención de una leyenda basada en el Sistema de Clasificación de Cobertura de la Tierra de la FAO/UNEP, la realización de clasificación supervisada de las cuatro imágenes; la verificación de resultados mediante el uso de radiometría de campo y técnicas estadísticas, terminando con el análisis multitemporal para la detección de cambios. Como resultado importante se detectó que antes de Mitch, el tamaño del bosque se mantuvo en un 30%, pero que después había disminuido de 25% a 20%. Se atribuyó al marcado avance de la frontera agrícola a expensas de la disminución de la cobertura de bosques del sector; la agricultura se extendía más allá de las laderas, internándose en la zona de bosques. Por otro lado, se presentó como resultado que la arboleda de pinos que mostraba una tendencia decreciente antes de Mitch, de 20% a 15%, había revertido esta tendencia de 20% a 22%, con evidentes signos de recuperación; que también los matorrales, que antes de Mitch mostraron disminución de 18% a 12%, mostraron una recuperación de 11 a 18%; y que la agricultura, antes y después de Mitch mostró una tendencia creciente, pasando antes de 20% a 30%, y después de 25% a 27%. Como una de las conclusiones se presentó que la agricultura practicada en el sector estudiado era mixta, no solamente en cuanto al tipo de cultivos, sino por las prácticas culturales. Una parte de las zonas agrícolas se presentaban como zonas sin cambio, mas permanentes, otras sin embargo, las que usaban prácticas más tradicionales mostraban decrementos, al cambiar continuamente el tipo y los lugares de cultivo.

Los resultados de este estudio llamaron mucho la atención de la comunidad de investigadores y técnicos de la zona, que pronto demandaron profundizar más en los resultados. Fue así que buscando una aproximación diferente, encontramos la metodología propuesta por Pontius et al (Pontius, Shusas, & McEachem,

2004) para detectar cambios importantes en las categorías de la cobertura de la tierra a partir de la persistencia. Con métodos estadísticos nuevos como ellos dicen, se pueden identificar señales de procesos sistemáticos dentro de un patrón de cambio de la tierra, ayudando a buscar las señales más fuertes de cambios de la cobertura de la tierra sistemáticos y ultimadamente ligar los patrones a los procesos. En términos prácticos el análisis del cambio de la cobertura de la tierra se hace, obteniendo primero un mapa de la fecha 1 y de la fecha 2; examinando los cambios con una matriz de transición para identificar las transiciones más importantes; y luego investigar los procesos que generaron las transiciones.

Este trabajo ha tenido como objetivo aplicar tecnologías de información geográfica para identificar cambios importantes en la cobertura de la tierra y, analizar señales dominantes ligadas a procesos de cambios sistemáticos en ocho municipios de los departamentos de Copan y Lempira, del occidente de Honduras, analizando dos período de tiempo, uno antes y otro después del huracán Mitch. Se utilizó el Método de Pontius et al para realizar diferentes cálculos de persistencia y cambio total de las categorías de clasificación, tratando de responder a las siguientes preguntas: ¿cuál es el cambio neto de cada categoría, cuáles son las ganancias, pérdidas y el intercambio de cada categoría, cuáles son las mayores transiciones sistemáticas entre categorías?

Como resultado se encontró evidencia de una alta dinámica de cambio del paisaje, 52.57% entre 1991-1995 y 48.78% entre 2003-2006. Que las principales transiciones sistemáticas entre 1991-1995 fueron: de bosque mixto a pino y de matorral a agricultura. Entre 2003-2006 las principales transiciones se dieron: de pino a bosque mixto y de matorral a pino. Estas últimas tendencias revelan potencialidad de regeneración natural del bosque e intencionalidades humanas de protección y económicas.

## **METODOLOGIA**

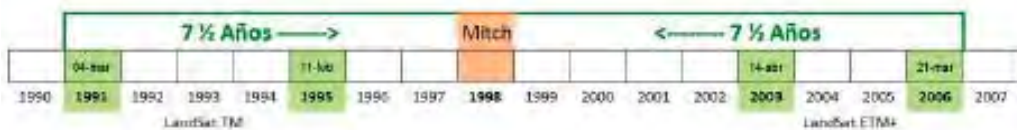
### **Área de estudio y base de datos**

El área de estudio es un sector cuadrado de 23 kilómetros de lado, de 53,160 hectáreas que abarca el lado sureste del departamento de Copán, específicamente en las colindancias de los municipios de Santa Rosa de Copán, San Juan de Opoa y Cucuyagua, y la parte noreste del departamento de Lempira en sus municipios de Lepaera, Talgua, Las Flores y Gracias. El cuadrado está delimitado

por las coordenadas: 301,084m E y 1627,720m N (esquina superior izquierda); y 324,111m E y 1614,692m N (esquina inferior derecha). Dentro de la imagen Land-Sat P019R050, el sector se escogió por ser representativo del paisaje del occidente de Honduras: con altas montañas, coberturas boscosas, ríos, áreas urbanas y agrícolas (Pineda Portillo, 2008).

Se utilizó cartografía temática de cuatro mapas de 1991, 1995, 2003 y 2006 clasificadas todos con los mismos criterios en siete clases: bosque mixto, pino, matorral, pastos, agricultura, urbano y suelo desnudo (Pineda de Carías, Ochoa, & Corrales, 2012). En la Figura 1 se presenta un diagrama temporal, mostrando que el período estudiado abarcó quince años, distribuidos siete y medio años antes y después de Mitch.

FIGURA 1. Localización temporal de los mapas clasificados utilizados.



La leyenda de clasificación de los mapas temáticos utilizados incluyó siete clases:

- 1) *Bosque mixto*. Clase compuesta de dos tipos de cobertura: a) árboles, de cobertura cerrada, altura >30 – 14m, distribución espacial: fragmentada; hoja ancha; ejemplo: roble, encino, laurel; b) árboles, de cobertura dispersa de 15 a 4%; altura >30 – 14m; hoja aciculada; ejemplo: pinos.
- 2) *Bosque de pino*. Clase de un solo tipo de cobertura. Bosque, de cobertura abierta de 65 a 15%; >30-14m; hoja acicular; ejemplo: pino.
- 3) *Matorral*. Clase de un solo tipo de cobertura. Arbustos, de cobertura abierta de 65 a 15%; altura de 5 a 0.5m; hoja ancha.
- 4) *Pastos*. Clase de dos tipos de cobertura herbácea, en un campo de grande a mediano, distribución espacial continua; con un cultivo adicional, herbáceo terrestre, simultáneo; regado con agua de lluvia; a) uno, cultivo de rotación cambiante, parte de un proceso agrícola; b) el otro, de cultivo permanente.

5) *Agricultura*. Clase de por lo menos cinco tipos de cobertura: a) arbustos, en huertos u otro tipo de plantación, en campo de grande a mediano, distribución espacial continúa, con dos cultivos adicionales de arbustos simultáneos, regados con lluvia, cultivo permanente, por ejemplo, café; b) arbustos, plantación; en campo de grande a mediano, distribución espacial continua, cultivo simple, regado con lluvia, cultivo permanente, por ejemplo, piñas; c) gramíneas, en campo de grande a mediano, distribución espacial continua, cultivo simple, regado con lluvia, cultivo de rotación o cambiante, por ejemplo, maíz; d) No gramínea en campo de grande a mediano, distribución continua, al menos dos cultivos adicionales, herbáceos terrestres, simultáneos, regado con lluvia, cultivo de rotación o cambiante, por ejemplo, hortalizas; e) herbácea en campo de grande a mediano, distribución espacial continua, con dos cultivos adicionales, herbáceos terrestres, simultáneos, regado con lluvia, cultivo en barbecho, resultado de una etapa de proceso agrícola.

6) *Urbano*. Clase de un solo tipo de cobertura: superficie construida, no lineal, área urbana.

7) *Suelo desnudo*. Clase de un solo tipo de cobertura: superficie no consolidada, suelo desnudo y otro material no consolidado; pedregoso (40-5%).

## Metodología

La metodología consistió en: la construcción de matrices de tabulación cruzada; el cálculo de persistencia, pérdidas y ganancias; el cálculo de cambios neto e intercambio; el cálculo de cambios totales del paisaje; y el cálculo de transiciones sistemáticas entre categorías (Pontius, Shusas, & McEachem, 2004), para los períodos antes (1991-1995) y después (2003-2005) de Mitch.

## RESULTADOS

### Matriz de Tabulación Cruzada. Persistencia, Pérdidas y Ganancias

El punto de partida fue la utilización de una imagen de cambio, obtenida a partir de dos imágenes clasificadas de la misma manera por cobertura de la tierra para dos fechas: Fecha-1 la más temprana, Fecha-2 la más tardía, conteniendo ambas las mismas clases. La imagen de cambio tenía asociada una Tabla de Atri-

butos con información cuantitativa de los cambios detectados entre categorías. En esta Tabla los cambios aparecían expresados en número de píxeles (histograma).

A partir de la Tabla de Atributos se construyó una *Matriz de Tabulación Cruzada*. En esta matriz, cada fila muestra las categorías de la Fecha-1; cada columna muestra las categorías de la Fecha-2.

Se totalizó el número de píxeles de la matriz, calculando para cada elemento el porcentaje correspondiente. La notación  $P_{ij}$  denota la proporción del paisaje que experimenta una transición de la clase  $i$  a la clase  $j$  donde el número de clases es  $J$ .

- Las entradas de la diagonal indican la *persistencia*. Es decir, la proporción del paisaje que persiste en una categoría.
- Las entradas fuera de la diagonal indican la transición a diferentes categorías.
- A la matriz se le agregó una Columna Total. Cada elemento de esta columna (la suma de todos los elementos de la fila) denota la proporción del paisaje en cada una de las categorías en la Fecha-1:  $P_{i+}$ .
- Se agregó también una Fila Total. Cada elemento de esta fila (la suma de todos los elementos de la columna) denota la proporción del paisaje en cada categoría en la Fecha-2:  $P_{j+}$ .

El siguiente paso fue examinar las entradas diagonales de la matriz de tabulación cruzada, con los cuales se determinó el porcentaje del paisaje que persistió (persistencia) en cada categoría.

- Después, a la matriz de tabulación cruzada se le agregó una columna y una fila.
- La columna adicional denominada *Pérdidas*, se calculó a partir de los valores de la Columna Total menos la persistencia de cada categoría. Indica la proporción del paisaje que experimentó una pérdida neta por categoría  $i$ , entre Fecha-1 y Fecha-2.
- La fila adicional denominada *Ganancias*, se calculó a partir de los valores de la Fila Total menos la persistencia. Indica la proporción del paisaje que experi-

mentó una ganancia neta por categoría  $j$ , entre Fecha-1 y Fecha-2.

Con las imágenes de cambio de 1991 y 1995 y de 2003 y 2006 se construyeron dos matrices de tabulación cruzada que se analizaron separadamente para identificar persistencia, ganancias y pérdidas por categorías. En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se presentan las Matrices de Tabulación Cruzada de los cambios antes (1991-1995) y después (2003-2006) de Mitch.

Tabla1. Matriz de Tabulación Cruzada para comparar Mapas de Cobertura de la Tierra de 1991 y 1995.

		1995							TOTAL 1991	PERDIDAS
		1	2	3	4	5	6	7		
		Mixto	Fino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
1991										
1	Mixto	19.24	4.51	0.17	0.00	4.35	0.00	1.04	29.31	10.08
2	Fino	4.33	8.64	1.71	0.04	4.24	0.01	0.74	19.72	11.08
3	Matorral	1.21	0.93	5.04	0.44	7.75	0.03	2.49	17.90	12.86
4	Pasto	0.02	0.00	1.01	0.81	0.20	0.02	0.87	2.93	2.12
5	Agricultura	3.04	0.36	2.07	0.14	10.75	0.01	3.81	20.18	9.43
6	Urbano	0.14	0.06	0.21	0.07	0.20	0.05	0.33	1.07	1.02
7	Suelo desnudo	1.39	0.30	1.61	0.43	2.22	0.03	2.91	8.89	5.98
TOTAL 1995		29.36	14.80	12.82	1.94	29.73	0.16	12.19	47.43	52.57
GANANCIAS		10.13	6.16	6.78	1.14	18.97	0.11	9.28	52.57	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de Tabulación Cruzada para comparar Mapas de Cobertura de la Tierra de 2003 y 2006.

		1995							TOTAL 1991	PERDIDAS
		1	2	3	4	5	6	7		
		Mixto	Fino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
1991										
1	Mixto	19.24	4.51	0.17	0.00	4.35	0.00	1.04	29.31	10.08
2	Fino	4.33	8.64	1.71	0.04	4.24	0.01	0.74	19.72	11.08
3	Matorral	1.21	0.93	5.04	0.44	7.75	0.03	2.49	17.90	12.86
4	Pasto	0.02	0.00	1.01	0.81	0.20	0.02	0.87	2.93	2.12
5	Agricultura	3.04	0.36	2.07	0.14	10.75	0.01	3.81	20.18	9.43
6	Urbano	0.14	0.06	0.21	0.07	0.20	0.05	0.33	1.07	1.02
7	Suelo desnudo	1.39	0.30	1.61	0.43	2.22	0.03	2.91	8.89	5.98
TOTAL 1995		29.36	14.80	12.82	1.94	29.73	0.16	12.19	47.43	52.57
GANANCIAS		10.13	6.16	6.78	1.14	18.97	0.11	9.28	52.57	100.00

Fuente: Elaboración propia.

## Cambio Neto e Intercambio. Cambios Totales del paisaje.

Seguidamente se calculó el intercambio, el cambio neto y el cambio total.

- La cantidad de intercambio (*swap*) es igual a dos veces el mínimo de la ganancia y pérdidas. Cada celda de la retícula de píxeles que gana es apareada con cada celda que pierde para crear un par de celdas que se intercambian.
- El valor absoluto del *cambio neto* se calculó a partir del valor máximo de la ganancia y pérdida menos el mínimo de la ganancia y pérdida. Este cambio neto es el resto de no aparear ganancia o pérdida después que todas las ganancias y pérdidas han sido apareadas para calcular el intercambio.
- El *cambio total* para cada categoría se calculó de la suma del cambio neto y el intercambio, lo que es igual a la suma de las pérdidas y las ganancias.

Agregando los cambios de las categorías individuales se pudo calcular el cambio del paisaje completo. Así:

- El *cambio total del paisaje* se calculó del total de las ganancias de las categorías individuales, el cual es igual al total de las pérdidas de las categorías individuales. El cambio total en el paisaje es la mitad de la suma de los cambios en las categorías individuales porque los cambios en cada celda cuentan como una ganancia en una categoría y como una pérdida en otra categoría.
- De la misma manera se calculó el *intercambio total del paisaje*, que es la mitad de la suma de los intercambios en las categorías individuales.
- El total del *cambio neto en el paisaje* es la mitad de la suma de los cambios netos en las categorías individuales.

En las Tablas 3 y 4 se incluyen los valores de los cambios en términos de porcentajes del paisaje, antes (1991-1995) y después (2003-2005) de Mitch.



Tabla 3. Valores de los cambios de 1991 a 1995 en términos de porcentaje del paisaje.

		GANANCIAS	PERDIDAS	 CAMBIO TOTAL	 INTERCAMBIO	 CAMBIO NETO
1	Mixto	10.13	10.08	20.20	20.15	0.05
2	Pino	6.16	11.08	17.24	12.32	4.92
3	Matorral	6.78	12.86	19.64	13.57	6.07
4	Pasto	1.14	2.12	3.26	2.28	0.98
5	Agricultura	18.97	9.43	28.41	18.86	9.54
6	Urbano	0.11	1.02	1.13	0.22	0.91
7	Suelo desnudo	9.28	5.98	15.26	11.96	3.30
	<b>TOTALES</b>	<b>52.57</b>	<b>52.57</b>	<b>52.57</b>	<b>39.68</b>	<b>12.89</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Valores de los cambios de 2003 a 2006 en términos de porcentajes del paisaje.

		GANANCIAS	PERDIDAS	 CAMBIO TOTAL	 INTERCAMBIO	 CAMBIO NETO
1	Mixto	4.11	7.24	11.35	8.22	3.13
2	Pino	9.27	7.65	16.92	15.30	1.62
3	Matorral	12.27	6.74	19.01	13.47	5.54
4	Pasto	1.01	5.40	6.41	2.02	4.39
5	Agricultura	14.63	11.99	26.62	23.98	2.64
6	Urbano	0.10	0.12	0.22	0.20	0.02
7	Suelo desnudo	7.39	9.64	17.03	14.77	2.25
	<b>TOTALES</b>	<b>48.78</b>	<b>48.78</b>	<b>48.78</b>	<b>38.98</b>	<b>9.80</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores ponen de manifiesto que entre 1991-1995 el mayor cambio neto fue en agricultura (9.54%), matorral (6.07%) y pino (4.92%). Para 2003-2006, en matorral (5.54%), pasto (4.39%) y bosque mixto (3.13%).

Que entre 1991-1995 el intercambio se dio en la mayoría de las categorías: bosque mixto (20.15%), agricultura (18.86%), matorral (13.56%), pino (12.32%) y

suelo desnudo (11.96%); y entre 2003-2006 en: agricultura (23.98%), pino (15.30%), suelo desnudo (14.77%), matorral (13.47) y bosque mixto (8.22%).

Los resultados evidencian una alta dinámica de cambio del paisaje, 52.57% entre 1991- 1995 y 48.78% entre 2003-2006.

## TRANSICIONES SISTEMÁTICAS ENTRE CATEGORÍAS

### Análisis de Ganancias y Pérdidas

El paso siguiente fue examinar las entradas fuera de la diagonal de la matriz de tabulación cruzada para identificar las transiciones sistemáticas más prominentes entre la Fecha-1 y la Fecha-2. Para ello, a partir de esta matriz se construyeron dos tablas de transiciones, una para analizar las ganancias, otra para analizar las pérdidas.

*Tabla para análisis del porcentaje de cambio de la cobertura de la tierra en términos de ganancias.*

La tabla para análisis de ganancias se construyó manteniendo los valores de la matriz de tabulación cruzada, agregando intercaladamente tres filas de manera que para cada categoría se tuvieran cuatro filas.

Fila 1. **En negritas.** Representa el porcentaje observado combinado en el paisaje:  $P_{ij}$ . Igual a la matriz de tabulación cruzada.

Fila 2. *Cursiva.* Representa el porcentaje combinado que se esperaría si la ganancia en cada categoría ocurriera al azar. Se calculó a partir de:

$$G_{ij} = (P_{+j} - P_{jj}) \left( \frac{P_{i+}}{\sum_{l=1, l \neq j}^J P_{l+}} \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde para la ganancia  $G_{ij}$ :  $i$  es la categoría de Fecha-1,  $j$  es la categoría de Fecha-2;  $J$  es el número total de categorías;  $P_{i+}$  es la proporción del paisaje en la categoría  $i$  en la Fecha-1;  $P_{+j}$  es la proporción del paisaje en la categoría  $j$  en Fecha-2. Para las entradas de la diagonal, el número esperado es igual al número observado de manera que la matriz resultante de las transiciones aleatorias tiene la misma cantidad de persistencia que el porcentaje observado.

Fila 3. (Paréntesis curvo). Es la combinación de la proporción observada menos la proporción esperada bajo un proceso aleatorio. En otras palabras, el valor de la Fila 1 menos el valor de la Fila 2:  $(P_{ij} - G_{ij})$ .

Fila 4. [Paréntesis angular]. Es la combinación de la diferencia relativa entre el número observado y el número esperado. En otras palabras, el valor de la Fila 1 dividido por el valor de la Fila 2:  $(P_{ij} - G_{ij})/G_{ij}$ .

*Tabla para análisis del porcentaje de cambio de la cobertura de la tierra en términos de pérdidas.*

La lógica de construcción de esta tabla fue la misma que la de la tabla anterior solo que el papel de las filas y las columnas cambió.

Fila 1. **En negritas.** Es la combinación del porcentaje observador sobre el paisaje. Es lo mismo de la tabla anterior.

Fila 2. *Cursiva.* Es la combinación del porcentaje que sería esperado si las pérdidas en cada categoría hubiesen ocurrido al azar. Se calculó a partir de:

$$L_{ij} = (P_{i+} - P_{ii}) \left( \frac{P_{+j}}{\sum_{j=1, j \neq i}^J P_{+j}} \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para la pérdida  $L_{ij}$ . En este caso también, el número esperado es igual al número observado para las entradas de la diagonal con el objeto de mantener constante el nivel de persistencia sobre el paisaje observado.

Fila 3. (Paréntesis curvo). Es la combinación de la proporción observada menos la proporción esperada bajo un proceso aleatorio. Se calculó a partir de:  $(P_{ij} - L_{ij})$ .

Fila 4. [Paréntesis angular]. Como en la Tabla anterior, la magnitud del número indica la diferencia entre el valor observado y el valor esperado, relativo a la magnitud del valor esperado.

Se calculó a partir de:  $(P_{ij} - L_{ij})/L_{ij}$ .

En las Tablas 5.A y 5.B y en las Tablas 6.A y 6.B se presentan los Análisis de las Ganancias seguidos de las Transiciones más Sistemáticas entre categorías

para 1991-1995 y para 2003-2006 respectivamente, antes y después de Mitch.

Tabla 5.A - Análisis de Ganancias 1991-1995.

	1995								
	1	2	3	4	5	6		TOTAL 1991	PERDIDAS
	Misto	Pino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
<b>1991</b>									
1 Misto	19.24	4.51	0.17	0.00	-4.35	0.00	1.04	29.31	10.08
	19.24	2.25	2.42	0.54	6.97	0.03	2.98	34.24	15.00
	0.00	2.26	-2.25	-0.34	-2.62	-0.03	-1.95	-4.92	-4.92
	0.00	1.01	-0.99	-0.99	-0.38	-0.98	-0.55	-0.14	-0.33
2 Pino	4.33	8.64	1.71	0.04	4.24	0.01	0.74	19.72	11.08
	2.82	8.64	1.63	0.23	4.69	0.02	2.01	20.04	11.40
	1.50	0.00	0.08	-0.19	-0.44	-0.01	-1.27	-0.32	-0.32
	0.53	0.00	0.05	-0.82	-0.09	-0.45	-0.63	-0.02	-0.03
3 Matorral	1.21	0.98	5.04	0.44	7.75	0.03	2.49	17.90	12.86
	2.56	1.37	5.04	0.22	4.25	0.02	2.83	15.28	10.24
	-1.36	-0.45	0.00	0.23	3.50	0.01	0.67	2.60	2.61
	-0.33	-0.32	0.00	1.12	0.83	0.69	0.37	0.17	0.28
4 Pasto	0.02	0.00	1.01	0.81	0.20	0.02	0.87	2.93	2.12
	0.42	0.22	0.24	0.82	0.70	0.00	0.30	2.69	1.85
	-0.40	-0.21	0.77	0.00	-0.49	0.02	0.57	0.24	0.24
	-0.96	-0.96	3.17	0.00	-0.71	5.77	1.90	0.09	0.13
5 Agricultura	3.04	0.56	2.07	0.14	10.75	0.01	3.81	30.18	9.43
	2.49	1.55	1.67	0.24	10.75	0.02	2.08	19.17	4.42
	0.15	-1.19	0.40	-0.09	0.00	-0.01	1.73	1.01	1.01
	0.05	-0.77	0.74	-0.39	0.00	-0.59	0.85	0.05	0.12
6 Urbano	0.14	0.06	0.21	0.07	0.20	0.05	0.33	1.07	1.02
	0.15	0.08	0.09	0.01	0.25	0.05	0.11	0.75	0.70
	-0.01	-0.02	0.13	0.06	-0.05	0.00	0.22	0.32	0.32
	-0.08	-0.29	1.47	4.93	-0.19	0.00	2.04	0.45	0.46
7 Suelo desnudo	1.39	0.50	1.61	0.43	2.22	0.03	2.91	8.89	5.98
	1.27	0.68	0.79	0.10	2.11	0.01	2.91	7.89	4.92
	0.12	-0.38	0.87	0.33	0.11	0.02	0.00	1.06	1.06
	0.08	-0.56	1.18	3.12	0.05	2.27	0.00	0.14	0.22
TOTAL 1995	29.36	14.80	11.82	1.94	29.73	0.16	12.19	100.00	52.57
	29.36	14.80	11.82	1.94	29.73	0.16	12.15	100.00	52.57
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>GANANCIAS</b>	10.13	6.16	6.78	1.14	18.97	0.11	9.28	52.57	
	10.23	6.16	6.78	1.14	18.97	0.12	9.28	52.57	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.B – Transiciones más sistemáticas entre categorías 1991-1995.

**GANANCIAS**

Transición	(Observada menos esperada)	[Diferencia dividida por esperada]	Interpretación de transición sistemática
Pino en 1991 y Bosque mixto en 1995	1.50	0.53	Cuando bosque mixto ganó, reemplazó a pino.
Matorral en 1991 y Bosque mixto en 1995	-1.36	-0.53	Cuando bosque mixto ganó, no reemplazó a matorral.
Bosque mixto en 1991 y Pino en 1995	2.26	1.01	Cuando pino ganó, reemplazó a bosque mixto.
Agricultura en 1991 y Pino en 1995	-1.19	-0.77	Cuando pino ganó, no reemplazó a agricultura.
Bosque mixto en 1991 y Matorral en 1995	-2.25	-0.93	Cuando matorral ganó, no reemplazó a Bosque mixto.
Pasto en 1991 y Matorral en 1995	0.77	3.17	Cuando matorral ganó, reemplazó a pasto.
Bosque mixto en 1991 y Agricultura en 1995	-2.62	-0.38	Cuando agricultura ganó, no reemplazó a bosque mixto.
Matorral en 1991 y Agricultura en 1995	3.50	0.82	Cuando agricultura ganó, reemplazó a matorral.
Bosque mixto en 1991 y No Bosque Mixto en 1995	4.92	-0.33	Cuando Categorías No Bosque Mixto ganaron, ellas no reemplazaron a Bosque mixto. El Bosque mixto no perdió.
Matorral en 1991 y No Matorral en 1995	2.61	0.25	Cuando Categorías No Matorral ganaron, ellas reemplazaron a Matorral. Matorral perdió.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la Tabla 5.B interpretamos como las transiciones más sistemáticas en ganancia:

- Una regeneración de Bosque mixto a partir de Pino.
- El Pino ganó a partir de pérdida de Bosque mixto.
- La Agricultura en barbecho. Matorrales sustituyen a Pastos.
- Cultivos sustituyen a Matorrales.
- El Pino sustituye a Matorral. Agricultura sustituye a Matorral.

Tabla 6.A - Análisis de Ganancias 2003-2006.

	2006							TOTAL 2003	PERDIDAS
	1	2	3	4	5	6	7		
	Mixto	Pino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
<b>2003</b>									
1 Mixto	13.36	0.73	0.09	0.00	6.08	0.00	0.34	23.20	7.24
	15.95	2.59	3.23	0.25	4.50	0.02	1.97	28.53	12.67
	0.00	-1.96	-3.15	-0.25	1.58	-0.02	-1.64	-5.43	-5.43
	0.00	-0.73	-0.97	-1.00	0.33	-1.00	-0.83	-0.19	-0.43
2 Pino	2.97	12.54	0.95	0.01	2.70	0.00	1.02	20.19	7.65
	1.08	12.54	2.81	0.22	3.92	0.02	1.72	22.30	9.76
	1.89	0.00	-1.86	-0.21	-1.22	-0.02	-0.70	-2.11	-2.11
	1.75	0.00	-0.66	-0.96	-0.31	-0.85	-0.40	-0.09	-0.22
3 Matorral	0.03	4.24	5.16	0.26	0.97	0.01	1.23	11.90	6.74
	0.04	2.30	5.20	0.10	2.32	0.01	2.02	10.64	5.40
	-0.51	2.85	0.00	0.13	1.34	-0.01	0.22	1.25	1.25
	-0.95	2.07	0.00	1.01	-0.58	-0.49	0.22	0.12	0.23
4 Pasto	0.00	0.20	2.68	1.44	0.66	0.01	1.86	6.84	5.40
	0.37	0.29	0.95	1.44	1.33	0.01	0.58	5.47	4.03
	-0.36	-0.59	1.72	0.00	-0.67	0.00	1.27	1.37	1.38
	-0.99	-0.74	1.81	0.00	-0.51	0.53	2.19	0.25	0.35
5 Agricultura	0.44	2.18	6.23	0.29	12.52	0.00	2.86	24.51	11.90
	1.31	2.85	3.42	0.27	12.52	0.02	2.09	22.47	9.95
	-0.87	-0.67	2.82	0.02	0.00	-0.02	0.77	2.04	2.04
	-0.67	-0.24	0.83	0.00	0.00	-0.91	0.37	0.00	0.21
6 Urbano	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.07	0.08	0.19	0.12
	0.01	0.02	0.03	0.00	0.04	0.02	0.02	0.19	0.12
	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.03	0.00	0.07	0.00	0.00
	-0.99	-0.61	-0.24	1.47	-0.02	0.00	3.98	0.02	0.03
7 Suelo desnudo	0.67	1.91	2.31	0.45	4.23	0.08	3.53	13.17	9.64
	0.70	2.53	2.83	0.14	2.58	0.01	3.55	10.31	6.70
	-0.03	0.38	0.47	0.31	1.67	0.07	0.00	2.86	2.86
	-0.05	0.25	0.26	2.15	0.66	4.93	0.00	0.28	0.42
TOTAL 2006	20.07	21.81	17.43	2.44	27.15	0.18	10.91	100.00	48.76
	20.07	21.81	17.43	2.45	27.15	0.18	10.92	100.00	48.76
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>GANANCIAS</b>	4.11	9.27	12.27	1.01	14.63	0.10	7.39	48.78	
	4.11	9.27	12.27	1.01	14.63	0.10	7.39	48.78	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.B – Transiciones más sistemáticas entre categorías 2003-2006.

**GANANCIAS**

Transición	(Observada menos esperada)	[Diferencia dividida por esperada]	Interpretación de transición sistemática
1 Pino en 2003 y Bosque Mixto en 2006	1.89	1.75	Cuando Bosque mixto ganó, reemplazó a Pino.
2 Matorral en 2003 y Bosque Mixto en 2006.	-0.61	-0.95	Cuando Bosque mixto ganó, no reemplazó a Matorral.
3 Bosque mixto en 2003 y Pino en 2006	-1.96	-0.73	Cuando Pino ganó, no reemplazó a Bosque mixto.
4 Matorral en 2003 y Pino en 2006	2.86	2.07	Cuando Pino ganó, reemplazó al Matorral
5 Bosque mixto en 2003 y Matorral en 2006.	-3.15	-0.97	Cuando Matorral ganó, no reemplazó a Bosque Mixto.
6 Pasto en 2003 y Matorral en 2006	1.72	1.81	Cuando Matorral ganó, reemplazó al Pasto.
7 Matorral en 2003 y Agricultura en 2006	-1.34	-0.58	Cuando Agricultura ganó, no reemplazó a Matorral.
8 Suelo desnudo en 2003 y Agricultura en 2006	2.55	1.67	Cuando Agricultura ganó, reemplazó a suelo desnudo.
9 Bosque mixto en 2003 y No Bosque mixto en 2006	-5.43	-0.43	Cuando las Categorías de No Bosque mixto ganaron, ellas no reemplazaron a Bosque mixto. Bosque mixto no perdió.
0 Agricultura en 2003 y No Agricultura en 2006	2.04	0.21	Cuando las Categorías de No Agricultura ganaron, ellas reemplazaron a Agricultura. Agricultura perdió.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la Tabla 6.B interpretamos como las transiciones más sistemáticas en ganancia:

- Regeneración del Bosque mixto a partir del Pino.
- Regeneración de Pino a partir de Matorral.
- Regeneración de Matorral a partir de Pasto (Agricultura).
- Agricultura surge de un suelo preparado.
- El Bosque mixto se mantuvo.

En las Tablas 7.A y 7.B y en las Tablas 8.A y 8.B se presentan los Análisis de las Pérdidas seguidos de las Transiciones más Sistemáticas entre categorías para 1991-1995 y para 2003-2006 respectivamente, antes y después de Mitch.

Tabla 7.A -. Análisis de Pérdidas 1991-1995

	1995							TOTAL 1991	PERDIDAS
	1	2	3	4	5	6			
	Niño	Pino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
1991									
1 Niño	19.24	4.51	0.17	0.00	4.35	9.00	1.94	29.31	16.08
	19.24	2.10	1.89	0.28	4.24	0.02	1.94	29.92	10.00
	0.00	2.40	-1.53	-0.27	0.11	-0.02	-0.70	0.00	0.00
	0.00	1.14	-0.29	0.29	0.03	-0.92	-0.45	0.00	0.00
2 Pino	4.55	8.64	1.71	0.04	4.24	8.01	0.74	18.72	11.08
	3.82	8.64	1.54	0.25	3.87	0.02	1.59	19.22	11.08
	0.51	0.00	0.18	-0.21	0.38	-0.01	-0.44	0.00	0.00
	0.13	0.00	0.13	-0.83	0.10	-0.41	-0.53	0.00	0.00
3 Matorral	1.21	0.99	5.04	0.44	7.75	9.03	2.49	17.90	12.86
	-4.28	2.16	5.04	0.28	4.23	0.02	1.78	17.90	12.86
	-8.07	-1.23	0.00	0.16	3.42	0.01	0.21	0.00	0.00
	-0.72	-0.52	0.00	0.57	0.79	0.47	0.40	0.00	0.00
4 Pasto	0.02	0.00	1.01	0.81	0.20	9.02	0.07	2.93	2.12
	0.64	0.32	0.29	0.81	0.64	0.00	0.26	2.93	2.12
	-0.62	-0.52	0.73	0.00	-0.44	0.02	0.00	0.00	0.00
	-0.97	-0.99	2.94	0.00	-0.68	5.48	2.28	0.00	0.00
5 Agricultura	3.04	0.36	2.07	0.14	10.75	9.01	3.83	20.18	9.43
	3.94	1.99	1.59	0.26	10.75	0.02	1.64	20.18	9.43
	-0.90	-1.63	0.48	-0.12	0.00	-0.01	-2.17	0.00	0.00
	-0.23	-0.82	0.30	-0.45	0.00	-0.56	1.23	0.00	0.00
6 Urbano	0.14	0.06	0.21	0.07	0.20	9.05	0.18	1.07	1.02
	0.30	0.15	0.12	0.02	0.30	-0.05	0.13	1.07	1.02
	-0.16	-0.09	0.06	0.05	-0.10	0.00	0.21	0.00	0.00
	-0.54	-0.61	0.75	2.74	-0.33	0.00	1.15	0.00	0.00
7 Suelo desnudo	1.39	0.30	1.61	0.43	2.22	8.03	2.11	8.89	5.98
	2.00	1.01	0.81	0.13	2.02	0.01	2.11	8.89	5.98
	-0.61	-0.71	0.80	0.30	0.20	0.02	0.00	0.00	0.00
	-0.30	-0.70	1.00	2.15	0.10	1.02	0.00	0.00	0.00
TOTAL 1995	29.36	14.80	11.82	1.94	29.73	8.16	12.19	100.00	52.57
	34.21	16.37	21.07	2.93	20.18	0.13	10.94	200.00	32.37
	-4.85	-1.57	0.79	-0.99	3.56	0.01	2.15	0.00	0.00
	-0.14	-0.10	0.07	-0.04	0.14	0.08	0.21	0.00	0.00
GANANCIAS	10.13	6.16	6.71	1.14	18.97	8.11	9.21	52.57	
	14.98	7.73	5.99	1.23	15.41	0.10	7.13	52.57	
	-4.85	-1.57	0.79	-0.09	3.56	0.01	2.15	0.00	
	-0.32	-0.20	0.13	-0.07	0.23	0.09	0.30	0.00	

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 7.B – Transiciones más sistemáticas entre categorías 1991-1995.

**PERDIDAS**

Transición	(Observado menos esperado)	Diferencia dividida por esperado)	Interpretación de transición sistemática
Bosque mixto en 1991 y Pino en 1995.	2.40	1.14	Cuando Bosque mixto perdió, lo reemplazó Pino. ✓
Bosque mixto en 1991 y Matorral en 1995.	-1.52	-0.90	Cuando Bosque mixto perdió, no lo reemplazó Matorral. ✓
Pino en 1991 y Agricultura en 1995	0.38	0.10	Cuando Pino perdió, lo reemplazó Agricultura. ✓
Pino en 1991 y Suelo desnudo en 1995.	-0.84	-0.53	Cuando Pino perdió, no lo reemplazó Suelo desnudo. ✓
Matorral en 1991 y Pino en 1995	-1.23	-0.57	Cuando Matorral perdió, no lo reemplazó el Pino. ✓
Matorral en 1991 y Agricultura en 1995	3.42	0.79	Cuando Matorral perdió, lo reemplazó Agricultura. ✓
Agricultura en 1991 y Pino en 1995	-1.63	-0.82	Cuando Agricultura perdió, no lo reemplazó el Pino. ✓
Agricultura en 1991 y Suelo desnudo en 1995	2.17	1.33	Cuando Agricultura perdió, lo reemplazó el suelo desnudo. ✓
No Bosque mixto en 1991 y Bosque mixto en 1995	-4.84	-0.32	Cuando las Categorías No Bosque mixto perdieron, Categorías de No Bosque las reemplazaron. Bosque mixto no ganó. ✓
No Agricultura en 1991 y Agricultura en 1995	3.57	0.73	Cuando Categorías No Agricultura perdieron, Agricultura las reemplazó. Agricultura ganó. ✓

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la Tabla 7.B interpretamos como las transiciones más sistemáticas en pérdidas:

- Ganó Pino a partir de pérdida de Bosque mixto.
- Agricultura hace perder a Pino.
- Cultivos sustituyen a Matorrales.
- Al terminar un cultivo lo sustituye suelo desnudo.
- Agricultura sustituye a las otras categorías.

Tabla 8. A. - Análisis de Pérdidas 2003-2006

	2006							TOTAL 2003	PERDIDAS
	1	2	3	4	5	6	7		
	Mixto	Pino	Matorral	Pasto	Agricultura	Urbano	Suelo desnudo		
<b>2003</b>									
1 Mixto	15.96	0.73	0.09	0.00	6.08	0.00	0.34	23.20	7.24
	15.96	2.98	1.53	0.22	2.46	0.02	0.99	23.20	7.24
	0.00	-1.24	-1.49	-0.22	3.62	-0.02	-0.65	0.00	0.00
	0.00	-0.63	-0.95	-1.00	1.47	-1.00	-0.66	0.00	0.00
2 Pino	2.97	12.54	0.95	0.01	2.79	0.00	1.02	20.19	7.65
	1.96	12.54	1.71	0.24	2.66	0.02	2.07	20.19	7.65
	1.00	0.00	-0.75	-0.23	0.94	-0.01	-0.05	0.00	0.00
	0.51	0.00	-0.44	-0.97	0.01	-0.82	-0.04	0.00	0.00
3 Matorral	0.03	4.24	5.16	0.26	0.97	0.01	1.23	11.90	6.74
	1.64	2.78	5.16	0.20	2.22	0.02	0.89	11.90	6.74
	-1.91	7.46	0.00	0.06	-1.25	-0.01	0.34	0.00	0.00
	-3.24	1.38	0.00	-0.14	-0.56	-0.57	-0.55	0.00	0.00
4 Pasto	0.00	0.20	2.68	1.44	0.66	0.01	1.86	6.84	5.40
	1.12	2.21	0.97	1.44	2.50	0.01	0.60	6.84	5.40
	-1.11	-1.00	1.71	0.00	-0.85	0.00	1.23	0.00	0.00
	-1.00	-0.83	1.77	0.00	-0.56	0.00	2.07	0.00	0.00
5 Agricultura	0.44	2.18	6.23	0.20	12.52	0.00	2.86	24.51	11.09
	3.30	3.89	2.87	0.40	12.52	0.03	2.80	24.51	11.99
	-2.87	-1.41	3.36	-0.12	0.00	-0.03	1.06	0.00	0.00
	-0.87	-0.36	1.17	-0.20	0.00	-0.03	0.50	0.00	0.00
6 Urbano	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.07	0.08	0.19	0.12
	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.07	0.01	0.19	0.12
	-0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.07	0.00	0.00
	-0.99	-0.67	-0.02	0.77	-0.91	0.00	5.26	0.00	0.00
7 Suelo desnudo	0.67	1.91	2.91	0.45	4.23	0.08	8.59	19.17	9.64
	2.17	2.36	1.89	0.26	2.94	0.02	3.52	23.17	9.64
	-1.50	-0.45	0.42	0.16	1.29	0.06	0.00	0.00	0.00
	-0.69	-0.19	0.22	0.70	0.44	3.15	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL 2006</b>	<b>20.07</b>	<b>21.01</b>	<b>17.43</b>	<b>2.44</b>	<b>27.15</b>	<b>0.19</b>	<b>10.91</b>	<b>100.00</b>	<b>48.78</b>
	26.18	31.48	14.18	2.77	24.83	0.18	8.89	100.00	48.78
	-6.10	-1.67	3.25	-0.32	2.83	0.00	2.03	0.00	0.00
	-0.23	-0.07	0.23	-0.12	0.12	-0.02	0.23	0.00	0.00
<b>GANANCIAS</b>	<b>4.11</b>	<b>9.27</b>	<b>12.27</b>	<b>1.01</b>	<b>14.63</b>	<b>0.10</b>	<b>7.39</b>	<b>48.78</b>	
	10.21	20.94	9.03	1.33	12.81	0.11	5.86	48.78	
	-6.10	-1.67	3.25	-0.32	2.83	0.00	2.03	0.00	
	-0.60	-0.15	0.30	-0.24	0.24	-0.04	0.58	0.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.B – Transiciones más sistemáticas entre categorías 2003-2006.

**PERDIDAS**

Transición	[Observado menos esperado]	[Diferencia dividida por esperado]	Interpretación de transición sistemática
1 Bosque mixto en 2003 y Matorral en 2006	-1.49	-0.95	Cuando Bosque mixto perdió, no lo reemplazó Matorral.
2 Bosque mixto en 2003 y Agricultura en 2006	3.62	1.47	Cuando Bosque mixto perdió, lo reemplazó Agricultura.
3 Pino en 2003 y Bosque mixto en 2006	1.00	0.51	Cuando Pino perdió, lo reemplazó Bosque mixto.
4 Pino en 2003 y Matorral en 2006	-0.75	-0.44	Cuando Pino perdió, no lo reemplazó Matorral.
5 Matorral en 2003 y Bosque mixto en 2006	-1.61	-3.24	Cuando Matorral perdió, no lo reemplazó Bosque mixto.
6 Matorral en 2003 y Pino en 2006	2.46	1.38	Cuando Matorral perdió, lo reemplazó el Pino.
7 Agricultura en 2003 y Bosque mixto en 2006	-2.87	-0.87	Cuando Agricultura perdió, Bosque mixto no lo reemplazó.
8 Agricultura en 2003 y Matorral en 2006	3.36	1.17	Cuando Agricultura perdió, Matorral la reemplazó.
9 No Bosque mixto en 2003 y Bosque mixto en 2006	-6.10	-0.60	Cuando Categorías de No Bosque mixto perdieron, Categorías de No Bosque las reemplazaron. Bosque mixto no ganó.
10 No Matorral en 2003 y Matorral en 2006	3.25	0.36	Cuando Categorías de No Matorral perdieron, Matorral los reemplazó. Matorral ganó.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la Tabla 8.B interpretamos como las transiciones más sistemáticas en pérdidas:

- Agricultura intervino al Bosque mixto.
- Regeneración del Bosque mixto a partir del Pino.
- Regeneración de Pino a partir de Matorral.
- Regeneración de Matorral a partir de Agricultura.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados del estudio de la detección de cambios realizado en 2012 (Pineda de Carías, Ochoa, & Corrales, 2012) demandó más profundización, debido a que para algunos investigadores y técnicos era difícil de creer la alta dinámica de cambio presente en el sector estudiado. A nuestro modo de ver, este es precisamente uno de los puntos que Pontius *et al* (Pontius, Shusas, & McEachem, 2004) examinan en su trabajo cuando expresaron que, un modelo que predice que no hay cambios es más creíble que uno que predice altos cambios, el cual puede considerarse hasta equivocado. Los modelos se consideran excelentes cuando domina la persistencia, pero se consideran incorrectos cuando predicen cambios. Para ilustrar que la literatura publicada muestra que este fenómeno es más bien la regla que la excepción, ellos refieren a varios autores tales como: Wear and Bolstad (1998), Mertens y Lambin (2000), Goeghegan *et al* (2001), Schneider y Pontius (2001), Brown *et al* (2002), Chen *et al* (2002), Lo y Yang (2002), y Manson (2002).

Como ya se mencionó, utilizando el Método de Pontius *et al*, en este nuevo trabajo nuestros resultados evidencian una alta dinámica de cambio del paisaje estudiado: 52.57% entre 1991-1995 y 48.78% entre 2003-2006.

Concluimos señalando que, las principales transiciones sistemáticas que se dieron entre 1991-1995 fueron:

- De Bosque mixto a Pino, que interpretamos fueron debidas a la expulsión de grandes aserraderos de la zona;
- De Matorral a Agricultura, debidas al avance de la frontera agrícola de la zona.

Entre 2003-2006 las principales transiciones se dieron:

- De Pino a Bosque mixto, que interpretamos fueron debidas a la importancia económica que adquirieron otras especies, entre los pobladores de la zona;
- De Matorral a Pino, debidas al agotamiento de la capacidad productiva de matorrales que pasaron a especies de mayor valor económico, como el pino.

Estas últimas tendencias revelan la potencialidad de regeneración natural del bosque e intencionalidades humanas de protección y económicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Brown, D., Goovaerts, P., Burnicki, A., & Li, M. Y. (2002). Stochastic simulation of land cover change using geostatistics and generalized additive models. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 68(10), 1051-1061.
- Chen, J., Gong, P., He, C., Luo, W., Tamura, M., & Shi, P. (2002). Assessment of the urban development plan of Beijing by using a CA-based urban growth model. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 68(10), 1063-1071.
- Geoghegan, J., Villar, S. C., Klepeis, P., Mendoza, P. M., Ogneva-Himmelberger, Y., Roy Chowdhury, R., . . . Vance, C. (2001). Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data. *Ecosyst. Environ.*, 85((1-3)), 25-46.
- Lo, C. P., & Yang, X. (2002). Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia metropolitan area. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 68(10), 1073-1082.
- Manson, S. M. (2002). *Integrated assessment and projection of land-use and land-cover change in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico*. Worcester, Massachusetts: Clark University.
- Mertens, B., & Lambin, E. (2000). Land cover-change trajectories in southern Cameroon. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 90(3), 467-494.
- Pineda de Carías, M. C., Ochoa, V. L., & Corrales, R. E. (Diciembre de 2012). Detección de cambios en la cobertura de la tierra de un sector del occidente de Honduras Período 1991-2006. *Ciencia y Tecnología*(Número 11), 78-109.
- Pineda Portillo, N. (2008). *Geografía de Honduras*. Tegucigalpa, Honduras: Multigráficos Flores S. de R. L.
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachem, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101, 251-268.

- Schneider, L., & Pontius, R. (2001). Modeling land-ue change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 85((1-3)), 83-94.
- Wear, D., & Bolstad, P. (1998). Land-use changes in southern Appalachian landscapes: spatial analysis and forecast evaluation. *Ecosystems* , 1, 575-594.

# CONFERENCIA DE CIERRE





# *La necesidad de la validación en los procesos de geosimulación*

Montserrat Gómez Delgado

## **Resumen**

En la presente conferencia se pretende realizar una revisión sobre la evolución que han experimentado los procesos de simulaciones espaciales aplicadas a la planificación del territorio a partir de las TIG, hasta derivar en la creación de lo que podríamos considerar una nueva subdisciplina geográfica: la geosimulación. La intención es abrir una discusión sobre la necesidad y escasa puesta en práctica de procedimientos adecuados de validación que avalen la fiabilidad y robustez de los resultados de unos modelos que no pueden ser contrastados con datos reales, pues se trata de simulaciones prospectivas, en la mayoría de los casos óptimas o deseables, que pretenden controlar y aminorar las consecuencias negativas de las acciones del hombre sobre el territorio, ensayando procesos de planificación futura más sostenibles. Estos procedimientos deberían contar, al menos, con algún proceso que nos permita averiguar la estabilidad y robustez de los resultados arrojados por el modelo (análisis de sensibilidad) y, por otro, controlar la incertidumbre derivada de los posibles errores existentes en los datos espaciales de partida (análisis de incertidumbre).

**Palabras clave:** Geosimulación / Tecnologías de la Información Geográfica / escenarios de simulación / validación.

## **Abstract**

A review of the evolution of the spatial simulations and Geographical Information Technologies in the field of land use planning is presented. It is necessary to open a discussion about the development of appropriated validation methods to reinforce the confidence on the results of the geosimulation processes. The focus of the conference is on those prospective simulation models which results cannot be verified with real data. It is important on those cases, at least, assure the model's robustness by measuring the output stability during model running (sensitivity analysis) and the exploration of the error effects in model results derived from uncertainty of input data (uncertainty analysis).

**Keywords:** Geosimulation / Geographical Information Technologies / simulation scenarios / validation.

---

**Montserrat Gómez Delgado** (montserrat.gomez@uah.es). Unidad docente de Geografía (Dpto. de Geología y Geografía), Universidad de Alcalá, España.

## 1. LOS INICIOS...

Algo lejos quedan ya aquellos tiempos en los que se establecía las tres etapas clásicas de evolución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG): la etapa pionera, a finales de los 60 y años 70 del pasado siglo, con la aparición de los primeros SIG comerciales y la preocupación principal por la resolución de los problemas técnicos derivados de la gestión y almacenamiento de la información espacial. La siguiente etapa en la década de los 80, que podríamos denominar “de comercialización”, una etapa de gran expansión y crecimiento, en la que aparecen ya las grandes empresas relacionadas con la comercialización de los SIG y en la que se da solución a análisis más complejos, posibilitando el desarrollo de aplicaciones más sofisticadas. En la tercera etapa que comienza a finales del siglo XX y llegaría hasta el momento actual, los cambios que se producen son más rápidos y diversos, afectando considerablemente a los datos estrictamente hablando: elaboración, almacenamiento, gestión, visualización, difusión, comercialización, etc. y, por otro lado, registrándose avances en la capacidad de resolución de problemas espaciales.

En el primer caso, y de manera resumida, se ha producido un gran avance en la integración y creación de datos estándar y diseño de metadatos; se mejora la conversión e intercambio de formatos; se desarrollan definitivamente los procedimientos para posibilitar la integración de SIG e Internet (creciendo enormemente la utilización de lenguajes espaciales e hipermedia); comienza la organización de las bases de datos orientadas a objetos (aunque no se popularizan ni desarrollan como se esperaba en un principio) y se dan soluciones tímidas y no definitivas a la inclusión y representación de la componente temporal del dato geográfico (que sigue siendo una asignatura pendiente). Por otro lado, aumentan las funcionalidades (y expansión) de los SIG comerciales (sobre todo de los más tradicionales) y comienza la era del software libre que, en este campo, tampoco tiene la repercusión y desarrollo que se esperaba. Es verdad que ha habido iniciativas prometedoras, pero parece que, por lo menos en el caso español, la crisis ha provocado una ralentización del desarrollo de las mismas.

Atendiendo a las tradicionales funciones básicas de un SIG de “entrada de datos” y “representación de resultados”, habría que hacer mención al enorme desarrollo de lo que algunos autores (Bosque Sendra et al., 2013) ya consideran como otras técnicas diferenciadas dentro de las Tecnologías de la Información Geográfica y que están desarrollándose vertiginosamente en los últimos años: la

Geografía Voluntaria o participativa, liderada por los desarrollos de *Google Map* o *Google Earth* (Goodchild, 2007) y que tienen su continuación en iniciativas como *Wikimapia* u *OpenStreetMap* (entre otras) y la geotecnología móvil (*mobile geospatial technologies*) y los servicios basados en la localización (*location-based services*).

En el segundo campo, resumido como resolución de problemas espaciales, el avance ha sido también bastante importante. Obviamente también se ha tenido que recurrir a otras disciplinas, técnicas, etc. para poder llevar a cabo este tipo de tareas de forma más completa y apropiada. Resumiendo, hasta finales de los años 90 del pasado siglo no se producen las sinergias suficientes para provocar un verdadero avance de los SIG en esta funcionalidad básica y tremendamente importante. Es a partir de los años 90 cuando se pone de manifiesto las deficiencias de los SIG en esta materia y las mejoras básicas que eran necesarias para conseguir configurarse como una herramienta definitiva en la gestión y planificación del territorio (Bosque Sendra, 2001, Bosque Sendra, 2005). Con el desarrollo de otras disciplinas y, especialmente con el espectacular avance de la computación y la programación, se abren nuevas y muy interesantes posibilidades.

En este sentido, quizás la aparición de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) fue una de las primeras respuestas a esas deficiencias (Carver, 1999; Bosque Sendra et al., 2000; Kingston *et al.*, 2000). La solución, como en otros campos de aplicación de los SIG, ha sido la combinación e integración con otras disciplinas y técnicas, además del empleo de una buena dosis de programación.

Tras los SADE, y con el auge de la planificación participativa, aparecen los Sistemas de ayuda a la planificación (*Planning Support Systems*), entendidos como un conjunto de herramientas geo-tecnológicas que han sido desarrolladas para apoyar procesos de planificación pública o privada, a cualquier escala y dentro de cualquier contexto específico de planificación (Brail y Klosterman, 2001; Geertman y Stillwell, 2003). La participación pública en este tipo de procesos de toma de decisiones espaciales supone la inclusión de herramientas de apoyo que pretenden facilitar la interacción de los diferentes agentes implicados, la transmisión de datos, de conocimientos, así como la el manejo de técnicas espaciales complejas (procedimiento de análisis multicriterio, localización de equipamientos, elaboración de mapas especializados, etc.) , sin la necesidad del conocimiento experto de las mismas por parte de todos los usuarios. Las primeras experiencias se desarrollan

en el ámbito de la planificación urbana, pero pronto se extienden a otros campos como la gestión del sector público, provisión de servicios sociales, proyectos participativos promovidos por organizaciones no gubernamentales, etc. (Bosque Sendra y Gómez Delgado, 2010). En Barton y otros (2005) podemos encontrar una revisión de ejemplos de esta nueva forma de entender y desarrollar la tarea planificadora denominada PP-GIS (*Public Participation GIS*), o de manera más amplia y genérica PP-GIT (*Public Participation Geographic Information Technologies*).

Estos avances serían soluciones parciales que surgen concretamente en el campo y la preocupación por la planificación del territorio. De manera más genérica podemos decir que el salto más importante que se produce para intentar solventar estas deficiencias de los SIG se materializa a través de una iniciativa surgida desde un grupo de expertos en TIG y en técnicas estadísticas y cuantitativas, que comienza a combinar el conocimiento geográfico con otras disciplinas como la inteligencia artificial y la informática, aportando a este campo el uso de otras técnicas como los autómatas celulares, los modelos basados en agentes, el modelado borroso, las redes neuronales, la programación genética, etc. (Bosque Sendra, 2005). Esta iniciativa conduce a la creación finalmente de lo que se considera como una nueva subdisciplina geográfica: la Geocomputación<sup>1</sup>, entendida como una forma alternativa de estudiar los problemas territoriales y que se define como “la aplicación de las técnicas y métodos de la informática para mostrar las propiedades espaciales, explicar fenómenos geográficos y resolver problemas geográficos” (Couclelis, 1998).

Paralelamente en estos últimos años, y ante el avance y la gravedad de los problemas derivados del cambio global en el planeta, se hace cada vez más necesaria la utilización de la simulación para intentar de alguna forma obtener imágenes de futuro que nos ilustren sobre las posibles consecuencias de la acción del hombre sobre el territorio. Así, “la simulación por ordenador aparece como una forma diferente y original de hacer ciencia, que no pretende tanto formular leyes y teorías generales, difíciles de establecer para los hechos sociales, sino de crear modelos matemáticos, lo más sencillos posibles, que reproduzcan de la mejor manera algún aspecto del comportamiento y de la organización del territorio” (Bosque Sendra, 2005: 11). De esta forma aparece una nueva era de modelar simulaciones

---

<sup>1</sup> Es posible encontrar más información en [www.geocomputation.org](http://www.geocomputation.org). Esta comunidad organiza conferencias de manera ininterrumpida desde 1996. La próxima tendrá lugar en Mayo de 2013 en la Universidad china de Wuhan.

espaciales a la que se denomina Geosimulación<sup>2</sup>, entendida ésta como el diseño y construcción de modelos espaciales de alta resolución basados en objetos que se utilizan para explorar ideas e hipótesis sobre cómo operan los sistemas espaciales (Benenson y Torrens, 2004). Esta nueva forma de hacer ciencia combina conceptos, métodos y técnicas de la Geografía (especialmente las Tecnologías de la Información Geográfica), las matemáticas, la computación y en cierta forma bebiendo las fuentes de la Teoría General de Sistemas. Si bien es cierto que esta nueva forma de entender la modelación se puede aplicar a un número importante de problemas y fenómenos espaciales, ha sido la simulación en el ámbito urbano donde se han realizado más avances y trabajos (Blecic et al., 2009).

## 2. UN FUTURO PROMETEDOR: LA GEOSIMULACIÓN.

El desarrollo de modelos bajo esta perspectiva está siendo muy importante en los últimos años y se augura un futuro muy prolífico, por ejemplo, con las posibilidades abiertas por los modelos basados en agentes. La representación detallada del medio a través de las bases de datos SIG y la teledetección es crucial y existe, por otro lado, una implicación importante de desarrollo y programación de software de simulación y herramientas de apoyo. La programación orientada a objetos y, por extensión, la modelación orientada a objetos (OOM, Object-oriented modeling), que combina elementos de la inteligencia artificial y los sistemas basados en el conocimiento (KBS, Knowledge-based systems), despuntan como técnicas especialmente útiles para estudiar sistemas dinámicos complejos.

Esta nueva familia de modelos que ha surgido al amparo de las nuevas técnicas y sus beneficiosas fusiones, rechazan la idea de realizar predicciones únicas y absolutas, a favor de la idea de crear numerosas visiones alternativas e identificar que pasaría en el caso de asumir ciertas decisiones sobre el devenir del territorio. Como es lógico, es en el ámbito de la planificación en general, y de la urbana en particular, donde más éxito ha tenido esta práctica, debido a lo complejo e incierto del fenómeno estudiado.

Así, la propuesta de escenarios, entendidos como visiones alternativas de una futura situación (Barredo *et al.*, 2005) se convierten imprescindibles en este

---

<sup>2</sup> Es posible encontrar más información en la página web [www.geosimulation.org/geosim](http://www.geosimulation.org/geosim), puesta en marcha por uno de los pioneros en este tipo de modelación: Paul M. Torrens

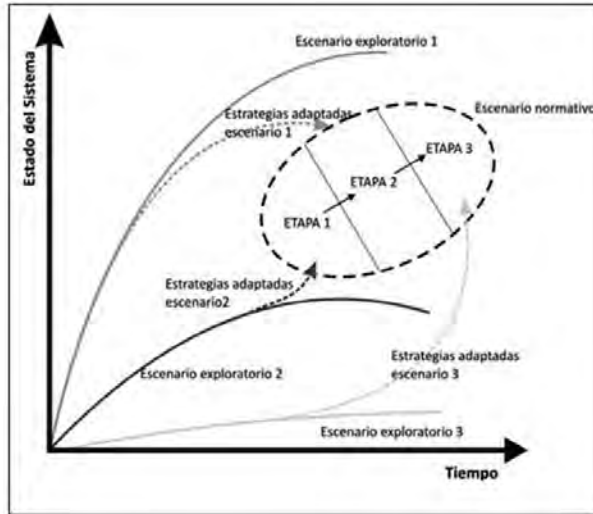
contexto. La filosofía de los escenarios es investigar la implicación de diferentes perspectivas o alternativas de un desarrollo global, regional o local y crear una herramienta de visualización (Shearer, 2005). La ventaja de los escenarios es, por tanto, la posibilidad de recrear diferentes visiones de futuro, probables, posibles y/o deseables (pero no predicciones o previsiones en sentido estricto) y poder comparlas para aprender y tener una imagen de las consecuencias que tendrán en el territorio unas decisiones u otras. Esto permitirá trabajar con planes e instrumentos de planificación lo más adaptables y adecuados para una realidad altamente cambiante, dirigida por factores que en muchos casos escapan de su rango de actuación (Aguilera Benavente *et al.*, 2010; Aguilera Benavente *et al.*, 2011).

La aplicación de escenarios futuros materializado a través de modelos de simulación de crecimiento urbano, cambios de uso de suelo, etc., constituyen un enfoque que se puede denominar *spatial scenario planning* (Aguilera Benavente *et al.*, 2010) y que implica el uso conjunto de instrumentos con imparable y creciente presencia en la literatura científica en los últimos años. Este enfoque espacial y de aplicación conjunta de modelos de simulación y escenarios en la planificación territorial, metropolitana y urbana, se ha convertido en una importante línea de investigación en el contexto del análisis y evaluación de cuestiones ambientales y territoriales, y en general en las cuestiones relativas a los procesos de toma de decisiones en planificación.

Estos escenarios normalmente pretenden dar respuesta a preguntas como ¿qué pasará?, ¿qué puede pasar? o ¿qué debería pasar?, encuadrándose así en los tres modos de pensamiento futuro que los expertos suelen considerar: el predictivo, el exploratorio y el normativo (Aguilera Benavente *et al.* 2010). Obviamente no las tres orientaciones son apropiadas para tratar todos los fenómenos. En el campo que nos concierne, de planificación territorial y urbana, serían la exploratoria y la normativa las más apropiadas (figura 1). Estos escenarios, al contrario que el predictivo, se caracterizan por pensar y diseñar diferentes posibilidades de evolución futura que no tienen por qué coincidir con la más probable, evolución que en un enfoque predictivo se extrae de la relación causal probada entre determinados factores y el hecho proyectado a futuro, por lo que el objetivo es extraer un resultado y probar su validez. Ese enfoque resulta muy discutible y cuestionado por los expertos en el tratamiento de los procesos territoriales, pues se trata de fenómenos demasiado complejos y sujetos a las incertidumbres propias de las tomas de decisiones humanas que impiden realizar una predicción propiamente dicha. Así, movemos entre posibilidades (controladas o no por los planificadores) y situaciones

deseables u óptimas, resultaría más acorde con las características de estos procesos.

Figura 1. Estrategias adaptadas de escenarios exploratorios y normativos.



Fuente: Aguilera Benavente et al., 2011.

Una vez seleccionada la orientación de la simulación, el siguiente paso consistiría en diseñar el escenario de planificación que culminaría en una descripción más o menos detallada del mismo, conocida en la literatura anglosajona como *storyline*. En el trabajo que se viene citando de Aguilera Benavente y otros (2010) es posible encontrar información detallada sobre las fases y etapas a seguir para construir estos escenarios. Estos mismos autores identifican una serie de ventajas y mejoras que este proceso de *spatial scenario planning* aporta al proceso metodológico de planificación territorial, de los que serían destacables especialmente dos. En primer lugar, mejora la capacidad de adaptación de los planes, pues la propuesta de diferentes escenarios pueden adaptarse a la elaboración inicial del plan (*adaptación ex ante*) y, lo que es más importante, mejorar los efectos resultantes de la propia ejecución del plan (*adaptación ex post*). Por otro lado, mejora el proceso de comunicación y participación, ya que la propuesta de distintos escenarios puede ser la excusa perfecta para poner en contacto y discusión a los diferentes agentes implicados en el proceso de toma de decisiones territorial, que podrían aportar distintas perspectivas a la hora de elaborar el escenario más deseable. Este es uno de los objetivos principales de esa nueva forma de abordar la planificación denominada *Public Participation GIS* y al que nos hemos referido anteriormente.



Estos escenarios, o base sobre los que se intentará crear esas hipotéticas imágenes de futuro, se han de materializar mediante algún proceso y técnica. Es decir, una vez establecidos los principios y desarrollado conceptualmente el escenario, es necesario simular la dinámica de ese fenómeno en el contexto establecido (figura 2).

Figura 2. Estructura de los escenarios.



Fuente: Barredo et al., 2005.

Llegados a este punto sería apropiado hacer una aclaración. Si consultamos el diccionario de la lengua española, el significado de simular es “representar algo, fingiendo o imitando lo que no es”. En este contexto cabe matizar que este ejercicio de simulación a partir de modelos no pretende imitar lo que no es, si no lo que podría ser. Así, la simulación es aquí considerada de forma general y genérica como la imitación de un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo. Este acto de simulación requiere del desarrollo de un modelo que representará las características o comportamientos de ese proceso.

En nuestro contexto concreto, es necesario realizar una representación espacial de los escenarios diseñados, lo que les hace especiales por las variables a utilizar y la necesidad de utilizar técnicas que permitan reproducir las características del territorio. No se entiende ya que estas representaciones espaciales futuras en planificación se realicen de forma manual, a través de un diseño intuitivo. Actualmente los modelos de simulación, inicialmente desarrollados en el contexto

de la revolución cuantitativa de la geografía, han experimentado un nuevo auge gracias al aumento y mejora de la computación, el desarrollo de las Tecnologías de la Información Geográfica y entre otros motivos, el extraordinario y descontrolado desarrollo de áreas urbanas en el planeta. Todo ello ha permitido el despegue definitivo de la Geosimulación.

Hoy en día encontramos numerosos ejemplos aplicados a los cambios de usos del suelo y en el ámbito de la planificación territorial. Los modelos y técnicas utilizadas son también muy diversos, como es posible comprobar en la obra de H. Briassoulis (2000). Si nos centramos en el ámbito de las aplicaciones explícitamente espaciales, y la combinación de las TIG con otras técnicas (es decir, el ámbito de la geosimulación), son las técnicas de Evaluación MultiCriterio (EMC), los Autómatas Celulares (AC) o cadenas de Markov los más exitosos, registrándose actualmente una incipiente utilización de los modelos basados en agentes para este fin (Carvalho, 2011).

Los modelos basados en AC han sido especialmente utilizados para la simulación espacial del crecimiento urbano, por su capacidad para representar las principales características de los procesos de dinámica urbana como la complejidad, autosimilitud, etc. Actualmente encontramos una cantidad ingente de trabajos en la literatura. En Santé et al., 2010 y en Triantakonstantis y Mountrakis (2012) es posible encontrar una amplia revisión de ellos. Actualmente encontramos más de 300 trabajos realizados en esta línea en los últimos 10 años, con lo que comprobamos el enorme éxito y proliferación de la geosimulación en éste ámbito de aplicación y otros relacionados con la planificación territorial.

Sin embargo, seguimos encontrando una gran deficiencia en la investigación, desarrollo y puesta en práctica de procedimientos que permitan validar los resultados de estas simulaciones.

### **3. ASIGNATURA PENDIENTE: LA VALIDACIÓN**

Retrocediendo al uso estricto de los SIG en el ámbito de la planificación y la toma de decisiones, ya en la literatura se ha ido recogiendo desde los años 90 la dificultad que conlleva el control de la calidad de los datos en sí, la propagación de los errores a través de las distintas operaciones ejecutadas en un SIG o la validez de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las distintas funciones y operaciones disponibles en el mismo (Guptill y Morrison, 1995; Gómez Delgado y

Bosque Sendra, 2004). Con la integración de otras técnicas y procedimientos, la necesidad de demostrar la calidad y validez de los resultados obtenidos se hace todavía más necesaria (Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2009).

No debemos olvidar que un modelo es siempre una versión simplificada de la realidad que nos permite describir y comprender mejor un determinado problema, recogiendo los elementos y mecanismos esenciales de los sistemas del mundo real (tanto físicos como sociales, económicos o medioambientales). Sin embargo, y a pesar de las ventajas que en el ámbito de la planificación territorial estos modelos pueden presentar, un aspecto necesario en la elaboración de modelos de simulación es la demostración de que esos instrumentos generan representaciones fiables de los sistemas que imitan, teniendo siempre presente que sus resultados, en cualquier caso, no podrán coincidir exactamente con el sistema real que intentan reproducir.

Pero estos procesos de validación han de ser necesariamente distintos dependiendo del tipo de modelo tratado. En el caso de los 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 grado 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 (Rykiel, 1996) o, en el caso de la geosimulación, reproducir distintos tipos de escenarios futuros de desarrollo de un determinado fenómeno espacial. El problema crucial para Rykiel es decidir si el modelo es aceptable para el uso que se le pretende dar (por ejemplo, si imita los procesos del mundo real de manera aceptable) y qué confianza ofrecen las inferencias acerca de los sistemas reales que pueden derivarse de los resultados del modelo. Se trataría, por tanto, de averiguar la adecuación de datos, modelos y resultados al uso que pretendemos hacer de ellos, denominado en la literatura anglosajona como *fitness for use* (Guptill y Morrison, 1995).

En cualquier caso, no existe un acuerdo general en la comunidad científica sobre en qué debe consistir ese proceso de validación. Qureshi *et al.* (1999), por ejemplo, proponen un proceso 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.

Otras propuestas dividen el proceso en tres tareas (Pagelow y Camacho Olmedo, 2008):

a) Verificación o validación interna para comprobar que el modelo está correctamente construido.

b) Calibración o comprobación de si el comportamiento global del modelo se ajusta a los objetivos. En el campo de la simulación, la calibración suele realizarse a partir de la comprobación del ajuste entre los resultados del fenómeno simulado y la situación real en un período previo.

c) Validación como medio para comprobar y mejorar la robustez y la aceptabilidad del modelo.

Sólo con estos dos ejemplos ya podemos comprobar cómo no hay un acuerdo en las componentes que deberían formar parte de este proceso de validación, ni en la definición o significado de las mismas. Es curioso, por otra parte, como se suele aludir a un proceso de validación en el que una de las partes también es denominada como validación. Esto nos parece confuso y poco atractivo para todo aquel científico que pretenda culminar su proceso de desarrollo e investigación con un ejercicio de validación. También hemos de destacar que en ningún caso se suelen abordar todas y cada una de las componentes mencionadas, pues el proceso se convierte en demasiado costoso en esfuerzo y tiempo, cuando ya se ha realizado una inversión importante de ambos en el desarrollo del modelo en sí. Quizás sería más recomendable y acertado intentar llevar a cabo al menos uno de ellos, de forma que los resultados del modelo resultaran relativamente fiables.

El significado literal de validar, según la Real Academia de la lengua Española, es dar fuerza o firmeza a algo, hacerlo válido. Por lo tanto, en este proceso se podría incluir cualquier procedimiento o procedimientos que nos permitan reforzar

la credibilidad de los resultados obtenidos. Pero, ¿cuáles han de ser estos procedimientos?. Probablemente cualquiera que nos permita alcanzar este objetivo, dentro de la gama de posibilidades que actualmente podemos encontrar en la literatura, y en función del tipo de modelo a validar.

Hemos de mencionar que existen muchas propuestas para validar la geosimulación de cambios de usos del suelo. Las posibilidades son muy amplias cuando intentamos reproducir situaciones actuales con datos del pasado. Los resultados de esos cambios modelados pueden ser comparados con los datos actuales y, así, es posible medir su capacidad operacional de manera sencilla. En los últimos años encontramos una cantidad importante de aplicaciones y propuestas (Pontius y Schneider, 2001; Munroe *et al.*; 2002; Ménard y Marceau, 2005; Kocabas y Dragicevic, 2006; Burnicki, *et al.*, 2007; Dendonker, *et al.*, 2008, entre otros muchos). El problema es que gran parte de ellas (matrices de confusión, índice Kappa, etc.) no son viables cuando tratamos de simular la evolución de un fenómeno que no podemos contrastar con un dato real, aunque algunas propuestas sí que serían susceptibles de ser adaptadas a este tipo de modelos.

Sin embargo, al centrarnos en modelos de simulación de escenarios futuros para la planificación territorial, esto es, situaciones probables, óptimas o deseables, es necesario ampliar y flexibilizar este proceso de validación. Hemos de resaltar que, en estos casos, es imposible realizar una validación total, pues no existen datos reales con los que comparar los resultados obtenidos. Así, solo es posible abordar una validación parcial, que, como proponen Pagelow y Camacho Olmedo (2008: 29), podría realizarse contrastando los resultados con las opiniones de expertos, evaluando la estabilidad de los resultados o examinando si existe convergencia con los resultados de modelos diferentes.

Esta validación dependerá también del tipo de escenario simulado. Cuando se trata de representar a futuro tendencias que se han venido registrando hasta el momento actual, es muy habitual utilizar algunas de las técnicas mencionadas anteriormente para calibrar (ajustar) el modelo. Es decir, si con unas determinadas variables y configuración del modelo, la geosimulación es capaz de reproducir adecuadamente lo que sucedió desde el pasado hasta el momento actual, se considera que los resultados que este modelo arroje para el futuro serán igualmente válidos. Esta práctica ha sido muy desarrollada y perfeccionada especialmente en los modelos basados en AC. Aún así, sería necesario realizar algún tipo de análisis de los resultados a futuro que aportara algo más de información sobre la estabilidad

y robustez de los mismos, sin embargo esta no es la práctica habitual.4

La cuestión se complica cuando tratamos de simular escenarios deseables, probables u óptimos. En este caso es necesario y posible realizar algún tipo de validación, adaptando algunos de los métodos ya existentes a las características particulares de este tipo de simulaciones. Es decir, no porque no dispongamos de datos reales con los que contrastar estos resultados, deberíamos conformarnos con lo arrojado por el modelo sin realizar un mínimo análisis de los resultados obtenidos.

Es cierto que en los últimos años se puede encontrar en la literatura más estudios sobre este tema, intentando hacer un esfuerzo por dar mayor confianza a los resultados de estos nuevos procesos de geosimulación, pero todavía queda mucho camino por recorrer, pues se trata siempre de propuestas parciales, sin aportar una metodología clara y cerrada del proceso de validación que debería llevarse a cabo.

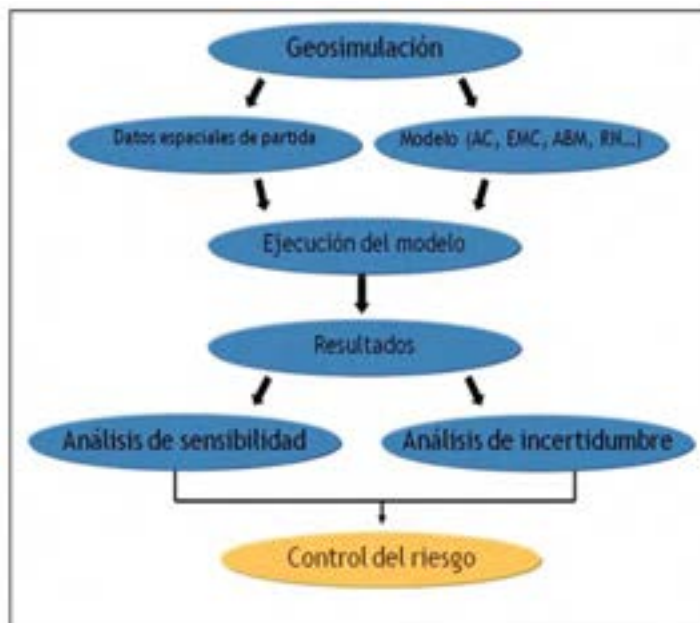
En los últimos años, y tratando de poner ejemplos de diferentes propuestas y en diferentes tipos de modelos utilizados en la geosimulación (AC, cadenas de Markov, EMC), se ha estudiado el efecto de la propagación del error y la incertidumbre en los datos de partida (Yeh y Li, 2006; Burnicki et al., 2007; Fragkias y Seto, 2007); el efecto del tamaño del píxel y del proceso de rasterización (Jantz y Goetz, 2005; Dietzel y Clarke, 2006; Dendoncker *et al.*, 2008); el efecto de la configuración, el tamaño de la vecindad y la escala en los modelos basados en AC (Ménard y Marceau, 2005; Samat, 2006; Kocabas y Dragicevic, 2009; Pan et al. 2010); el efecto del cálculo de la distancia en la técnica de EMC análisis al punto ideal (Baja *et al.*, 2007); la incidencia de la variación de los pesos en un proceso de EMC (Chang *et al.*, 2008, entre otros muchos). Sin embargo, escasos son los trabajos que, centrados en el proceso de geosimulación en sí, añaden una etapa final de validación de los resultados obtenidos (Baja *et al.*, 2007; Fragkias y Seto, 2007; Hu y Lou 2007; Almeida *et al.* 2008;). Esta deficiencia es la que debería corregirse definitivamente y que los estudios no se centraran exclusivamente en este aspecto, sino que se considerase y tratase como una etapa más, y no menos importante, del desarrollo y puesta en práctica del modelo.

En este sentido, partiendo del significado literal del término validar, y teniendo en cuenta las múltiples posibilidades existentes para reforzar los resultados de un modelo, Gómez Delgado (2003) propone una metodología que pretende controlar el riesgo inherente a cualquier toma de decisiones basada en los resultados

de un modelo explícitamente espacial y ejecutado en un entorno SIG (figura 3). Esta metodología se basa en el uso combinado de un análisis de sensibilidad (AS) y un análisis de incertidumbre (AI).

El AS, por un lado, nos permitiría estudiar cómo la variación de los resultados puede ser atribuida (cualitativa o cuantitativamente) a diferentes fuentes y cómo el modelo depende de la información de la que se nutre (Saltelli *et al.*, 2000). 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, de manera individual, o interactuando con otros. Inclusive los resultados de algunos de estos análisis pueden ser utilizados para realizar una simplificación del modelo, si queda demostrado que hay ciertos parámetros o variables que no tienen ninguna repercusión en la variación de los resultados (Gómez Delgado *et al.*, 2012). Esta opción resulta muy interesante para optimizar recursos, especialmente en modelos como los aquí tratados, en los que hay que emplear un esfuerzo importante para recopilar toda la información espacial y temática necesaria para el buen funcionamiento de los mismos.

Figura 3. Validación en los procesos de geosimulación.



El AI, por su parte, trataría de ofrecer una alternativa a los procesos habituales de verificación que se relacionan exclusivamente con el problema del error en los datos de partida. Este proceso se ha demostrado insuficiente en el contexto de los modelos espaciales tratados en un SIG, por la falta de datos de mayor exactitud para realizar tales verificaciones, por las limitaciones para la estimación de la propagación del error (normalmente se asume que el error tiene una distribución normal y que no existe variación espacial del mismo) o la inexistencia de procedimientos y herramientas que permitan gestionar y reducir el error una vez estimado (Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2004). En cualquier caso, se trata de un problema que actualmente es abordado en otros muchos campos, y así Fayerweather y otros (1999: 1077), desde las ciencias de la salud, advierten sobre cómo la comunidad científica se encuentra hoy dirigiendo sus esfuerzos hacia el desarrollo de procedimientos que nos permitan aproximarnos al riesgo de un modelo a través de la caracterización y cuantificación de la incertidumbre inherente a los resultados del mismo. Así, siguiendo el principio de validación que venimos proponiendo, el objetivo no sería tanto conocer la cantidad de error, sino poder tener la confianza de que el error y la incertidumbre a esos niveles no ponen en duda la validez de los resultados. Dado que uno de los principales problemas a la hora de examinar el problema del error es que no solemos contar con datos más exactos con los que llevar a cabo un proceso real de verificación, una de las posibilidades más habitualmente utilizadas es la de introducir algún tipo de error o perturbación en los datos de entrada del modelo e intentar cuantificar su impacto en la variación de los resultados del mismo (Gómez Delgado *et al.*, 2012). A finales de los 90 encontrábamos en la literatura varias propuestas interesantes, aunque algunas de ellas difíciles de implementar (Emmi y Horton, 1996; Arbia y Haining, 1998). Basándose en estos trabajos previos, Gómez Delgado y Bosque Sendra (2004) realizan una propuesta más asequible de introducción de error utilizando las herramientas disponibles en cualquier SIG. En los últimos años, hemos podido comprobar cómo esta opción de validación ha sido muy popular, especialmente en la validación de modelos de cambios de usos del suelo (Yeh y Li, 2006; Burnicki *et al.*, 2007; Rae *et al.*, 2007; Dendoncker *et al.*; 2008; Pantus *et al.*, 2008; Huang y Laffan, 2009).

De esta forma, pensamos que se abordan y tratan los dos problemas esenciales que pueden plantearse en estos ejercicios de geosimulación: por un lado el AS nos ofrecería información sobre la robustez de los resultados y el AI trataría uno de los principales problemas inherentes a cualquier dato geográfico: el problema del error y la incertidumbre. Por lo tanto, parece que como mínimo se deberían incorporar estos dos procesos a la etapa final de desarrollo de una geosimulación.



Desde entonces se han desarrollado varios trabajos en esta línea, intentado realizar propuestas en ambos tipos de análisis (Gómez Delgado y Tarantola, 2006; Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2009; Orán et al., 2010; Pascual et al., 2010; Orán et al., 2011; Pascual et al., 2011, Plata Rocha et al., 2012; Barreira González et al., 2012). En todos los casos se ha intentado adaptar la metodología o filosofía utilizada en procesos de validación ya consagrados y establecidos en otros campos disciplinares (modelado numérico utilizado en física, ingeniería, química, etc.) al contexto particular de la geosimulación, en el que las especiales características de las variables espaciales, supone todo un reto de adaptación, pero no imposible.

Esperamos que por lo menos esta breve conferencia sirva para concienciar más a los expertos y profesionales de la necesidad de incorporar estas prácticas en la geosimulación y animar a desarrollar metodologías y procedimientos adaptados a los distintos tipos de modelos que actualmente se utilizan para ofrecer nuevas perspectivas en el ámbito de la planificación. Sin duda será un valor añadido que reforzará la confianza de todos los agentes implicados en estos procesos, en los datos obtenidos a través de unas tecnologías con las que no suelen estar muy familiarizados.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Benavente, F.; Gómez Delgado, M. y Cantergiani, C.C. (2010): "Instrumentos de simulación prospectiva de crecimiento urbano", en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, Vol. 165-166, págs. 481-495.
- Aguilera Benavente, F.; Valenzuela Montes, L.M.; Soria Lara, J.A.; Gómez Delgado, M. y Plata Rocha, W. (2011): "Escenarios y modelos de simulación como instrumento en la planificación territorial y urbana", en *Serie Geográfica*, No. 17, págs. 11-28.
- Almeida, C.M.; Gleriani, J.M.; Castejon, E.F. y Soares-Filho, B.S. (2008): "Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics" en *International Journal of Geographical Information Science*, No. 22 (9), págs. 943-963.
- Arbia, G. y Haining, R. (1998): "Error propagation modelling in raster GIS: overlay operations", en *International Journal of Geographical Information Science*,

Vol.12 (2), págs. 145-167.

- Baja, S.; Chapman, D.M. y Dragovich, D. (2007): "Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning" en *Environmental Modeling & Assessment*, No. 12, págs. 171-184.
- Barredo, J.I.; Petrov, L.; Sagris, V.; Lavalle, C. y Genovese, E. (2005): "Towards an integrated scenario approach for spatial planning and natural hazards mitigation", Report EUR 21900 EN, Ispra, Institute for Environment and Sustainability (European Commission, Joint Research Centre).
- Barreira González, P.; Aguilera Benavente, F. y Gómez Delgado, M. (2012): "Propuesta de un análisis de sensibilidad para validar modelos prospectivos de simulación de crecimiento urbano basados en autómatas celulares", en *Geo-Focus*, No.12, págs.. 303-328.
- Barton, J.; Plume, J. y Parolin, B. (2005): "Public participation in a spatial decision support system for public housing", en *Computers, Environment and Urban Systems*, N°.29 (6), págs. 630-652.
- Benenson, I. y Torrens, P. (2004): *Geosimulation: automata-based modelling of urban phenomena*. London, John Wiley & Sons.
- Blečić, I.; Cecchini, A. Trunfio, G.A. (2009): "A multi-agent Geosimulation infrastructure for planning", en Murgante, B.; Borruo, G. y Lapucci, A.: *Geocomputation & Urban Planning*, Berlin, Springer, págs. 237-253.
- Bosque Sendra, J.; Gómez Delgado, M.; Moreno, A. y Dal Pozzo, F. (2000): "Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos", en *Estudios Geográficos*, Tomo LXI, No. 241, págs. 567-598.
- Bosque Sendra, J. (2001): "Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE)" en *El Campo de las Ciencias y las Artes*, No. 138, págs. 137-174
- Bosque Sendra, J. (2005): "Espacio geográfico y ciencias sociales. Nuevas propuestas para el estudio del territorio", en *Investigaciones regionales*, No. 6, págs. 203-224.

- Bosque Sendra, J. y Gómez Delgado, M. (2010): “Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial para la ordenación del territorio”, en Pineda, M.C. y Bosque Sendra, J. (Eds): I Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, pp. 1-33.
- Bosque Sendra, J.; Aguilera Benavente, F.; Barreira González, P.; Gómez Delgado, M.; Rodríguez Espinosa, V.M. y Salado García, M.J. (2013): “La enseñanza de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en España y en Europa”, XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, Tegucigalpa (Honduras), 3-5 de Julio de 2013.
- Brail, R.K. y Klosterman, R.E. (2001): Planning support systems. Integrating geographic information systems, models and visualization, Redlands, CA, ESRI Press.
- Briassoulis, H. (2000). Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. Regional Research Institute, West Virginia University. [consulta 31-03-2013]. Disponible en <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>
- Burnicki, A.C.; Brown, D.G. y Goovaerts, P. (2007): “Simulating error propagation in land-cover change analysis: the implications of temporal dependence”, en Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 31(3), págs. 282-302.
- Carvalho Catnerjiani, C. (2011): “Modelos basados en agentes aplicados a estudios urbanos: una aproximación teórica”, en Serie Geográfica, No.17, págs. 107-121.
- Carver, S. (1999): “Developing Web-based GIS/MCE: improving access to data and spatial decision support tools”, en Thill, J.C.: Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis. A geographic information sciences approach, Aldershot, Ashgate Publishing Ltd., págs. 49-75.
- Couclelis, H. (1998): “Geocomputation and space”, en Environment and Planning B: Planning and Design , No. 25th Anniversary Issue, págs. 41-47.
- Dendoncker, M.; Schmit, C. y Rounsevell, M. (2008): “Exploring spatial data

uncertainties in land-use change scenarios”, en *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 22(9), págs. 1013-1030.

- Dietzel, C. y Clarke, K.C. (2006): “The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, pp. 78-101.
- Emmi, P.C. y Horton, C.A. (1996): “Seismic risk assessment, accuracy requirements, and GIS-based sensitivity analysis”, en Goodchild, M.F; Steyaert, L.T. y Parks, B.O. (Eds.): *GIS and Environmental modeling: progress and research issues*. Fort Collins, CO: GIS World Books, págs. 191-195.
- Fayerweather, W.E.; Collins, J.J.; Schnatter, A.R.; Hearne, F.T.; Menning, R.A. y Reyner, D.P. (1999): “Quantifying uncertainty in a risk assessment using human data”, en *Risk Analysis*, Vol.19 (6), págs.1077-1090.
- Fragkias, M. y Seto, K.C. (2007): “Modeling urban growth in data-sparse environments: a new approach” en *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.34 (5), págs. 858-883.
- Geertman, S. y Stillwell (Eds.) (2003): *Planning support systems in practice*. Berlin, Springer.
- Gómez Delgado, M. (2003): *Sistemas de Información Geográfica y toma de decisiones: control del riesgo a partir de análisis de sensibilidad y análisis de incertidumbre*. Tesis doctoral inédita, Universidad de Alcalá.
- Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2004): “Análisis de incertidumbre para la gestión del riesgo”, en *GeoFocus (Artículos)*, No. 4, págs.179-208.
- 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”, en *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.20, págs. 449-466.
- Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2009): “Validation of GIS-Performed analysis”, en: Joshi, P. K., Pani, P., Mohapatra, S. N., Singh, T. P. (Ed.): *Geoinformatics for Natural Resource Management*, Nova Science Publishers, págs.

559-571.

- Gómez Delgado, M.; Plata Rocha, W.; Orán Cáceres, J.P.; Calabia Aibar, A.; Barreira González, P. (2012): "Procedimientos de validación de modelos de crecimiento urbano futuro", en Gómez Delgado, M. y Rodríguez Espinosa, V.M. (Eds): *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con Tecnologías de la Información Geográfica*, Paracuellos de Jarama, Editorial Ra-Ma, págs. 237-274.
- Goodchild, M. (2007): "Citizens as sensors: the world of volunteered geography", en *GeoJournal* No. 69 (4), págs. 211-221. [consulta 31-03-2013]. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10708-007-9111-y>.
- Guptill, S.C. y Morrison, J.L. (1995): *Elements of spatial data quality*. Oxford, International Cartographic Association, Elsevier Science.
- Hu, Z. y Lo, C.P. (2007): "Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression" en *Computers, Environment and Urban Systems*, *Computers, Environment and Urban Systems*, No. 31 (6), págs. 667-686.
- Huang, Z. y Laffan, S.W. (2009): "Sensitivity analysis of a decision tree classification to input data errors using a general Monte Carlo error sensitivity model", en *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 23 (11), págs. 1433-1452.
- Jantz, C.A. y Goetz, S.J. (2005): "Analysis of scale dependencies in an urban land use change model", *International Journal of Geographical Information Science*, 19 (2), pp. 217-241
- Kingston, R.; Carver, S.; Evans, A. y Turton, I. (2000): "Web-based public participation geographical information systems: an aid to local environmental decision-making", en *Computers, Environment and Urban Systems*, No. 24, págs. 109-125.
- Kocabas, V. y Dragicevic, S. (2006): "Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach", en *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 30, págs. 921-953.

- Ménard, A. y Marceau, D.J. (2005): "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", en *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 32, págs. 693-714.
- Munroe, D.K.; Southworth, J. y Tucker, C.M. (2002): "The dynamics of land-cover change in western Honduras: exploring spatial and temporal complexity", en *Agricultural Economics*, Vol. 27, págs. 355-369.
- 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, págs. 971-987.
- Orán Cáceres, P.; Gómez Delgado, M. y Plata Rocha, W. (2011): "Posibilidades de aplicación de un análisis de sensibilidad secuencial a un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio", en Pineda Jaimes, N.B. et al. (Editores) (2011): *La innovación geotecnológica como soporte para la toma de decisiones en el desarrollo territorial*. XIII CONFIBSIG (Toluca, México, Mayo 2011), pp. 1-24.
- Paegelow, M. y Camacho, M.T. (2008): *Modelling Environmental Dynamics*. Berlin, Springer-Verlag.
- Pan, Y.; Roth, A.; Yu, Z. y Doluschitz, R. (2010): "The impact of variation in scale on the behavior of cellular automata used for land use change modelling" en *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 34, págs. 400-408.
- Pantus, F.J.; Ellis, N.; Possingham, H.P. y Venables, W. (2008): "Sensitivity analysis of spatially aggregated responses: A gradient-based method", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.22 (5), págs. 575-599.
- 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. págs. 1.000-1.013.

- Pascual Rosa, V.; Aguilera Benavente, F.; Barreira González, P.; Gómez Delgado, M.; Santos Preciado, J.M. y Bosque Sendra, J. (2011): “Métodos de comparación de mapas simulados del crecimiento urbano con mapas reales”, en Pineda Jaimes, N.B. et al. (Editores) (2011): La innovación geotecnológica como soporte para la toma de decisiones en el desarrollo territorial. XIII CONFIBSIG (Toluca, México, Mayo 2011), págs. 1-19.
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2012): “Proposal for the introduction of the spatial perspective in the application of global sensitivity analysis”, en *Journal of Geographic Information System*, No. 4, págs. 503-513.
- Pontius, R.G. Jr. y Schneider, L.C. (2001): “Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA”, en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 85, págs. 239-248.
- Qureshi, M.E.; Harrison, S.R. y Wegener, M.K. (1999): “Validation of multicriteria analysis models”, en *Agricultural Systems*, Vol. 62, págs. 105-116.
- Rae, C.; Rothley, K. y Dragicevic, S. (2007): “Implications of error and uncertainty for an environmental planning scenario: a sensitivity analysis of GIS-based variables in a reserve design exercise”, en *Landscape and urban planning*, Vol. 79, págs. 210-217.
- Rykiel, E.J. Jr. (1996): “Testing ecological models: the meaning of validation”, en *Ecological modelling*, Vol. 90, págs. 229-244.
- Saltelli, A.; Chan, K. y Scott, E. (2000): *Sensitivity Analysis*. Chichester, John Wiley & Sons, LTD.
- Samat, N. (2006): “Characterizing the scale sensitivity of the cellular automata simulated urban growth: a case study of Seberan Perai Region, Penang State, Malaysia”, en *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.30, págs. 905-920.
- Santé, I.; García, A.M.; Miranda, D. y Crescente, R., (2010): “Cellular autómatas models for the simulation of real world urban processes: A review and analysis”,

en Landscape and Urban Planning, No. 96, págs. 108-122.

- Shearer, A.W. (2005): "Approaching scenario-based Studies: three perceptions about the future and considerations for landscape planning", en Environment and Planning B: Planning and Design, No.32, págs. 67-87.
- Triantakonstantis, D. y Mountrakis, G. (2012): "Urban growth prediction: a review of computational models and human perceptions", No. 4, págs. 555-587.
- Yeh, A.G. y Li, X. (2006): "Errors and uncertainties in urban cellular automata", Computers, Environment and Urban Systems, Vol.30, págs. 10-28.



## NOTAS INFORMATIVAS



# *Revista Ciencias Espaciales, instrucciones a los autores y criterios para el diseño, diagramación y maquetación*

## **Historia:**

La Facultad de Ciencias Espaciales (FACES) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras fue creada por el Consejo Universitario en Abril de 2009, en reconocimiento al funcionamiento del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS) que venía funcionando desde la década anterior. Está organizada en los departamentos académicos de Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural y Ciencias Aeronáuticas. Un departamento es la unidad académica básica y fundamental de la Universidad que agrupa a una comunidad de docentes especializados en un campo determinado del conocimiento, que trabaja organizadamente en equipo en la docencia, la investigación, la vinculación con la sociedad, la asesoría y gestión académica.

Desde su creación, ha sido política de la FACES el desarrollo de la investigación científica como una de sus actividades académicas más importantes. En consecuencia todos los profesores de sus departamentos, participan y desarrollan proyectos de investigación científica incluidos como parte de la Carga Académica, participando con grupos de investigadores nacionales y extranjeros.

En el año 2009, la producción científica de los profesores de la FACES empezó a hacerse evidente por lo que la Dirección de Investigación de la UNAH dedicó toda la temática de la Revista Ciencia y Tecnología, Número 4, Segunda Época, Junio 2009 (ISSN: 1995 – 9613) para publicar los resultados de los proyectos de investigación científica realizados por el OACS ahora Facultad de Ciencias Espaciales, como un reconocimiento a su esfuerzo y a la integración sistemática de la investigación al

trabajo académico universitario.

La motivación para publicar una revista propia de la Facultad de Ciencias Espaciales estaba dada. En 2009, coincidiendo con la celebración del Año Internacional de la Astronomía, en la FACES se creó la Revista Ciencias Espaciales. Esta sería una publicación semestral, dedicando el primer número del año, denominado *primavera* a la producción científica de los diferentes campos del conocimiento trabajados en la FACES; y el segundo número, denominado *otoño*, dedicado exclusiva y rotativamente a uno de los campos que desarrolla la Facultad.

### **Descripción de la Revista**

La Revista Ciencias Espaciales es una publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Cada año calendario se publica un Volumen que consta de dos Números. El primero, Número 1, llamado *Primavera*, incluye artículos de los campos de Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, y Ciencias Aeronáuticas. El segundo, el Número 2, llamado *Otoño*, se dedica rotatoriamente por años, a cada uno de los campos que trabaja la Facultad. Para distinguir cada uno de los campos temáticos, el fondo de la Revista cambia de: azul espacio para Astronomía y Astrofísica, verde tierra para Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, rojo ladrillo para Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, azul cielo para Ciencias Aeronáuticas.

La Revista Ciencias Espaciales tiene un Director y un Consejo Editorial integrado por los profesores de los Departamentos de la Facultad y otros profesores visitantes. Ellos son los encargados de recibir y gestionar el proceso de selección de los artículos, edición y publicación de la Revista. Dependiendo del campo temático del año, rotatoriamente un Editor coordina el Consejo Editorial. La Revista Ciencias Espaciales cuenta además con un Consejo Científico Internacional responsable de velar por la calidad del contenido de la Revista. En el interior de la Portada se publican los nombres del Director, Editor, Miembros del Consejo Editorial y del Consejo Científico.

La Revista Ciencias Espaciales publica artículos de autores nacionales y extranjeros, residentes dentro o fuera del país. Los artículos publicados pueden estar referidos a investigaciones originales en el campo de la Astronomía y la Astrofísica.

ca, la Ciencia y las Tecnologías de la Información Geográfica, la Arqueoastronomía y la Astronomía Cultural, y las Ciencias Aeronáuticas. El contenido de cada artículo es responsabilidad de sus autores.

El arte y diagramación de la Revista Ciencias Espaciales es aprobado por la Secretaría Ejecutiva de Desarrollo Institucional de la UNAH y la Editorial Universitaria. Las dimensiones de cada ejemplar son de 23.4x16cm.

## Instrucciones a los autores

Cada artículo que se remita para ser publicado en la Revista Ciencias Espaciales debe organizarse en los siguientes apartados: Título del artículo; Nombre de los autores, filiación, dirección y correo electrónico; Resumen y palabras clave, en idioma español e inglés. El texto del documento debe contener un Introducción, descripción de la metodología utilizada, presentación de resultados, discusión y conclusiones. Al final del documento se deben incluir las referencias bibliográficas, seguidas de las Tablas y Figuras utilizadas.

### El título

- Debe escribirse con letra inicial mayúscula.
- Debe ser conciso, pero informativo. Su objetivo es dar a conocer al lector lo esencial del artículo. No debe exceder de 15 palabras.

### Los autores

- El nombre completo de cada uno de los autores debe acompañarse de su grado académico más alto, institución a la que pertenece y cargo que ocupa.
- Indicar el nombre del departamento, institución o instituciones a las que se debe atribuir el trabajo.
- Dirección electrónica, teléfono y la dirección del autor responsable de la correspondencia a la que puede dirigirse avisos sobre el artículo.

### Resumen y palabras clave

- El Resumen debe contener un máximo de 250 palabras.
- Debe contener los objetivos del estudio; metodología, técnicas o procedimientos básicos utilizados; los resultados más destacados y las principales conclusiones. Hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosas o de mayor importancia.

- Después del Resumen se deben incluir de 3 a 5 palabras clave las cuales facilitaran el indizado del artículo.
- El Resumen y las palabras clave deben también ser presentadas en idioma Inglés.

### **Introducción:**

La finalidad de esta sección es ubicar al lector en el contexto en el que se realizó la investigación, por lo que debe mencionar claramente los siguientes aspectos: El propósito o finalidad de la investigación: es importante que quede claro cuál ha sido el problema estudiado, y cuál es la utilidad del producto de la investigación (para qué sirve, a quien le sirve, donde se puede usar, etc.).

- Se debe enunciar de forma resumida la justificación del estudio.
- Los autores deben aclarar que partes del artículo representan contribuciones propias y cuales corresponden a aportes de otros investigadores, incluyendo en estos casos las referencias bibliográficas apropiadas.
- En esta sección se describirá de manera muy general la metodología empleada, resultados y las conclusiones más importantes del trabajo.
- Se pueden enunciar los retos que conllevó la realización de la investigación y una explicación breve de cómo se superaron.

### **Metodología:**

En términos generales, es la manera estructurada por medio de la cual se ha logrado obtener conocimiento o información producto de la investigación. En términos prácticos, es la manera seleccionada para solucionar el problema estudiado.

Aquí se describe el diseño del método o del experimento (aleatorio, controlado, casos y controles, prospectivo, etc.). Se indicará con claridad cómo y por qué se realizó el estudio de una manera determinada. Se ha de especificar cuidadosamente el significado de los términos utilizados y detallar de forma exacta cómo se recogieron los datos. Estos métodos se describirán también en el resumen del artículo.

Se describe el área de estudio, población u objetos sobre los que se ha hecho la investigación. Describe el marco y cómo se ha hecho su selección. Describe con claridad cómo fueron seleccionados los sujetos, objetos o elementos sometidos a observación.

Se indica el entorno dónde se ha hecho el estudio. Procure caracterizar el lugar o ubicación escogida.

Se describen las técnicas, tratamientos (siempre utilizar nombres genéricos), mediciones y unidades, pruebas piloto, aparatos y tecnología, etc. Describa los métodos, aparatos y procedimientos empleados con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan reproducir los resultados.

### **Resultados:**

Presente los resultados auxiliándose de tablas y figuras, siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas o figuras; destaque o resuma tan solo las observaciones más importantes. Recuerde que las tablas y figuras deben tener una numeración correlativa y siempre deben estar referidos en el texto.

Los resultados deben ser enunciados claros, concretos y comprensibles para el lector; y por supuesto, se deben desprender del proceso investigativo enmarcado en el artículo.

### **Discusión:**

Haga hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio y en las conclusiones que se derivan de ellos. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados de introducción y resultados.

Explique en éste apartado el significado de los resultados, las limitaciones del estudio, así como sus implicaciones en futuras investigaciones. Si es posible se compararán las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.

### **Conclusiones:**

Son proposiciones o ideas producto o resultado de la investigación realizada, de modo que se deben relacionar con los objetivos del estudio. Evite afirmaciones poco fundamentadas o subjetivas y conclusiones insuficientemente avaladas por los datos.

## **Agradecimientos:**

De manera opcional, al final puede incluir los agradecimientos. Este debe ser un apartado muy breve, en donde se agradece a las personas que han colaborado con la investigación, pero que no cumplan los criterios de autoría. Por ejemplo, se puede dar gracias a los que colaboraron con la ayuda técnica recibida, o en la escritura del artículo. También puede incluir en los agradecimientos el apoyo financiero y los medios materiales recibidos.

## **Bibliografía:**

Este apartado se construye de acuerdo a las normas internacionales APA, distinguiendo si la cita se refiere a un solo autor o a varios autores de un artículo, al autor de un libro, sección o capítulo de un libro, a una referencia de una publicación periódica u obtenida en Internet. En tal sentido, es necesario incluir todas las fuentes que sustentan la investigación realizada y que se usaron directamente en el trabajo.

## **Tablas, Figuras y leyendas de las figuras**

### **Tablas**

- Se enumeran correlativamente desde la primera hasta la última. Asígneles un breve título a cada una, pero no dentro de estas.
- En cada columna figurará un breve encabezamiento.
- Las explicaciones o información adicional se pondrán en notas a pie de la Tabla, no en el título de la tabla. En estas notas se especificarán las abreviaturas no usuales empleadas, para hacerlo se usarán como llamadas.
- Identifique las unidades de medida utilizadas. Asegúrese de que cada Tabla se halle citada en el texto, recuerde que sin esa referencia su presencia en el artículo no tiene validez.

### **Figuras**

- Las figuras se numerarán consecutivamente según su primera mención en el texto, desde la primera hasta la última. El formato, letras, números y símbolos usados en las figuras, serán claros y uniformes en todos los que aparezcan en el artículo.



- Los títulos y las explicaciones detalladas se incluirán en las leyendas de las figuras y no en las mismas figuras.
- Si se emplean fotografías de personas, figuras o imágenes que no son de elaboración propia, se deberá incluir el permiso por escrito para poder utilizarlas.
- Todas las figuras, fotografías e ilustraciones debe tener un pie de imagen que las identifique.

## Unidades de medida

Las unidades de medida se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal. Se debe tomar como referencia el Sistema Internacional de Unidades.

## Abreviaturas y símbolos

En las siglas, abreviaturas y símbolos, use únicamente las normalizadas. Evite las abreviaturas en el título y en el resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura o sigla, esta irá precedida del término completo, salvo **Recomendaciones generales para presentar el artículo**

- Todo el artículo debe presentarse con letra Arial Narrow, tamaño 12.
- Inicie cada sección o componente del artículo después de donde terminó el anterior.
- La extensión total del artículo tendrá un máximo de 17 páginas, a doble espacio.
- Las tablas deben enviarse en formato digital, una tabla por página.
- Las figuras deben enviarse en formato digital, con la mayor resolución posible y en un formato jpg. Una figura por cada página.
- Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado, para la utilización de figuras o ilustraciones que puedan identificar a personas o para imágenes que tengan derechos de autor. Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
- Todo el artículo se imprimirá en papel blanco tamaño carta, con márgenes de 2 cm a cada lado (superior, inferior, derecho e izquierdo). El papel se imprimirá en una sola cara.
- Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por el título. El número de página se ubicará en el ángulo inferior derecho de cada página.
- En la copia en soporte electrónico (en CD, memoria o correo electrónico) se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: a) Cerciorarse de que se

ha incluido la misma versión del artículo impreso; b) Incluir en el CD, memoria correo electrónico, solamente la última versión del manuscrito; c) Especificar claramente el nombre del archivo; d) Etiquetar el CD, memoria o el correo electrónico correctamente; e) Facilitar la información sobre el software y hardware utilizado, si procede.

## **Criterios para el diseño, diagramación y maquetación de la revista ciencias espaciales**

### **De la Portada:**

#### **Texto:**

- Ciencias Espaciales. Tipo: Times New Roman. Tamaño: 48. Color: blanco.
- Publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales FACES.
- Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Número, Volumen, Año, Temporada.
- ISSN: 2225 – 5249
- Tipo: Arial Narrow. Tamaño: 14. Color: blanco.
- **Imágenes y logos:**
- Logo de la UNAH
- Imagen alusiva al contenido

#### **Color de fondo:**

- Revista Ciencias Espaciales de Astronomía y Astrofísica: Azul espacio. R:42, G:75, B:106.
- Revista Ciencias Espaciales de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural: Rojodrillo. R:130, G:47, B:44.
- Revista Ciencias Espaciales de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica: Verde Tierra. R:0, G:124, B:103.
- Revista Ciencias Aeronáuticas: Azul cielo. R:160, G:199, B:230.

#### **Dimensiones:**

- 23.4 x 16 cm. Grosor varía.

## **Del Lomo:**

### **Texto:**

- Ciencias Espaciales. Tipo: Times New Roman. Tamaño: 12, Color: Blanco.
- Número x, Volumen x, Año xxxx, Mes xxxxxxxx, Temporada xxxxx.

### **De la Contraportada:**

### **Imágenes y logos:**

- UNAH.
- Facultad de Ciencias Espaciales.

## **Del interior de la Revista**

### **Texto:**

- Tipo de letra: Arial Narrow. Tamaño: 12.
- Espaciado: Anterior 0 puntos. Posterior 10 puntos. Interlineado: mínimo.
- Márgenes: superior: 0.8 pulgadas, izquierdo: 0.8 pulgadas, inferior: 1 pulgada, derecho: 0.5 pulgadas.
- Figuras: Tipo de letra: Arial Narrow. Tamaño: 12.

### **Las páginas de la derecha deben llevar:**

- En la parte superior el nombre del artículo.
- En la parte inferior Facultad de Ciencias Espaciales y el número de página.

### **Las páginas de la izquierda deben llevar:**

- En la parte superior: Revista Ciencias Espaciales, Número x, Volumen x, Año xxxx, Mes xxxxxxxx, Temporada xxxxx.
- En la parte inferior Facultad de Ciencias Espaciales y el número de página.

*Fecha última actualización: Septiembre, 2014.*



Facultad de Ciencias Espaciales  
Edificio K-2, Ciudad Universitaria  
Tel/fax: (504) 2239-4948  
web: [www.faces.unah.edu.hn](http://www.faces.unah.edu.hn)