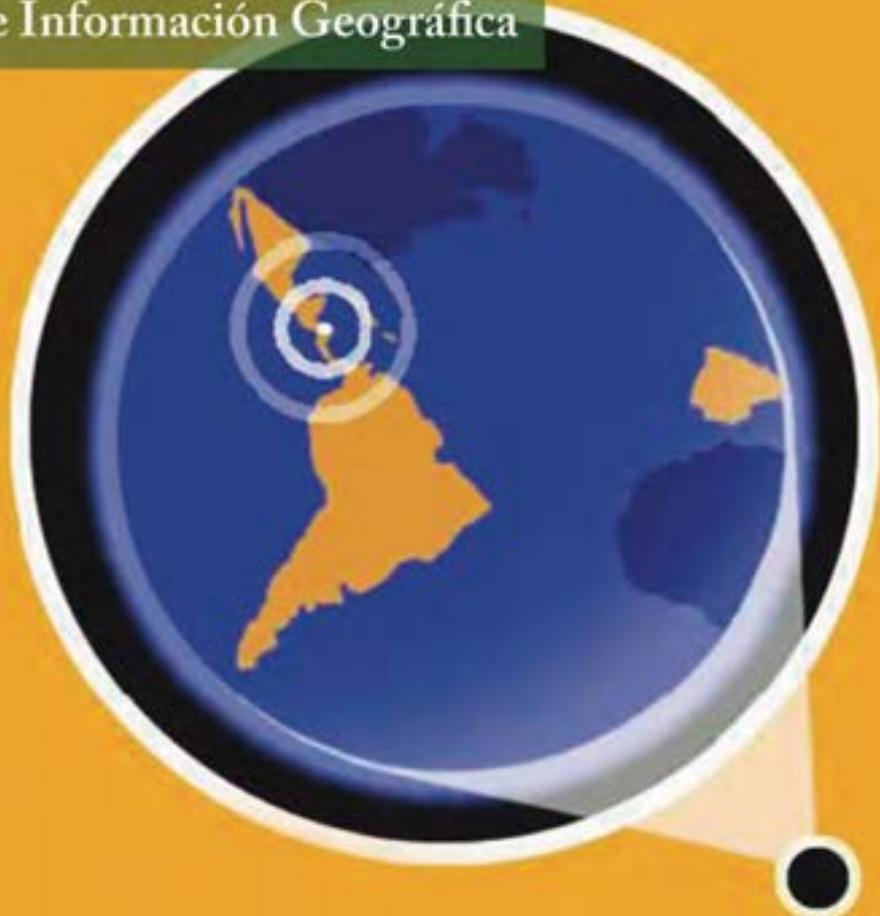


# CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)  
Universidad Nacional Autónoma de Honduras | Volumen 8, Número 1 Primavera, 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 1 Primavera, 2015. ISSN: 2225-5249

Portada:

Poster 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**

Elizabeth Figueroa M., contenido

Editorial Universitaria, portada y contraportada

SEDI UNAH

*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

Prólogo		
	<i>María Cristina Pineda de Carías</i>	9
Foto grupo XIV CONFIBSIG		31
Lista de Participantes por Países, Empresas e Instituciones		32
<b>FORMACION Y ENSEÑANZA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</b>		<b>45</b>
La enseñanza de las tecnologías de la información geográfica (TIG) en España y en Europa.		
	<i>Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., Rodríguez Espinosa, V.M., Barreira González, P. y Salado García, M.J.</i>	47
Una propuesta de competencias y capacidades para los estudios sobre tecnologías de la información geográfica (TIG).		
	<i>Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., Rodríguez Espinosa, V.M., Barreira González, P y Salado García, M.J.</i>	68
La enseñanza a distancia de los SIG, en el marco de un modelo virtual participativo.		
	<i>José Miguel Santos Preciado</i>	89

Aspectos geoéticos en la docencia del ordenamiento y la gestión del territorio.

*Juan Gregorio Rejas Ayuga, Joaquín Bosque Sendra, José Antonio Malpicat, Francisco Maza Vázquez; Adolfo Dalda Mourón, María Luisa Soriano Sanz, María Guadalupe Rodríguez Díaz, Juan Luís Bermúdez, Fernando Cerezal, Roberto Goycoolea Prado, Francisco Javier González Matesanz, María Concepción Alonso Rodríguez, Francisco Javier Gómez Martínez, Jesús Martínez-Frías.*

110

Formación en ciencia y tecnologías de la información geográfica para el ordenamiento y la gestión territorial en Honduras.

*María Cristina Pineda de Carías y Vilma Lorena Ochoa*

126

## RECURSOS NATURALES, AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

141

Aplicación de técnicas estadísticas y geo estadísticas para elaborar cartografía de precipitaciones. Departamentos del Occidente de Nicaragua.

*Adalila Molina Membreño y Ana de Jesús Reyes Zavala*

143

La ocurrencia de incendios según distintos ambientes: Análisis mediante sistemas de información geográfica y aplicaciones estadísticas.

*Villanueva, S. N.; Serafini, M. C.; Sione, W. F. y Filippini, O.S*

160

- Análisis de parámetros morfométricos y su relación con condiciones de vulnerabilidad en la ecorregión de las Yungas, Argentina.  
*Serafini, M. C.; Fea, Maurizio; Di Franco, L. A.; Cuello, A. R.; Antes, M. A.; Villanueva, S. N.; Sione, W. F.; González, F. C.; y Redondo, F. V.* 174
- Análisis temporal de biomasa y stocks de carbono en un ecosistema de dehesa mediante imágenes landsat, y su relación con factores climáticos.  
*José Cáceres, M. Pilar Martín, y Javier Salas* 190
- La planificación ecológica del territorio a través del análisis multitemporal en San Ignacio, Misiones, República Argentina.  
*Sandra Cavallaro y Catalina Fratolocchi* 212
- Análisis de vulnerabilidad de las comunidades de Coris y Tablón, Provincia de Cartago, Costa Rica.  
*Johan Córdoba Peraza* 231
- Sistemas de información geográfico y la preservación del patrimonio natural y cultural: la exploración de La Mosquitia hondureña.  
*Juan Carlos Fernandez-Diaz, Steve Elkins, Alicia M. González, William Carter, Ramesh Shrestha, Michael Sartori, Abhinav Singhanian, Craig, Glenie, Bill Benenson, Garry Spire* 260
- Análisis de patrones espectrales del terreno y cambios hidrológicos a partir de datos multisensor en espacios naturales del sur de Costa Rica.  
*Esono Mangue, Sofía, Rejas Ayuga, Juan Gregorio, Bonatti, J., Martínez Marín, Rubén, Marchamalo Sacristán, Miguel, Algeet, Nur, y Fernández Moya, Jesús* 277

Aplicación de interferometría radar en el estudio de subsidencias en el Valle de Toluca, México. <i>Dávila-Hernández, Norma Angélica y Madrigal-Uribe, Delfino</i>	294
Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. <i>Oswaldo Padilla, Pablo Pérez, Mario Cruz, Sylvia Huilcamaigua, Susana Astudillo</i>	310
Mapeo de ambientes en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz – Argentina (Glaciar Upsala y Perito Moreno), mediante datos ópticos y radar e integración en un SIG. <i>Alfredo Rafael Cuello, Miriam Esther Antes, Mirta Aída Raed, Alicia Avelina Sedeño, Luciano Enrique Delise, Jorge Marcelo Gari y Leonardo Alfredo Di Franco</i>	327
Cambio climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras:San Juan, Puerto Rico. <i>José Seguinot Barbosa</i>	344
<b>SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA</b>	<b>371</b>
Falta de cobertura de los servicios de salud y factores de localización óptima. <i>Giovanna Santana Castañeda, Adrián Guillermo Aguilar Martínez y Marcela Virginia Santana Juárez</i>	373

Sistemas de información geográficas aplicados en salud. Líneas de investigación. <i>Gustavo D. Buzai, Claudia A. Baxendale, Nicolás Caloni, María del Rosario Cruz, Hugo Delfino, Gimena Mora y Noelia Principi</i>	395
Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario. <i>Delgado Omar, Martínez Julia</i>	411
Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM <sub>10</sub> en Chile. <i>Manuel Fuenzalida-Díaz</i>	441
<b>INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES</b>	<b>459</b>
Infraestructura nacional de datos espaciales de Honduras - primeros pasos hacia una integración nacional. <i>Gustavo Adolfo M. Salgado y Nancy Karolina Martínez</i>	461
Creación de una infraestructura de datos espaciales para el Conurbano Bonaerense. <i>Nicolás Caloni y Marina Miraglia</i>	474
Series cartográficas y base de datos de información geográfica producidas en España. <i>Javier González Matesanz, Javier García García, Juan Luis Bermúdez González, Adolfo Dalda Mourón, y Francisco Maza Vázquez</i>	491

Creación de una geodatabase de los archivos geodésicos de la dirección general de catastro y geografía, Honduras. <i>Yessica Yamileth Sosa Reyes y Jessica Villatoro</i>	509
Montaje de un Web Map Service (WMS) para la Dirección General de Catastro y Geografía, Honduras. Johana Marcela Norori y Yeny Castellanos Zelaya	520
NOTAS INFORMATIVAS	535
Revista Ciencias Espaciales, instrucciones a los autores y criterios para el diseño, diagramación y maquetación.	537

MEMORIA XIV CONFERENCIA  
IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PARTE I



## Prólogo

En mayo de 2011, en la ciudad de Toluca, México, en la Sesión de Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG) celebrada en el marco de la XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XIII CONFIBSIG), la Decana de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras asumió la Presidencia Ejecutiva de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, con el compromiso principal de organizar en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), la Décimo Cuarta Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XIV CONFIBSIG). A dos años de esa fecha, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras fue la sede de esta Conferencia Iberoamericana que se desarrolló en la Ciudad Universitaria de Tegucigalpa, los días miércoles 3, jueves 4 y viernes 5 de julio de 2013.

Las CONFIBSIG se han venido realizando de forma bienal y de manera ininterrumpida desde 1987, y como se ha venido repitiendo, se han llegado a definir como una de las reuniones científico tecnológicas de mayor alcance en Iberoamérica, dedicadas a delinear el estado del arte en cuanto a los desarrollos teóricos, metodológicos y de aplicación correspondientes a los avances realizados desde diferentes disciplinas que han encontrado en la Ciencia y las Tecnologías de la Información Geográfica, una dimensión fundamental para sus estudios.

La Décimo Cuarta CONFIBSIG, continuó ratificando esta definición y perspectiva gracias a las contribuciones de todos sus participantes provenientes de los países de Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos, Holanda, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú y Puerto Rico. Gracias también al esfuerzo de su Comité Científico Internacional integrado por los Doctores: Joaquín Bosque Sendra (España), Gustavo Buzai (Argentina), Delfino Madrigal Uribe (México), Julio Cesar Moraga (Costa Rica), José Seguinot Barbosa (Puerto Rico), Manuel Fuenzalida (Chile) y María Cristina Pineda de Carías (Honduras). Juntos ellos seleccionaron la ubicación de las comunicaciones incluidas por eje temático de la Conferencia. Gracias también a la dedicación y el empeño de los Miembros del Comité Local Organizador integrado por todo el personal docente del Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica: Vilma Lorena Ochoa, Eduardo Moreno, Rafael Enrique Corrales, Liliam Sofía Gómez, Antonio

Cariás, Yeny Castellanos, Yessica Sosa, Jessica Villatoro, José David Cáceres y Celina Michelle Sosa, coordinados por el Decanato de la Facultad de Ciencias Espaciales. Se contó también con el apoyo institucional de la Rectoría, la Vice-rectoría de Relaciones Internacionales, la Dirección de Investigación Científica y otras dependencias de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

La Décimo Cuarta CONFIBSIG estuvo organizada en seis tipos de actividades:

- Dos Actos Especiales, uno de Inauguración para la presentación de la Conferencia; y el otro de Clausura para presentar las principales conclusiones.
- Seis Conferencias magistrales a cargo de reconocidos profesionales de Argentina, Costa Rica, España, Honduras, México y Puerto Rico.
- Ochenta y tres Comunicaciones Orales, agrupadas por ejes temáticos, organizadas en veintidós sesiones dirigidas cada una por un Coordinador.
- Exhibiciones de empresas nacionales para mostrar el estado del arte en la aplicación de las tecnologías de la información geográfica.
- Una sesión de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.
- Incluyendo también un Acto Cultural en honor de todos los participantes.

La Décimo Cuarta Conferencia Iberoamericana fue precedida por tres cursos desarrollados, uno el 1 de julio, titulado “Identificación de Zonas de Potencial conflicto ante la evolución espacial de usos del suelo”; los otros dos, desarrollados el 2 de julio, titulados “Zonificación Territorial con SIG” y “Aplicaciones de los SIG en los estudios de cambio climático, la vulnerabilidad y la gestión del riesgo en países y ciudades de Centroamérica y el Caribe”.

## CONFERENCIAS MAGISTRALES

Las seis conferencias magistrales se programaron para ser la primera actividad de cada jornada, matutina o vespertina, de cada uno de los tres días de

trabajo.

- En la mañana del día miércoles 3 de julio, el Dr. Julio Moraga (Costa Rica), como una Conferencia inaugural presentó el tema de *“La inserción de la ciencia de la información geográfica en el currículo universitario”*, un asunto que desarrolló en el entorno de Costa Rica, destacando cómo ha evolucionado en la educación superior y en su difusión en las instituciones del país. La Ciencia de la Información Geográfica crecientemente se incorpora en la *curricula*, lo que ha motivado un proceso de actualización y capacitación continua por parte de los docentes. Los estudios de las demandas del mercado realizadas por las universidades para responder a la sociedad, se hicieron a través del seguimiento de los graduados, análisis de casos, de colocación, tareas realizadas, jornadas de trabajo entre otras, que permitieron identificar que un curriculum por competencias profesionales parece ser el más adecuado.
- En la jornada de la tarde, el Dr. José Seguinot Barbosa (Puerto Rico) presentó el tema actual del *“Cambio Climático y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras, San Juan, Puerto Rico”*. Mediante una encuesta el determinó la percepción de los residentes sobre el ascenso del nivel del mar, la salinidad y las inundaciones y los efectos de estos parámetros sobre su salud, propiedad y calidad de vida. Esta situación la contrastó y modeló utilizando modelos de elevación, gráficos de líneas digitales y otros datos recogidos con un sistema de posición global, llegando también a determinar índices de vulnerabilidad para cada comunidad de la cuenca del Río Piedras. Destacó que en las investigaciones realizadas sobre cambio climático y vulnerabilidad, los Sistemas de Información Geográfica revelan la vulnerabilidad y el riesgo a que las ciudades pueden estar expuestas ante los cambios climáticos, y la importancia de que los gobiernos implementen políticas que reduzcan esa vulnerabilidad.
- El día jueves 4 de julio, tanto la conferencia de la mañana como la de la tarde estuvieron dedicadas al tema de los SIG aplicados a la seguridad ciudadana enfocados desde dos aproximaciones. Por la mañana el Dr. Delfino Madrigal Uribe (México) presentó conferencia sobre *“Los Sistemas de Seguridad Pública basados en Sistemas de Información Geográfica”*. El explicó que de acuerdo al clima de violencia, al estado de la participación ciudadana, los niveles de consolidación de la autoridad gubernamental, así como el grado de disposición

para combatir efectivamente el crimen, los SIG tienen diferentes estructuras y funciones. Que en la práctica debe entenderse que cada gobierno elige, de acuerdo a su grado de disposición, el grado de desarrollo del SIG. Un SIG altamente dinámico, interactivo y operativo debería integrar e interpretar todos los procesos y fenómenos involucrados, como base para la integración de políticas preventivas, correctivas y de combate efectivo al crimen.

- Por la tarde, la Rectora de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Dra. Julieta Castellanos (Honduras), experta en temas de seguridad, abordó la temática desde la perspectiva de la *“Seguridad ciudadana en Honduras”*. Ella presentó el caso del Observatorio Universitario de la Violencia, el cual ahora forma parte del Instituto Universitario en Democracia Paz y Seguridad de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Explicó las diferentes etapas que ha pasado el Observatorio, desde su creación, organización, formas de trabajo, la utilización de sistemas de información geográfica, y su posicionamiento en la sociedad hondureña particularmente por la divulgación de boletines, mapas e indicadores de escala nacional, departamental, y en algunos casos municipal. De ambas intervenciones se concluyó que la seguridad ciudadana es un derecho de todo hombre, mujer, niño. Los dos investigadores pusieron de manifiesto como los SIG pueden generar elementos de juicio para orientar efectivamente los recursos del Estado para combatir la criminalidad. A través de los SIG se pueden identificar con mejor precisión los problemas y sus causas. Algunas estrategias podrían ser propuestas para ayudar al combate de la criminalidad, capacitación de cuerpos policiales y un manejo científico de las variables, concentrar esfuerzos en las áreas de mayor riesgo.
- El viernes 5 de julio por la mañana en una teleconferencia desde Argentina se presentó el tema de los *“Sistemas de Información Geográfica en el contexto científico”*. El Dr. Gustavo D. Buzai sostuvo que los SIG han generado, al mismo tiempo, una revolución tecnológica que pone su atención en los métodos y técnicas de Análisis Espacial y, una revolución intelectual que la pone en las formas de estudiar y comprender la realidad centrándose en una focalización espacial. Presentó consideraciones sobre la globalización de la información en el sistema mundo para su análisis en escala humana.
- Por la tarde, la Dra. Montserrat Gómez Delgado (España), en la Conferencia de Cierre habló de *“La necesidad de la validación en los procesos de Geosi-*

*mulación*” haciendo una revisión sobre la evolución que han experimentado los procesos de simulaciones espaciales aplicados a la planificación del territorio a partir de las TIG, derivando en la creación de una sub disciplina geográfica. Discutió sobre procedimientos adecuados de validación que avalen la fiabilidad y robustez de resultados de modelos que no pueden ser contrastados con datos reales, que pueden aminorar consecuencias negativas de las acciones del hombre sobre el territorio, ensayando procesos de planificación futuras más sostenibles.

## COMUNICACIONES TEMÁTICAS

Ante los ejes propuestos por los organizadores de la XIV CONFIBSIG, los temas de las diferentes comunicaciones orales tomaron el peso de las preferencias y líneas de especialización de sus proponentes.

### **Tema: Métodos y Análisis con Tecnologías de la Información Geográfica.**

Este tema tuvo el mayor peso con un 28% de las comunicaciones orales. En cinco sesiones distribuidas en los tres días de la Conferencia, los comunicadores expusieron sobre el crecimiento urbano estudiado con técnicas de modelaje con autómatas celulares en SIG, en pequeñas ciudades, una región o una comunidad, hasta incluir todo un país, llegando a abordar hasta desequilibrios urbanos por contaminantes ambientales. En este tema se presentaron análisis de detección de cambios de la cobertura y uso del suelo de períodos desde diez hasta veinticinco años, incluyendo técnicas estadísticas para detección de cambios importantes y procesos sistemáticos. Análisis de variables socioeconómicas, econometría espacial y geoestadística; inteligencia de negocios; y efectos ambientales de actividades humanas estudiados con técnicas de estimadores de densidad de núcleo también fueron expuestos. Las anomalías espectrales con implicaciones terrestres en la exploración planetaria, identificación de formaciones geomorfológicas características de cráteres, y el uso de lógica fuzzy en modelos probabilísticos de ocurrencia de deslizamientos fueron discutidos. SIG y evaluación multicriterio para apoyo de gobiernos locales, y software libre para gestión y planificación de recursos hídricos fueron presentados. Localización y reconocimiento de sitios arqueológicos mediante técnicas no intrusivas, llegando hasta la búsqueda de algunos con significado arqueoastronómico. Técnicas de posicionamiento global para determinación de una superficie correctora para modelado de un geoide; incluyéndose también en este

grupo de comunicaciones un marco teórico sustentado en la teoría de la geografía en la búsqueda de resultados concretos a través de una ciencia aplicada.

### **Tema: Recursos Naturales, Ambiente y Cambio Climático.**

Este tema abarcó el 25% de las comunicaciones. En cinco sesiones que se desarrollaran a lo largo de los tres días, se presentaron estudios sobre fragmentación de ecosistemas a partir de cálculo de métricas de paisaje, evaluación de cambios de áreas de bosque nativo y su relación con situaciones de vulnerabilidad ambiental, identificación de zonas propensas a desertificación, análisis de vulnerabilidad ante el impacto de desastres y amenazas antrópicas, naturales y socio naturales, cambios en la cobertura del terreno por contaminación ambiental y sobre explotación de recursos, dinámicas de cambio, y coberturas de ecosistemas prioritarios como arrecifes, pastos marinos y manglares. Se discutieron estudios de acuíferos por procesos de subsidencia a partir de técnicas de interferometría diferencial para estimar deformaciones del terreno en una cuenca; el uso de geotecnologías para monitoreo y evaluación de recursos naturales en glaciares y ríos de hielo; análisis multitemporal de cambios de uso del suelo de cuencas y dinámicas de cambio por períodos de hasta veinte años; degradación de la calidad del agua e impacto agrícola determinado por análisis multicriterio; y estudios geoestadísticos de análisis de variables climáticas como la precipitación y la temperatura. La estimación de biomasa y stocks de carbono en cubiertas herbáceas, y la cuantificación de biomasa y carbono forestal para varios tipos de bosque fueron discutidos; así como estudios de incendios forestales para determinación de riesgos de espacios protegidos, y análisis de causas de modificación de ambientes entre llanuras y parques por la probabilidad de ocurrencia de incendios. Dinámica de cambios de la cobertura vegetal por actividades petroleras utilizando técnicas de autómatas celulares para el modelamiento espacial de la cobertura. Mapeo exploratorio con LIDAR para revelar lo que el bosque oculta, como una hidrografía compleja y una extensa modificación antropogénica que parece ser restos arqueológicos. Muestreos de aves en extinción en diferentes hábitats, y la Internet del Futuro, Internet de las cosas y del medio ambiente también fueron discutidos.

### **Tema: Cartografía, Catastro y SIG Municipales.**

Este tema abarcó el 12% de las comunicaciones de la Décimo Cuarta CONFIBSIG. Incluyó tres sesiones en las que se presentaron procedimientos para ela-

boración de mapas de zonificación territorial aplicada a municipios, y la elaboración de cartografía de uso y cobertura del suelo con metodologías de clasificación visual de imágenes satelitales y comparación con series cartográficas de años anteriores. La elaboración de atlas geográfico y satelital como herramienta interactiva con información confiable y de fácil acceso; Atlas de información territorial de una Región; Atlas de riesgos de fenómenos naturales con visualizaciones del tiempo desde perspectivas teórico prácticas; uso de SIG y mecanismos de visualización para popularización del ambiente urbano y el patrimonio histórico, cultural y urbano; y la comparación de si la cartografía multimedia con alto nivel interactivo es más útil que los medios convencionales para la comunicación de patrimonio de centros históricos. Se discutió la calidad en la cartografía mediante el uso de cámaras fotogramétricas, redes geodésicas nacionales, y aerotriangulación cinemática; y el monitoreo de deformaciones superficiales sobre fallas geológicas activas mediante técnicas geodésicas satelitales y análisis matemáticos y estocásticos para obtener información de calidad.

### **Tema: Ordenamiento Territorial.**

Este tema igualmente abarcó el 12% de las comunicaciones de la XIV CONFIBSIG. Se desarrolló en tres sesiones para presentar una metodología aplicada al municipio que facilita la elaboración de escenarios de prospectiva para asentamientos humanos, en suelos rural y urbano, con el fin de planificar su crecimiento con garantías de bienestar. Estrategias de desarrollo municipal mediante estudios que abarcan desde viabilidad técnica y económica hasta la adquisición del suelo, la gestión, el diseño y la ejecución de la actuación urbanística para el desarrollo de actividad económica. Se presentó una propuesta de análisis de sensibilidad explícitamente espacial, utilizando herramientas de un SIG aplicado a la simulación del crecimiento urbano futuro de una comunidad, realizando una asignación óptima de suelo residencial, industrial y comercial para el término de veinte años. Se analizó el papel de la ordenación del territorio en la construcción de lugares saludables, ante problemas ambientales y socioeconómicos que inciden negativamente en la salud de la población. Se presentaron estudios de asentamientos en laderas y, temas de riesgos y morfología urbana en planicies y laderas. Se discutió la utilización de un SIG de gestión integral de tierras para apoyar la descentralización del mantenimiento catastral y la aplicación de planes de ordenamiento territorial por autoridades locales para garantizar la actualización continua de datos de tenencia y uso de la

tierra; así como también la generación de una base de datos para el archivo técnico de la Dirección General de Catastro y Geografía ligando fotografías aéreas a hojas cartográficas. Se presentaron instrumentos necesarios para la construcción de un SIG como apoyo a la gestión de centros históricos; y un modelado 3D y recorridos de realidad virtual interactivos sobre un SIG referido al estado de conservación arquitectónica de las principales edificaciones de la Ciudad Universitaria.

### **Tema: Formación y Enseñanza en Tecnologías de la Información Geográfica.**

Este tema comprendió el 8% de las comunicaciones. Organizado en dos sesiones se presentaron resultados de una revisión de los estudios de TIG que en la actualidad se imparten en España y Europa, en grados y másteres; analizando sus principales características, objetivos, duración, contenidos de asignaturas, hasta llegar a formular una primera clasificación para conocer como se insertan y enseñan estas tecnologías. Se planteó como surgió en Honduras el desarrollo de los SIG ante una demanda de profesionales expertos después de una catástrofe natural, y como organismos internacionales colaboraron con instituciones gubernamentales creando info-sistemas y capacitando técnicos sin una base sustentable que trajo como consecuencia la generación y el manejo empírico de datos geoespaciales, dándose ahora condiciones para una formación planteada desde una perspectiva general, directiva, técnica y estudiantil. Se describieron las primeras iniciativas para el establecimiento de las TIG en la UNAH, el surgimiento de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio con la cooperación desde un inicio de la Universidad de Alcalá, sus principales líneas de investigación y del campo profesional de sus primeros graduados, poniendo en este contexto de desarrollo las iniciativas de formación a nivel de asignaturas generales y el planteamiento de una nueva carrera de grado con salidas laterales para la formación de técnicos. Se planteó una lista de competencias a alcanzar por los estudiantes que realicen algún estudio universitario en SIG, haciendo una evaluación y discusión crítica para generar una propuesta propia de las competencias más importantes y necesarias para obtener un título de SIG. Se analizaron problemáticas y retos geoéticos en un contexto docente del ordenamiento y la gestión del territorio, aspectos relacionados con códigos de conducta y buen hacer que ha tenido que abordar el profesorado nacional e internacional de la Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio en sus sucesivas promociones, realizando una aproximación desde distintas áreas del conocimiento para el tratamiento conceptual profesional y de investigación de la Geoética en un ámbito Centroamericano, para aportar respuestas ante nuevos retos globales. Se

plantearon las formas y metodologías aplicadas por la Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio en su proceso de acreditación regional haciendo una crítica reflexiva y colectiva de ocho componentes: estudiantes, graduados, profesores, proceso formativo, investigación e innovación, gestión académica y administrativa, vinculación, proyección e incidencia social y colaboración e intercambio académico nacional, regional e internacional. Se señaló la importancia de los atlas digitales en el proceso de formación y enseñanza, con el propósito de que el estudiante tenga como base los principios de la Geografía, localización, distribución, causalidad, multicausalidad y cambios para diversas aplicaciones a problemas reales.

### **Tema: Salud y Seguridad Alimentaria.**

Este tema ocupó el 7% de las comunicaciones. Los comunicadores destacaron la importancia de los SIG para determinar los patrones de distribución de tasas de mortalidad en un período de treinta años y generar escenarios a veinte años a nivel local y municipal, utilizando fuentes del sistema nacional de información en salud y anuarios estadísticos; y un diagnóstico actual de la localización de los servicios públicos de salud primarios, en relación a su estructura, dinámica y relaciones en una zona metropolitana, y al mismo tiempo la elaboración de una propuesta desde el punto de vista de los factores necesarios para la localización óptima de dichos servicios. Se presentó también un panorama global y actualizado de la relación entre el uso de los SIG y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) y la Geografía de la Salud, una de las líneas de investigación con mayores posibilidades de aplicación en el estudio de distribuciones espaciales. Se planteó un estudio para conocer el estado de las emisiones del ruido en la ciudad, partiendo de la determinación de sitios de muestreo en base a la densidad del tráfico, el registro de las mediciones del ruido ambiental, evaluando la información con el método estadístico de Kriging ordinario para llegar a elaborar mapas de ruido de la ciudad. Con este mismo método geoestadístico se presentó un modelo de la exposición de contaminantes atmosféricos MP10 a partir de los datos registrados en ciento ocho estaciones de monitoreo pertenecientes al sistema nacional de calidad del aire. Se presentaron análisis de los riesgos físicos ocurridos en los últimos veinticinco años y su impacto en la salud pública, utilizando un SIG para analizar distribuciones espaciales y temporales por regiones de salud y por municipio.

## **Tema: Infraestructura de Datos Espaciales.**

Este tema ocupó el 7% de las comunicaciones. En las sesiones se planteó como en Honduras, la Infraestructura de Datos Espaciales (INDES) está regulada por la Comisión de Datos Espaciales, y que para impulsar su desarrollo se ha iniciado un largo proceso que ha requerido de una voluntad política, generación de capacidades, un voluntariado institucional y un presupuesto, y de la integración de un organismo nacional de normalización que ha trabajado en base a las normas ISO relacionadas con los metadatos. Se describieron las principales acciones metodológicas llevadas a cabo para la implementación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) regional, a partir de las experiencias en el Laboratorio de SIG de la Universidad, que en referencia a los estándares ha optado por el perfil del metadato de la propuesta desarrollada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi denominado Perfil Latinoamericano de Metadatos. Se planteó una metodología para la creación de una geodatabase que permitió ordenar archivos de la elaboración digital de hojas cartográficas, mapas departamentales, mapas municipales, mapa oficial del territorio de Honduras y otros generados por la Dirección General de Catastro y Geografía. Se planteó que la elaboración o actualización de la cartografía nacional de un país debe iniciarse con el análisis pormenorizado de las opciones disponibles, el Instituto Geográfico Nacional de España expuso que se dispone de una gran variedad de productos cartográficos básicos y derivados que cubren una gran variedad de escalas, y que en algunas series se dispone de una dualidad entre la base de datos de información geográfica y la versión mapa o cartográfica de la misma, pudiendo de esta forma conservarse aproximadamente mitad en la base de datos y en el soporte de la base topográfica nacional. Se expuso sobre el montaje de un servicio de mapas en la web con la utilización de software libre para compartir información geoespacial del país, y que ésta a su vez sea de fácil localización, amigable y que esté regulada por la Dirección General de Catastro y Geografía. Se mostró también la utilización de tecnología geoespacial para la demarcación de las fronteras Honduras-México y Honduras-Cuba.

## **PRINCIPALES CONCLUSIONES**

Las conclusiones fueron redactadas por los Coordinadores de las Sesiones de los diferentes ejes temáticos, correspondiendo a la Coordinación General su edición. Las principales conclusiones por tema de la XIV CONFIBSIG fueron las siguientes:

## **Tema: Métodos y Análisis con Tecnologías de la Información Geográfica.**

- Resultan de especial interés los esfuerzos realizados para la simulación del crecimiento urbano, con diferenciación de asentamientos cerrados y periféricos, mediante técnicas de autómatas celulares, considerando patrones ambientales de vecindad y difusión.
- Se han podido identificar cambios principales en los bosques, en los pastos con transiciones de agricultura por la evaluación del cambio del uso del suelo en el Parque Nacional Miguel Hidalgo y Costilla La Marquesa (1994-2007), aplicando tecnologías de SIG.
- Existen varios métodos estadísticos para verificación de los resultados, que mediante análisis multitemporal de teledetección espacial y SIG aplicados al cambio de la cobertura de suelo, permiten asegurarnos que se apeguen a la realidad.
- El método de *Pontius* es una nueva forma de explicar los datos estadísticos a partir de matrices de tabulación cruzada para calcular persistencia, pérdidas, ganancias, cambio neto, intercambio y transiciones sistemáticas. Se ha podido comprobar que más del 50% de un sector del occidente de Honduras ha experimentado un alto dinamismo del paisaje entre las categorías de Bosque Mixto a bosque de pino y de Matorral a Agricultura antes del Huracán Mitch; y de bosque de pino a Bosque Mixto y de Matorral a Bosque de pino después del huracán.
- Con la aplicación de imágenes interespectrales es posible construir un mapeo de las alteraciones presentes en áreas volcánicas, sobre todo para restablecer la precisión determinadas metodologías y técnicas.
- El uso de imágenes y tratamientos cruzados de filtros de bordes y técnicas Crosta permiten encontrar las cicatrices de eventos geológicos tales como cicatrices de cráteres, indetectables a simple vista.

## **Tema: Recursos Naturales, Ambiente y Cambio Climático.**

- En el tema de recursos naturales y cambio climático, se pueden realizar estudios utilizando los mapeos mediante datos ópticos y radares integrales en el uso de SIG, además se pueden realizar análisis de cobertura y usos del suelo, mediante la utilización de las imágenes satelitales y técnicas metodológicas aun de bajo costo.
- Las comunicaciones se enfocaron a la definición de condiciones de vulnera-

bilidad en distintas ecorregiones, en un caso a partir de la definición de parámetros morfométricos, que serán parte de los insumos en la generación de los SIG, por otro lado a partir de desarrollos en comunidades de Costa Rica, que permitirán conocer escenarios de riesgo y delinear acciones de prevención, mitigación y monitoreo.

- Se destacó la generación de un SIG que permite a través de sensores LIDAR, monitorear áreas con alto valor arqueológico tales como en la región de la Mosquitia hondureña, con miras a la preservación de las mismas.
- La utilización de los sensores multiespectrales permite definir la batimetría en la laguna de Sierpe ayudando al monitoreo de condiciones hidrológicas.
- En el campo del cambio climático resaltan los esfuerzos para la cuantificación de los stocks de carbono en estratos herbáceos y forestales, implementando técnicas de teledetección cercana y remota, así como la automatización de los métodos de procesamiento, empleando sensores de media y alta resolución espacial.
- Se ha podido desarrollar un programa de accesibilidad y común para cualquier usuario en el mundo que proporciona servicios genéricos de ubicación, temperaturas, entre otros.
- Se ha podido desarrollar un estudio que demuestra la fragmentación de bosque de gran tamaño a pesar de la intervención humana y cultivos de exportación.
- La utilización de los SIG es de gran utilidad para las técnicas estadísticas y geo estadísticas en la aplicación en los territorios y especialmente para las precipitaciones.
- Existe relación variable de los puntos de calor versus caminos, teniendo en cuenta que los datos no son aún respaldados con trabajo de campo, se incluirá otras variables y otras áreas para probar la metodología.
- Mediante el uso de la clasificación no supervisada, se dificulta reconocer las diferencias entre clases de suelo por conglomerados fisiológicos.
- El análisis multicriterio de Sub cuenca como la del Río Mocal determinará el impacto de la actividad agrícola teniendo variables como análisis de agua y análisis socioeconómicos que demuestran la afectación de los contaminantes ante el aumento del caudal en la Sub Cuenca del Río Mocal.
- El sistema de Autómatas Celulares, es una herramienta importante para la determinación de análisis prospectivo con ayuda de sistemas de información geográfica y Teledetección a través de las fotografías aéreas, para el modelamiento del cambio del uso del suelo y cobertura vegetal.

- Se aplican en diversos campos como ser: simular el crecimiento poblacional, desplazamientos, Ordenamiento Territorial, Riesgos naturales, Cobertura Vegetal y Uso del Suelo.

### **Tema: Cartografía, Catastro y SIG Municipales.**

- Los SIG son importantes instrumentos para realizar una preservación patrimonial y ambiental, como es el caso de los Inventarios y los Atlas.
- La educación puede encontrar importantes apoyo en los SIG para la enseñanza formal, de secundaria y para el uso de la comunidad.
- Es importante abarcar más análisis espaciales como los catastros y SIG municipales, aproximando los trabajos a los resultados para futuras ciudades.
- Existen mecanismos dinámicos a través de los símbolos para representar fenómenos en el tiempo.

### **Tema: Ordenamiento Territorial.**

- La representación geográfica en 3D con su interrelación con los SIG, sigue ganando terreno en los procesos de ordenamiento territorial y gestión del patrimonio tangible. La visualización de este tipo da la posibilidad de analizar propuestas de desarrollo urbano y su relación con el contexto, paisaje y crecimiento de la infraestructura física de un lugar, de una forma más comprensible.
- Se reconoce que el proyecto que la Secretaria de Educación Pública de Honduras ha hecho referente al levantamiento, descripción y análisis del estado y contribución de los centros educativos mediante Sistemas de Información Geográfica está refrendando la potencialidad que estas herramientas tienen para mejorar la administración pública y la distribución de los recursos con que se cuentan.
- Metodologías de zonificación territorial con Sistemas de Información Geográfica contiene lineamientos metodológicos básicos para la aplicación de los SIG en la generación de mapas de zonificación nacional, regional y municipal, siguiendo un enfoque multinivel que asegura la coherencia entre los diferentes de planificación territorial.
- En ordenamiento territorial, son muy importantes los análisis de uso del suelo y prospectivas tanto en asentamientos urbanos como rurales, resaltando la necesidad de disponer de bases de datos geográficos para la planificación y gestión del territorio y sobre las características morfológicas de los asentamientos

humanos.

- Se ha podido mostrar el papel que desempeña el ordenamiento territorial en la salud de la población, tomando como universo de estudio la zona metropolitana de Toluca. La metodología utilizada contiene variables e indicadores, ambientales, culturales sociales y su relación con la salud de la población que habita ese espacio. Como conclusiones presenta un enfoque holístico de la salud, enfatizando que para el bienestar de la población los factores: físicos, síquicos, ambientales y sociales juegan un papel importante y que tiene que ver con el territorio en el que habitan. Por lo anterior se promueve a que las políticas orientadas a mejorar la salud de la población sean focalizadas y no generales y que se incluyan en los planes de desarrollo urbano, con mayor vinculación hacia la sociedad.
- Se presentó una propuesta metodológica de herramientas para poder manejar los centros históricos que permitan a cualquiera gestionarlos, haciéndose énfasis en la utilización de sistemas de información geográfica combinadas con la gestión del patrimonio. Estas pueden ser: estructura urbana de la ciudad, estructura de base de datos, datos cartográficos, decretos, etc. Como conclusión se establece que para la gestión de centros históricos es necesario tener herramientas legales y técnicas, explotar la extracción de datos, así como el uso de herramientas económicas.
- Sobre el levantamiento de datos y generación de mapas temáticos y su aplicación a técnicas participativas de la población para lograr el desarrollo urbano de una colonia de Tegucigalpa que es poblada por medio de la invasión, como en el país falta información geoespacial es evidente, este proyecto muestra la forma en que el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la UNAH, aporta a esta comunidad y al proyecto urbano la información física y topográfica de la zona, utilizando tecnologías de GPS. Como conclusión se presenta la falta de datos espaciales en Honduras que no permite el desarrollo de proyectos de tipo territorial, pero que en la UNAH se ha aportado usando TIG.
- Se presentó un atlas de la Pampa Argentina, cuyo objetivo es presentar y conocer el territorio, desplegar información actualizada recopilando la mayor cantidad de datos posibles del territorio, y con la idea de que las personas que lo utilicen puedan generar nuevos datos a partir de estos. Se utilizan imágenes satelitales y el servicio es de uso público con énfasis en la educación secundaria.
- Se presentó comunicación centrada en la ciudad como un artefacto cultural para la preservación del patrimonio de la ciudad de Pelotas. Para representar el patrimonio se utilizan tres escalas distintas de visualización, las cuales toman

distintas unidades de visualización: el lote, el volumen y la edificación. Concluyendo que los SIG (publicación en la Web) y la preservación del patrimonio deben ir ligados para fortalecer su gestión y elaboración de políticas públicas, porque permiten ver el todo integralmente.

- Se presentó Atlas multimedia del Centro Histórico del Distrito Central de Honduras, que se orienta a aplicarse a un usuario en específico, con la idea de transmitir la importancia de la preservación de un centro histórico. El atlas es un producto multimedia que muestra de manera interactiva el desarrollo del centro histórico de la ciudad de Tegucigalpa, se aplican pruebas a posibles usuarios para comprobar su uso frente a otros tipos de cartografía más convencional (atlas de papel). Se concluye que el uso de la multimedia beneficia más en cuanto a tiempo de uso, capacidad de seleccionar información, y de mostrar información espacial detallada de la zona de estudio.

### **Tema: Formación y Enseñanza en Tecnologías de la Información Geográfica.**

- En el gran contexto de la formación y enseñanza de las TIG, nos encontramos con el gran dilema de las ambigüedades sobre la temática respectiva en los grados académicos, desde técnicos hasta doctorados. Es por ello que surgen las preguntas de como dosificar las clases para que un grado no interfiera con otro; como orientar un grado académico hacia las nuevas tecnologías de programación web, que es el paso que estamos viviendo ya que todo recurso personalizado tiene un componente de programación muy avanzado lo cual aumenta la carga del plan que se está estudiando, esta relación entre la dinámica tecnológica que nos lleva de la mano a un paso muy acelerado y constante cambio evolutivo en los sistemas geográfico y en los propios planes de estudio, los cuales se vuelven cada vez más robustos y complejos, al querer abarcar toda la temática multidisciplinaria, por lo que muchas iniciativas intentan mejor incluir en sus planes de estudios un fuerte componente en TIG para realizar el análisis espacial con la cosmovisión de la temática de estudio.

### **Tema: Salud y Seguridad Alimentaria.**

- Los principales determinantes de mortalidad en la zona metropolitana de Toluca son: diabetes *mellitus* y enfermedades isquémicas de corazón. El análisis geoestadístico es una herramienta que facilita la generación de mapas de tendencias de salud para el desarrollo de proyectos dirigidos a comunidades

vulnerables, establecer normas y estrategias para disminuir los riesgos entre estas enfermedades y bajar las tasas de mortalidad.

- La aplicación de las teorías de distribución por justicia social y espacial de salud pública, permite encontrar una mejor localización de centros hospitalarios a través de múltiples criterios y mostrar a nivel de diagnóstico las necesidades reales en el sistema de salud.
- Desde las diferentes aplicaciones temáticas para representar los aspectos de salud, podemos mostrar un diagnóstico rápido de cómo se encuentra un sistema de salud de un espacio determinado, y con estas técnicas de evaluación multicriterio para generar una distribución con equidad espacial para nuevos puntos sanitarios, mejorar los sistemas actuales de distribución sanitaria.
- Ya que el ruido afecta la salud y la economía, es indispensable medir los niveles de ruido en una ciudad o en sitios cercanos a hospitales, por lo que con la aplicación de métodos de inverso de las distancias ponderadas y con un *Kriging* ordinario se logra modelar la dinámica del ruido y establecer que zonas son las que evidentemente tienen problemas por ruido y generar o actualizar normativas para el control del ruido en horas pico, sea de día o de noche.
- Los temas de seguridad se pueden utilizar para realizar estudios de impacto en el área de la salud a partir de la ocurrencia de desastres naturales.

### **Tema: Infraestructura de Datos Espaciales.**

- La calidad cartográfica se logra a partir de datos ordenados y confiables, es así que hoy en día existen estándares ISO, que certifican las infraestructuras de datos espaciales.
- La infraestructura es el motor para que funcione una adecuada operatividad entre los diferentes departamentos institucionales.
- Las tecnologías de SIG utilizadas para generar Cartografía, vienen a acelerar procesos permitiendo un mejor flujo de trabajo, en menor tiempo, además influyen en el desarrollo del país.
- La infraestructura de Datos Espaciales IDE se hace imprescindible en el proceso de almacenamiento de información espacial, así como en la gestión de la información desde su producción hasta la publicación.
- En la recopilación y sistematización de datos espaciales, existen en las series cartográficas y bases de datos, surgen algunos problemas y debilidades para la producción de mapas derivados de la generalización en el abanico de las escalas.

- Las infraestructuras de datos espaciales facilitan el acceso a todo tipo de información relacionado con la recopilación y sistematización de Datos Espaciales, logrando mapas de muy buena calidad tanto métrica como numérica.

## SESION DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Estatutos de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG) tienen establecido que, al final de cada Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica se realice una Sesión con todos los participantes como miembros.

En la ciudad de Tegucigalpa, el día cinco de julio de dos mil trece, en el Auditorium Central “Juan Lindo” de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, se celebró la Sesión de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica en la que se desarrolló la siguiente Agenda:

**Punto 1. Apertura de la Sesión.** El Presidente General de la SIBSIG, Dr. Delfino Madrigal Uribe, declaró abierta la Sesión Plenaria de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Expresó que se había estado platicando con la Presidenta Ejecutiva y los expresidentes, y que juntos habían acordado presentar a consideración de la Asamblea la Agenda propuesta. Declaró también que una cosa importante que se había estado platicando con los expresidentes y la Presidenta Ejecutiva era la necesidad de poder llevar a cabo diferentes líneas de trabajo que le den mayor consistencia a la SIBSIG, para darle mayor presencia, sobre todo para que los jóvenes y estudiantes de posgrado tengan la oportunidad de seguir estos esfuerzos. Preguntó que si no existía observación a la Agenda se procedería al traspaso de la Presidencia General.

**Punto 2. Traspaso de la Presidencia General de la SIBSIG.** De conformidad con los Estatutos de la SIBSIG, la Presidencia General es asumida por un período de dos años por la persona que se ha desempeñado como Presidente Ejecutivo de la SIBSIG. En este sentido, el Dr. Delfino Madrigal Uribe, Presidente General de la SIBSIG 2011-2013 traspasó la Presidencia General a la Dra. María Cristina Pineda de Carías, para asumir el cargo por el Período 2013-2015. La Dra. Pineda de Carías agradeció al Dr. Uribe, y aclaró que en el nuevo cargo que asumía no estaba sola, que estaba acompañada de todo un equipo y un Consejo Asesor de todos los

Expresidentes de la SIBSIG que nos acompañaban.

**Punto 3. Informe y ratificación de candidatura de Universidad Católica de Valparaíso, Chile, para ser sede de la XV CONFIBSIG-2015.** Ya en posesión de su cargo, la nueva Presidenta General informó que además de la candidatura de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, no se había recibido ninguna otra candidatura. Pidió entonces a todos los presentes constituidos en Sesión que para ratificar la candidatura, se debía escuchar la propuesta de parte del Dr. Manuel Fuenzalida en representación de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. El Dr. Fuenzalida dijo que traía la Carta del Rector de la Universidad en la que ratificaba el patrocinio a la postulación del Instituto de Geografía como sede de la XV CONFIBSIG a realizarse en el año 2015, e inmediatamente entregó la Carta de Patrocinio. Formalmente recibida la ratificación del Rector de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, y cumplidos los requisitos de Ley, la Presidenta General pidió a todos los presentes levantar la mano para ratificar la candidatura. Por unanimidad se aprobó la propuesta de la XV CONFIBSIG en Valparaíso, Chile, en 2015.

**Punto 4. Traspaso Presidencia Ejecutiva de la SIBSIG.** Después de haber sido aceptada la sede de la XV CONFIBSIG en Valparaíso, Chile, la Presidenta General pidió al Dr. Manuel Fuenzalida que pasara a la mesa principal. La Dra. Pineda inmediatamente traspasó la Presidencia Ejecutiva de la SIBSIG al Dr. Fuenzalida, expresándole que su compromiso principal era dirigir la organización de la XV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica con sede en Chile. Invitó a todos los participantes a poner en sus agendas esta nueva conferencia del año 2015.

**Punto 5. Solicitud de candidaturas para sede de la XVI CONFIBSIG 2017.** Definida la sede de la XV CONFIBSIG para 2015, y siguiendo procedimientos establecidos por la SIBSIG, la Presidenta General preguntó a los presentes que después de la actividad de Chile, quien sigue, qué Universidad o qué Institución tiene el interés, o trae la solicitud formal para presentar la candidatura de ser la sede de la XVI CONFIBSIG para el año 2017. El Dr. Omar Delgado de Ecuador, pidió la palabra para presentar formal solicitud para poder organizar la XVI CONFIBSIG en Ecuador, específicamente en la Universidad del Asuay, en la ciudad de Cuenca. Para ello, dio lectura a comunicación dirigida a la Presidenta de la SIBSIG, en la que planteó y puso en consideración la candidatura de la Universidad del Asuay, a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador IERSE, adscrito al Deca-

nato Federal de Investigaciones como sede de la XVI CONFIBSIG a realizarse en el año 2017. “Quiero dejar constancia que los compromisos a ser adquiridos como sede candidata a la XVI CONFIBSIG serán asumidos con responsabilidad a través de una adecuada y oportuna gestión académica, administrativa y financiera para la organización del evento. Atentamente, Omar Delgado, Director del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador”. Leída la carta, ésta fue entregada a la Presidenta General de la SIBSIG quien dio por recibida la candidatura de la Universidad del Asuay de Ecuador. Siguiendo el curso de la Sesión, hizo la pregunta a los presentes de si había otra candidatura. No habiendo más candidaturas respondió al Dr. Delgado que al dar por recibida la propuesta, y que cuando nos encontremos en la XV CONFIBSIG en Chile, hay que ratificar la candidatura porque el procedimiento así lo exige.

**Punto 6. Líneas de Trabajo SIBSIG – Período 2013-2015.** Para presentar las Líneas de Trabajo, la Presidenta General de la SIBSIG comentó que estas líneas las habían venido trabajando en estos últimos días con los expresidentes de la SIBSIG. No es un Plan de Trabajo formal desde luego, porque eso requerirá de más tiempo, y desde luego la participación de todos la cual pidió en ese momento.

- *Apertura página web oficial de la SIBSIG.* En esta CONFIBSIG se ha incluido la virtualidad, que la imponen los tiempos y las formas de comunicación a través de la red. Entonces, el primer compromiso es abrir la Página web oficial de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (SIBSIG). Un sitio que ya va a quedar formalmente continuado porque hasta ahora ha venido manejándose aisladamente según la Universidad que ha asumido la CONFIBSIG. La idea es tener una página que pueda tener continuidad, por lo que oportunamente se les enviará la comunicación a cada uno de Ustedes, para entre todos irlos mejorando.
- *Organización. Comisiones.* La información básica que nos vamos a estar comunicando en esa página web, en primer lugar es la Organización de la Directiva que tenemos, saber quiénes somos Presidente General, Presidente Ejecutivo, y los diferentes cargos que puedan ir saliendo en la medida que la organización vaya tomando una forma más amplia, y que vaya enlazándose con más instituciones, personas y lugares. Desde luego la conformación de las Sociedades como la nuestra, se caracteriza por tener Comisiones de Trabajo. Hemos de dar apertura a las Comisiones que en principio van a llevar los Ejes que asumimos en esta XIV CONFIBSIG, pero que al irlos desarrollando ya el tiempo nos va a

ir diciendo como orientarlas de tal manera que esa apertura de Comisiones que nosotros tengamos vaya marcando el rumbo, ese futuro hacia donde nosotros vamos avanzando, siendo hoy unos, mañana otros, en una garantía de que va a continuar el trabajo.

- *CONFIBSIG. 1987-2015.* También, nosotros somos una Sociedad que ya tiene varias décadas de estar funcionando. La primera data de 1987, habiéndose desarrollado ininterrumpidamente cada dos años. Entonces nos proponemos recuperar toda la organización, las formas de trabajo que hemos tenido en cada una de las Conferencias desde la primera hasta llegar a la XIV CONFIBSIG y ser el portal que va a enlazar con la XV CONFIBSIG. O sea que por allí vamos a entrar, porque dentro de la libertad de organización ellos sabrán darle la organización propia. Por eso es que nosotros estamos hablando que vamos a hallar en el mismo sitio, para conocer cómo es que ha evolucionado, como hemos venido trabajando desde 1987 hasta el 2015.
- *Publicaciones CONFIBSIG.* También, como resultado de las diferentes conferencias se han dado publicaciones en el tiempo. Eso quiere decir que las diferentes publicaciones van a aparecer para que nosotros las podamos tener a nuestra disposición, bajarlas, y poder darnos cuenta de cuáles son los trabajos importantes y quienes han sido las personas y las líneas que se han trabajado.
- *Boletín SIBSIG. Notas Informativas.* También hemos puesto allí un Boletín Informativo, Noticias Informativas, de las diferentes actividades que tenemos que hacer que ya no necesariamente tenemos que movilizarnos, sino que a lo mejor podemos hacer, entre la fecha de julio de 2013 a la fecha que se decida para el año 2015, algún evento también virtual, al que todos podamos conectarnos y podamos ver los avances que nosotros tenemos. Entonces, eso se estará informando oportunamente.
- *Enlaces de Interés.* En el último aspecto nosotros hemos puesto Enlaces de Interés, porque tenemos ya peticiones de cómo nos vamos a enlazar con diferentes organizaciones que afines a nuestro campo y dentro de nuestro campo han pedido que estemos unidos. Y como eso sucede, voy a mencionar dos ejemplos. Un ejemplo es el que me ha presentado la Dra. María Cristina Serafini. Ella menciona la necesidad de que también busquemos una asociación o una forma de comunicación, que ya discutiremos, con lo que es la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, SELPER. Entonces yo lo menciono porque va a ser uno de los primeros temas que vamos a discutir. Está también con nosotros el Director General de Catastro y Geografía del Instituto de la Propiedad de Honduras, el Ingeniero

Fausto Ramírez. El es, como decir en algunos países, el Director del Instituto Geográfico Nacional de Honduras. Los institutos geográficos están vinculados con el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, y hay compromisos también que asumir con países, concretamente nosotros como Honduras, vamos a empezar a participar en diferentes Comisiones, y entonces la solicitud que el Ingeniero Ramírez ha planteado la recibimos para poder dar el apoyo como Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica en la propuesta que se tiene de participar de parte de Honduras y responder al Instituto Panamericano de Geografía e Historia. De esta manera, cuando vayamos expresando nuestras ideas, nuestras formas de actuación a través de esa página que espero se consulte frecuentemente, y que vaya a ser interactiva, pues entonces nosotros vamos a tener la comunicación que esperamos que, cuando se dé el evento de Chile lleguemos con resultados concretos. Yo se que ha sido una jornada larga, posiblemente me podría extender con más cosas, pero al agradecer a la Doctora Serafini y al Ingeniero Ramírez, pues sepan que tienen nuestro compromiso y va ser el primer ejemplo de las formas que vamos a actuar para motivar pues, otras iniciativas de otros lugares y que nuestra Sociedad tenga ya una proyección planetaria.

**Punto 7. Cierre de la Sesión.** Seguidamente la Presidenta General de la SIBSIG expresó que, con esto no me queda más que cerrar en este momento la Sesión de la Sociedad Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, para hacerles una nueva Convocatoria en línea en un futuro próximo y que cuando lleguemos a Chile llevemos resultados concretos. Muchas gracias a todos.

### *Dedicación*

Al presentar el Libro Resúmenes de Conferencias y Comunicaciones de la XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (ISBN: 978-99926-96—59-0), el Comité Local Organizador lo dedicó a la Memoria del *Dr. José Antonio Malpica Velasco*, participante de la XIV CONFIBSIG, profesor de la Universidad de Alcalá, España, y colaborador de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Al terminar este *PRÓLOGO* que contiene la MEMORIA de la XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica celebrada en

Tegucigalpa, Honduras, del 3 al 5 de julio de 2013, dedicamos este trabajo a la Memoria del *Dr. Delfino Madrigal Uribe*, Presidente General de la SIBSIG 2011-2013, Presidente Ejecutivo de la SIBSIG 2009-2011, conferencista y participante de la XIV CONFIBSIG, profesor de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma de Estado de México. Su ejemplo, su trabajo y su legado científico permanecerán con nosotros.

*MARÍA CRISTINA PINEDA DE CARÍAS*  
*Decana Facultad Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de*  
*Honduras,*  
*Presidenta General SIBSIG 2013-2015*

*Ciudad Universitaria, Tegucigalpa MDC, Honduras*



## *Lista de Participantes por Países, Empresas e Instituciones*

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
1	Abner Jiménez Galo	Honduras	GIZ, Cooperación Alemana.
2	Adalila Molina Membreño	Nicaragua	Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León
3	Adolfo Dalda Mourón	España	Universidad de Alcalá
4	Alex Javier Cardona	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
5	Alexis Sánchez Ramos	Honduras	INGTELSIG
6	Alfredo Rafael Cuello	Argentina	Centro de Sensores Remotos (FAA), Universidad de Luján
7	Alicia Maricela Cárcamo	Honduras	MOGT/FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
8	Ana Reyes Zavala	Nicaragua	Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, León
9	Antonio Carias Arias	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
10	Antonio Moreno Jiménez	España	Universidad Autónoma de Madrid
11	Carlos Alberto Folgar	Honduras	Aguas de San Pedro
12	Carlos Andrés Castillo Larios	Honduras	Consultor Internacional.

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
13	Celina Michelle Sosa	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
14	César Rodríguez	Honduras	MOGT/FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
15	Claudia Nataly Mondragón Rivera	Honduras	MOGT/FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
16	Daila Pombo	Argentina	Departamento e Instituto de Geografía – Facultad de Ciencias Humanas – Universidad Nacional de La Pampa
17	Dayanna Calderón Alpízar	Costa Rica	Universidad Nacional de Costa Rica
18	Delfino Madrigal Uribe	México	Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México
19	Eduardo Moreno Segura	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
20	Elsa Lily Caballero Zeitún	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
21	Elsa Mireya Rosales Estrada	México	Universidad Autónoma del Estado de México
22	Erika Argentina Zambrano Irías	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
23	Fernanda Tomiello	Brasil	Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas
24	Flor de Liz Céspedes Ortiz	Costa Rica	Universidad Nacional de Costa Rica
25	Florian Hruby	México	Departamento de Geografía y Ord. Territorial. Universidad de Guadalajara
26	Francisco Javier Gonzales Matesanz	España	Instituto Geográfico Nacional de España
27	Francisco Maza	España	Universidad de Alcalá
28	Giovanna Santana Castañeda	México	Universidad Nacional Autónoma de México
29	Guillermo Escalante Ramírez	Costa Rica	Universidad Nacional de Costa Rica
30	Gustavo Adolfo Miranda Salgado	Honduras	Secretaria de Planificación (SEPLAN)
31	Gustavo Buzai	Argentina	Universidad de Luján
32	Jan Koers	Holanda	Kadaster, Holanda
33	Javier Bonatti González	Costa Rica	Universidad de Costa Rica. UCR
34	Jessica Villatoro	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
35	Johan Córdoba Peraza	Costa Rica	Universidad de Costa Rica. UCR
36	Johana Marcela Norori Solís	Honduras	MOGT/FACES/UNAH
37	José Augusto Valdés Pérez	Cuba	Centro Nacional de Áreas Protegidas
38	José David Cáceres	Honduras	FACES/UNAH
39	José Luis Palma Herrera	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
40	José Luis Portillo Nolasco	Honduras	Secretaría de Planificación (SEPLAN)
41	José Miguel Santos Preciado	España	Departamento de Geografía. Universidad Nacional a Distancia (UNED). Madrid, España.
42	José Seguinot Barbosa	Puerto Rico	Universidad de Puerto Rico
43	Juan Antonio Clarós Games	Panamá	Universidad Marítima Internacional de Panamá
44	Juan Carlos Fernández Díaz	Estados Unidos	University of Houston / NCALM
45	Julia Margarita Martínez Gavilanes	Ecuador	Universidad del Azuay. Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador – IERSE
46	Julieta Castellanos Ruíz	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
47	Julio Cesar Moraga Peralta	Costa Rica	Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica
48	Karen Fiorella Ruiz Flores	Costa Rica	Colegio de Ingenieros Topógrafos - Escuela Topografía, Catastro y Geodesia UNA.
49	Lidia Alejandra González Becerril	México	Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México
50	Lilliam Sofía Gómez Solórzano	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
51	Luis Zúniga	Honduras	Aguas de San Pedro
52	Manuel Fuenzalida Díaz	Chile	Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Alberto Hurtado
53	Marcela Virginia Santana Juárez	México	Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía.
54	María Cristina Pineda de Carias	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
55	María Cristina Serafini	Argentina	Universidad Nacional de Luján
56	Mario Alberto Licona Reyes	Honduras	Secretaria de Relaciones Exteriores
57	Mario René Baide Muñoz	Honduras	Universidad Nacional Autónoma de Honduras

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
58	Mario Roberto Andino	Honduras	Secretaría de Educación
59	Marta Elena Ulate Rodríguez	Honduras	Secretaría de Relaciones Exteriores
60	Maurício Couto Polidori	Brasil	Universidad Federal de Pelotas - UFPel
61	Mireia Carreras Alvarez	España	iCarto
62	Mirian Esther Antes	Argentina	Centro de Sensores Remotos (FAA), Universidad de Luján
63	Mónica Chico Avelino	México	Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
64	Mónica Isabel Navarrete Álvarez	Chile	Universidad de Tarapacá
65	Montserrat Gómez Delgado	España	Unidad Docente de Geografía, Departamento de Geografía y Geología, Universidad de Alcalá.
66	Nancy Karolina Martínez	Honduras	Secretaría de Planificación (SEPLAN)
67	Nicolás Caloni	Argentina	Universidad Nacional de General Sarmiento
68	Noel Bonfilio Pineda Jaimes	México	Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
69	Olga Patricia Hernández Rodríguez		Honduras MOGT/FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
70	Omar Delgado Inga	Ecuador	Universidad del Azuay
71	Pablo Méndez Lázaro	Puerto Rico	Universidad de Puerto Rico- Recinto de Ciencias Médicas, Escuela Graduada de Salud Pública, Departamento de Salud Ambiental
72	Pablo Pérez Salazar	Ecuador	Escuela Politécnica del Ejército
73	Pedro Arturo Chocano Ochoa	Perú	Instituto Geográfico Nacional
74	Rafael Enrique Corrales	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
75	Raimundo Montoya	México	Universidad Autónoma del Estado de México
76	Ramón de Jesús Hernández Flores	Honduras	Proyecto USAID ProParque
77	Reynaldo Flores Rivero	Perú	Instituto Geográfico Nacional
78	Rubén Oscar Ramírez Álvarez	Argentina	Ingeniería - UNSJ
79	Steven Oreamuno Herrera	Costa Rica	Universidad Nacional

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
80	Thelma María Mejía Ordoñez	Honduras	MOGT/FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
81	Vilma Lorena Ochoa López	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
82	Yeny Castellanos	Honduras	FACES/ Universidad Nacional Autónoma de Honduras
83	Yessica Yamileth Sosa Reyes	Honduras	FACES/ Universidad

### **Empresas e instituciones**

1	Alba Luz Castro Chacón	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
2	Daniel Leonardo Sierra Rápalo	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
3	Edgar Hernández	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
4	Fausto Ramírez García	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
5	Jimmy Rolis Swarton Padilla	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
6	José Fernando Alemán Sánchez	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía
7	Oswaldo Manuel Castellanos Martínez	Honduras	Dirección General de Catastro y Geografía

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
8	Carlota Valladares	Honduras	ASP Consultores
9	Carmen Lusía Ponce	Honduras	ASP Consultores
10	Claudia Funes	Honduras	ASP Consultores
11	Gizzelle Sánchez	Honduras	ASP Consultores
12	Miriam Sofía Espino Ramos	Honduras	ASP Consultores
13	Mirna Ondina Cruz Martínez	Honduras	ASP Consultores
14	Nelly Manueles	Honduras	ASP Consultores
15	Oscar Mencía	Honduras	ASP Consultores
16	Raúl Lanza	Honduras	ASP Consultores
17	Ricardo Figueroa	Honduras	ASP Consultores
18	Sofía Espino	Honduras	ASP Consultores
19	Wendy Medina	Honduras	ASP Consultores
20	Carlo Rivera	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
21	Daniel Bustillo	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
22	Erick Blanco	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
23	Gabriela Euraque	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
24	Gustavo Martínez	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
25	Jackeline Centeno	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
26	Kandi Aguilera	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
27	Katerine Mejia	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
28	Marco Orellana	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
29	Mauricio Ortega	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
30	Oscar Cárcamo	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
31	Waldo Guardiola	Honduras	Proyecto Administración de Tierras Honduras (PATH)
32	Darwin Martínez	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
33	Geydi Salgado	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
34	Gonzalo Funes	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
35	Heydi Romero	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
36	Jiri Sebesta	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
37	José Gutiérrez	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
38	Juan José Reyes	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
39	Lenin Díaz	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
40	Miguel Ramírez	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
41	Rudi Argeñal	Honduras	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
42	Alejandra Valladares	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
43	Ana Raquel Andino	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
44	Ariel López	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras

---

<i>No.</i>	<i>Nombre por orden alfabético</i>	<i>País</i>	<i>Institución</i>
45	Cindy Euceda	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
46	Gustavo Euceda	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
47	Handerson Contreras	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
48	Henry Ortez	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
49	Joel López	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
50	Juan Carlos Gonzales	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras
51	Juan Manuel Pérez	Honduras	Secretaría de Educación de Honduras



# FORMACIÓN Y ENSEÑANZA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



# *La enseñanza de las tecnologías de la información geográfica (TIG) en España y en Europa*

Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., Rodríguez Espinosa, V.M., Barreira González, P. y Salado García, M.J.

## **Resumen:**

En este trabajo se ha realizado una revisión de los estudios TIG que, en la actualidad, se imparten en Grados y Másteres de Universidades de España y Europa. A través de la información recogida en sus planes de estudio, disponible en Internet, se han analizado sus principales características, objetivos, duración, contenidos, asignaturas, etc. El objetivo final del trabajo ha sido formular una primera clasificación de estudios existentes, conocer cómo se insertan y enseñan estas tecnologías en cada uno de ellos, así como plantear una reflexión crítica sobre sus principales potencialidades y sus deficiencias más significativas.

**Palabras clave:** enseñanza/Grados/ Master/ Tecnologías de la Información Geográfica-TIG

## **Abstract:**

This paper review current TIG-studies in Degrees and Masters' Spanish and European University. Using information from curricula available on websites, we've analyzed its main features, goals, duration, content, subjects, etc. The ultimate goal is to formulate an initial classification of these studies, know how to insert and teach these technologies in each of them, and raise a critical reflection on its main strengths and weaknesses.

**Keywords:** education/Degree/Master/Geographic Information Technologies-GIT

**Bosque Sendra, J.** (joaquin.bosque@uah.es); **Gómez Delgado, M.** (montserrat.gomez@uah.es); **Aguilera Benavente, F.** (f.aguilera@uah.es); **Rodríguez Espinosa, V.M.** (victor.rodriguez@uah.es); **Barreira González, P.** (pablobarreiragonzalez@hotmail.com); **Salado García, M.J.** (mariaj.salado@uah.es. Unidad Docente de Geografía (Dpto. Geografía y Geología), Universidad de Alcalá

## 1. PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA-TIG-

La discusión sobre la enseñanza de los SIG-Sistemas de Información Geográfica y, más en general, de todas las TIG tiene cierta tradición en España; se han publicado varios trabajos sobre el tema y especialmente relevantes han sido las aportaciones que se hicieron en el *V Coloquio de Geografía Cuantitativa* del Grupo de Métodos Cuantitativos de la Asociación de Geógrafos Españoles-AGE (Zaragoza 1992; actas y comunicaciones disponibles en: <http://age.ieg.csic.es/metodos/congresos/zaragoza92.html>), entre ellas Bosque Sendra (1992), Bosque *et al.* (1992), Comas (1992). Con posterioridad, aunque en menor grado, es posible encontrar en la bibliografía algunas interesantes reflexiones al respecto, entre las que cabe destacar Chuvieco (1993), Bosque Sendra (1999) o Bosque Sendra (2000). Sin embargo, en ninguno de los coloquios y congresos que cada dos años organiza el mencionado grupo de la AGE (ahora Grupo TIG de la AGE) se ha vuelto a tratar esta problemática. Esto, en cierta medida y cuanto menos, resulta curioso pues estos encuentros, consolidados ya como unas de las reuniones científicas más importantes sobre TIG en nuestro país y referente obligado en el ámbito de la investigación en esta materia, constituyen al mismo tiempo foros de discusión de todo lo relacionado con este tipo de tecnologías. Por ello, parece oportuno solicitar que se preste en estos Congresos alguna atención al tema y se reflexione sobre la enseñanza de estas tecnologías en diferentes niveles educativos.

Una posible causa de la escasa visibilidad de la vertiente “educativa” de las TIG en este tipo de encuentros sea tal vez que, a principios de los años noventa, se produjo una reforma importante de los planes de estudio universitarios en España, lo que condujo a una cierta discusión sobre cómo incluir estos temas en las nuevas enseñanzas. Pero ahora, cuando se está produciendo la aplicación del denominado Plan Bolonia, para la integración de la Universidad española en el Espacio Europeo de Enseñanza Superior-EEES, puede que sea oportuno retomar y/o profundizar en la discusión sobre este aspecto. En esta línea se pueden destacar algunos esfuerzos recientes de gran interés, como la encuesta de la Asociación Española de Teledetección-AET para determinar el estado de la docencia de esta tecnología en nuestro país (en <http://www.aet.org.es/?q=encuesta-docencia-gral1>) o el trabajo de Serra *et al.* (2012) sobre la situación de las TIG en la enseñanza superior y especializada en Cataluña.

En la serie de trabajos antes mencionados ya se planteaban diversos problemas y cuestiones en relación a la enseñanza de las TIG en la Universidad española, entre las que, a modo de resumen, cabría destacar las referidas al tipo de profesional a formar (¿usuarios “inteligentes”, administradores y desarrolladores de sistemas, consultores?) o la orientación/enfoque general que se debiera dar a los estudios de estas tecnologías (formación de usuarios para la aplicación de las TIG en tareas de ordenación del territorio, en sentido amplio, vs formación de creadores/generadores de datos geográficos digitales).

En esta misma línea, una cuestión importante que ahora es interesante plantear tiene que ver con el nivel de difusión que han tenido las TIG en los nuevos estudios de Grado que se han ido implantando en España y en Europa. ¿Cuántas asignaturas de estos temas se han incluido? o ¿qué nivel de profundidad tienen estos estudios?. Relacionado con lo anterior, ¿cuántos estudios de Máster incluyen enseñanzas sobre estos temas?; ¿existe coherencia entre los niveles de detalle y profundidad de las enseñanzas en estos dos niveles docentes?. Por último, también sería posible plantearse qué ocurre con las TIG en los estudios de doctorado.

A estas preguntas y a otras similares intenta responder este trabajo, realizando para ello una recopilación y revisión de un número importante de estudios TIG o que, al menos, incluyan asignaturas relacionadas con las TIG en sus planes de estudios.

Internet ha sido la principal fuente de información para realizar este análisis, consultando páginas electrónicas institucionales de los diferentes estudios (anexo 1). En la actualidad, es el medio más utilizado y eficaz para darse a conocer, para informar sobre características, requisitos, objetivos, etc. de los estudios y, en definitiva, en el marco competitivo en el que se mueven actualmente las Universidades española y europea, para captar potenciales estudiantes<sup>1</sup>. Por otra parte, en esta misma línea, la información recogida en estas páginas también es utilizada, cada vez más, en las evaluaciones de calidad a los que son sometidos los estudios por parte de agencias externas (por ejemplo, en España, la ANECA).

---

<sup>1</sup> La influencia del Plan Bolonia se deja también sentir en la información recogida en estas páginas electrónicas, más apreciable en las de estudios oficiales donde es más fácil encontrar cuestiones típicas de esta reforma de las enseñanzas: objetivos, listas de competencias a alcanzar, mecanismos de control de calidad, etc. En las de los otros estudios se mantiene un cierto enfoque clásico con descripción de asignaturas y contenidos, enumeración de profesorado, etc.

Pero previamente es conveniente y oportuno definir las TIG, a qué técnicas nos referimos cuando hablamos de TIG. Bosque (1999) las define como “*procedimientos desarrollados para reunir, manipular (analizar) la información geográfica, en especial aquella que está expresada en formato digital*”. Conforman un conjunto amplio de tecnologías, cada vez más difundidas, diseñadas y pensadas para gestionar, manejar y procesar información espacial.

Inicialmente se puede considerar bajo esa denominación diferentes tecnologías, temáticas y disciplinas académicas, entre ellas, sin intención de ser exhaustivos: (a) Cartografía, una de las más antiguas, con orígenes que, seguramente, se remontan a la Antigüedad; (b) Geodesia, que hasta el Renacimiento europeo no se puede considerar como una materia técnica avanzada; (c) Fotointerpretación, surgida en el siglo XIX y, sobre todo, en el XX al amparo de la aparición y los avances en la fotografía, en general, y en la fotografía aérea, en particular, y sus amplias posibilidades en la obtención de datos sobre el territorio; (d) Fotogrametría, muy relacionada con la anterior, facilita las herramientas más potentes para poder obtener información espacial de imágenes aéreas; (e) Teledetección, similar a la Fotointerpretación pero utilizando una nueva fuente de imágenes, los sensores y receptores portados por satélites artificiales, surge ya avanzado el siglo XX; (f) SIG, surgen, casi simultáneamente a la Teledetección, como herramientas para el análisis de datos territoriales reunidos por muchas de las ya citadas técnicas; (g) Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, GLONASS o futuro Galileo), se pueden considerar plenamente operativos en la década de 1990 como nuevo método para proporcionar la localización sobre el territorio, añadiendo nuevas posibilidades a la Geodesia y a la obtención de datos espaciales; (h) Infraestructuras de Datos Espaciales-IDE, iniciativas que surgen también hacia la década de 1990 como medio de difundir, con facilidad y eficacia, la enormidad de datos territoriales disponibles con el uso de toda esa panoplia de tecnologías, sistemas y servicios de búsqueda, acceso y difusión de información a través de Internet, así como de estándares y protocolos de armonización de la misma y de las tecnologías relacionadas. Estas iniciativas están adquiriendo gran importancia y difusión y son numerosas las IDE que, a todos los niveles (corporativo, local, regional, nacional, etc.) están en marcha; (i) Geografía Voluntaria o Participativa (VGI, acrónimo inglés), relacionada con la anterior y en la que personas e instituciones diversas, usando Internet, ponen a disposición de todos datos territoriales (buen ejemplo es *Google Map* o *Google Earth*, Goodchild, 2007); (j) Location-based services and mobile geospatial technologies, novísimas técnicas, en rápido crecimiento y de uso cada vez más masivo, orientadas a ofrecer

servicios personalizados de diversa índole a usuarios, considerando la ubicación geográfica de los mismos y haciendo uso de tecnologías de comunicación en red, SIG, GPS, dispositivos telefónicos móviles o similares (Hurson y Gao, 2009).

En principio se podría pensar que los estudios relacionados con TIG deberían o podrían incluir enseñanzas de todas estas tecnologías, temáticas y disciplinas (fundamentos conceptuales, técnicos y aplicados) que, por otra parte, tienen muy diferente complicación y profundidad. Como veremos después, y como es fácil de prever, esto no es sencillo y no resulta viable en la mayor parte de las ocasiones. Lo habitual es que los diversos estudios (Grados, Máster, etc.) se vean obligados a realizar una selección entre las tecnologías y temáticas mencionadas en función de los diversos intereses que fundamentan su desarrollo. Esta situación puede dar origen a estudios TIG muy diferentes entre sí.

## **2. LA BÚSQUEDA DE ESTUDIOS TIG EN LAS UNIVERSIDADES DE ESPAÑA Y EUROPA**

Los estudios TIG en Universidades de España y Europa presentan una amplia variedad de posibilidades y de opciones. En España actualmente no existen Grados dedicados en exclusiva al estudio de TIG, aunque sí se pueden encontrar asignaturas relacionadas con ellas en varios Grados como, por ejemplo, en la mayoría de los Grados de Geografía. Algo similar se puede decir de los Grados de Ciencias Ambientales, que suelen incluir materias centradas en estos temas. En Universidades europeas, sin embargo, sí se ha podido constatar la existencia Grados dedicados en exclusiva, o casi, al estudio de TIG.

Por el contrario, es en el nivel de Máster donde la oferta de enseñanzas TIG es más amplia y diversa en nuestro país, como lo es también en el resto de Europa, encontrándose múltiples titulaciones que se podrían enmarcar en este ámbito.

En la tabla 1 se muestra la relación de estudios TIG (de Grado y Máster, en Universidades españolas y europeas) que se han analizado en este trabajo. No son todos los existentes; aunque no sea exhaustiva, se puede considerar que la selección realizada incluye un número amplio y bastante representativo de los diferentes tipos de enseñanzas españolas y europeas relacionadas con TIG. Es bastante posible obtener conclusiones claras en base a la información recogida en ese conjunto de enseñanzas.

Tabla 1. Relación de estudios de Grado y Máster TIG en Universidades españolas y europeas

NIVEL	DENOMINACIÓN	ÁMBITO	UNIVERSIDAD/INSTITUCIÓN	
GRADOS	Geomática y Topografía	ESPAÑA	UEX-Extremadura UJa- Jaén ULPGC-Las Palmas ULe- León UDv- Oviedo	UPC-Politécnica Cataluña UPM-Politécnica Madrid UPV/EHU- País Vasco USal-Salamanca USC-Santiago de Compostela
	Geografía		UAM-Autónoma Madrid UAB-Autónoma Barcelona UB-Barcelona	UM-Murcia UCv- Oviedo UPV/EHU- País Vasco
GRADOS	Ciencias Ambientales		UCA- Cantabria UCM- Complutense UDG- Gerona ULe- León	USal-Salamanca USC-Santiago de Compostela US-Sevilla UVA-Valladolid Unizar-Zaragoza
			UAH-Alcalá de Henares UB-Barcelona UGr-Granada UPV/EHU- País Vasco	
	Geographic Information Technologies	EUROPA	Newcastle University (Reino Unido) Portsmouth University (Reino Unido)	

NIVEL	DENOMINACIÓN	ÁMBITO	UNIVERSIDAD/INSTITUCIÓN	
MASTRES	TIG	ESPAÑA	UAH-Alcalá de Henares UAB-Autónoma Barcelona UAM-Autónoma Madrid UB-Barcelona UCM-Complutense CREAF-UAB ESRI-España UEX-Extremadura	UDG-Gerona UGr-Granada UJa- Jaén UJI- Jaume I UPC-Politécnica Cataluña UPM-Politécnica Madrid US-Sevilla USal-Salamanca Unizar-Zaragoza
	GIS	EUROPA	University of Twente (Enschede, Países Bajos) Université Toulouse-Le Mirail (Francia) Graz University of Technology (Graz, Austria) Westfälische Wilhelms-Universität Münster (Alemania) (ERASMUS MUNDUS) Universidade Nova de Lisboa (Portugal) Universidade de Coimbra (Portugal) University of Greenwich (Reino Unido)	

Fuente: Elaboración propia

Se ha seleccionado una muestra representativa de los Grados (en Geografía<sup>2</sup>, Geomática y Topografía, Ciencias Ambientales) impartidos en Universidades españolas, así como algunos Grados y Másteres específicos TIG de Universidades europeas. En el caso de Másteres TIG españoles, sí se ha intentado recoger y analizar la totalidad de los impartidos hasta la fecha en nuestras Universidades.

Con objeto de facilitar la recopilación de información y su posterior análisis, se diseñó un sencillo formulario con el que se pretendía cubrir, en la medida en que la información incluida en las páginas electrónicas de las diferentes enseñanzas lo posibilitan, cuestiones que se consideraron relevantes y de interés para este estudio.

<sup>2</sup>En un reciente trabajo de Esparcia y Sánchez (2012) sobre los nuevos Grados en Geografía españoles se identifican 26 Universidades en las que se imparte este tipo de estudios.

NOMBRE DEL ESTUDIO	
NIVEL	Grado/Postgrado
TIPO DE ESTUDIO	Oficial/Propio
UNIVERSIDAD	
DIRECCIÓN <small>web</small>	
DURACIÓN	Años/Créditos
OBJETIVOS	... a conseguir con la realización de la enseñanza
COMPETENCIAS	... que deberían obtenerse por los estudiantes al finalizar el estudio
TIPOS GRALES. DE CONTENIDOS	Cartografía, SIG, Teledetección, etc.
ASIGNATURAS	... más usuales e importantes, relacionadas con TIG

### 3. RESULTADOS

Organizado según tipo de estudio, en este apartado se presentan algunos de los resultados y conclusiones destacadas en relación a la presencia de TIG en la enseñanza universitaria española y europea.

#### a) Estudios de Grado

En España, la presencia de la enseñanza de TIG en estudios de Grado (con una duración de 4 años, 240 ECTS<sup>3</sup>) se puede clasificar en dos grandes grupos: en el primero estarían los numerosos Grados de Geomática y Topografía, impartidos en Escuelas/Universidades politécnicas y, por lo general, vinculados a departamentos universitarios de Ingeniería Topográfica o similares.

En cierto modo estos Grados son herencia de los estudios de la antigua Ingeniería Técnica de Topografía y de la Ingeniería Superior en Geodesia y Cartografía. Incluyen en sus planes de estudio una buena cantidad de asignaturas TIG (SIG, Teledetección, Cartografía, Fotogrametría y Geodesia, principalmente) y se puede considerar que son los estudios que más espacio otorgan a estas tecnologías en la enseñanza universitaria española; entre 30-50% de los créditos se dedican a su estudio. Junto a estas materias se añaden otras que pueden considerarse básicas, como las Matemáticas y algunas partes de la Física sobre las que, en

---

<sup>3</sup> Los ECTS (*European Credit Transfer System*) representan entre 25-30 horas de aprendizaje y valoran el tiempo invertido por el alumno (asistencia al aula, estudio, trabajo fuera del aula, etc.) en adquirir las competencias del programa de estudio.

parte, se sustentan la Geodesia, la Cartografía, etc.

En conjunto se trata de una enseñanza de marcado carácter ingenieril y aplicado y cuyo objetivo explícito es capacitar a los estudiantes para la realización de proyectos relacionados con la medida, explotación y otras varias acciones sobre el territorio, empleando para ello las TIG: *“planificar, proyectar, dirigir, ejecutar y gestionar procesos de medida, sistemas de información, explotación de imágenes, posicionamiento y navegación (...) modelización, representación y visualización de la información territorial en, bajo y sobre la superficie terrestre”*.

En estos Grados aparece un alto contenido en competencias<sup>4</sup> relacionadas con TIG, siendo los estudios que más se asemejan a los existentes en otras Universidades europeas. Cabe destacar algunas, como: (1) *“conocimiento, aplicación y análisis de los procesos de tratamiento de imágenes digitales e información espacial, procedentes de sensores aerotransportados y satélites”* o (2) *“diseño, producción y difusión de la cartografía básica y temática”; “implementación, gestión y explotación de SIG”*.

Por otra parte, estarían los Grados de carácter territorial/geográfico, principalmente los de Geografía y Ordenación del Territorio y, en menor medida, los de Ciencias Ambientales. Incluyen algunas materias relacionadas con TIG, no demasiadas. En ellos las TIG tienen una componente instrumental auxiliar aunque muy significativa, pues resultan fundamentales en la adquisición de competencias de carácter complejo, como las relacionadas con la Ordenación del Territorio o la Evaluación de Impacto Ambiental.

En Grados de Geografía es posible advertir diferencias notables con los de Geomática en cuanto a objetivos; mucho más prácticos y centrados en proyectos en el caso de estos últimos, los objetivos en los de Geografía son del tipo: (1) *“manejar técnicas específicas de análisis e interpretación del espacio geográfico: fuentes de información, trabajo de campo, fotointerpretación, teledetección, tratamiento de datos y estadística, cartografía y SIG”* o (2) *“aplicación de los métodos de trabajo y de las TIG para abordar los estudios territoriales, medioambientales y paisajísticos*

---

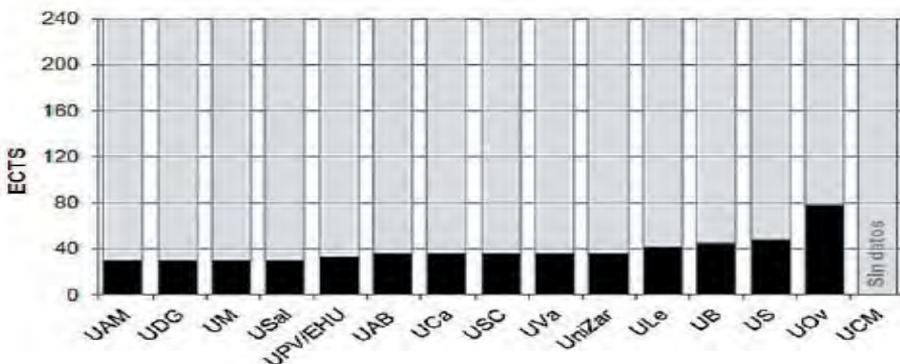
<sup>4</sup> El concepto de competencia, en el contexto del EEES, se define como *“combinación dinámica de atributos, en relación a conocimientos, habilidades, actitudes y responsabilidades, que describen los resultados del aprendizaje de un programa educativo o lo que los alumnos son capaces de demostrar al final del proceso educativo”* (Montero, 2010).

a diferentes escalas de análisis”.

Las competencias enumeradas parecen, en algunos casos, más concretas: “utilizar la información geográfica como instrumento para la interpretación del territorio”; “expresar información cartográficamente”; “conocer las capacidades de los SIG en la gestión y planificación de proyectos”; “elaborar cartografías temáticas e inventarios del medio físico para la evaluación, planificación y ordenación del territorio”; “conocer la naturaleza de la información geográfica en formato digital: geometría, topología y atributos temáticos”.

Las TIG presentes en sus planes de estudios son, esencialmente, la Cartografía (muy frecuente en muchos Grados), SIG y, en menor medida, Teledetección y Fotointerpretación; son habituales asignaturas con denominaciones clásicas como Cartografía básica, Cartografía temática, Introducción a las TIG, SIG raster, SIG vectorial, etc. En general se puede considerar que en torno a un 10-15% de la carga docente de este tipo de estudios se dedica a temas TIG, un cierto incremento respecto a lo que ocurría en las anteriores Licenciaturas en Geografía (Burriel, 2004). Pero no se termina de aclarar el nivel de profundidad con que se tratan los temas TIG en estos Grados y es de temer que, dado el número de créditos dedicados a estas técnicas, no se puedan obtener completamente las competencias pretendidas (figura 1).

Figura 1. Grados en Geografía (seleccionados) en Universidades españolas. ECTS dedicados a asignaturas específicas TIG sobre total del estudio.



Fuente: Elaboración propia

En los Grados de Ciencias Ambientales, por su parte, la presencia de TIG es más reducida, siendo los SIG y, en menor medida, la Cartografía y la Teledetección.

ción las más habituales. El número de asignaturas relacionadas que se incluyen en sus planes de estudio se limita a una o dos, tres como mucho; una carga docente que no suele superar los 10-12 ECTS y que tan sólo representa en torno a un 5% del total de carga del estudio.

El objetivo de muchos de estos Grados se suele enunciar como “...*formación adecuada para abordar los problemas ambientales desde diversos ámbitos del conocimiento, desde conocimientos teóricos y prácticos de las ciencias naturales y sociales hasta las tecnologías necesarias para aplicar estos conocimientos en la práctica...*”, o de esta otra manera “...*crear expertos en el conocimiento de las relaciones entre las actividades humanas y el medio físico y biológico, en sus implicaciones socioeconómicas, y en las aplicaciones tecnológicas para la prevención y corrección de los problemas ambientales...*”. Y para conseguirlo se establecen competencias que, en lo referido a TIG, resultan un tanto vagas y generales (como “... *manejo y aplicación de SIG e interpretación de imágenes de teledetección para aplicaciones ambientales...*”) y que, de nuevo, no es seguro que sea posible su consecución a la luz de la dedicación de créditos prevista en los planes de estudio.

En resumen, a nivel de Grado las TIG se enseñan en la Universidad española en tres tipos de estudios. Por una parte, un tipo más ingenieril y con mayor peso de las técnicas centradas en la obtención de los datos geográficos y, por otra, los Grados más relacionados con las Ciencias Sociales y los estudios que podríamos denominar “de letras”.

El tercer ámbito donde se pueden estudiar, en cierto volumen, las TIG es precisamente este nuevo estudio de Ciencias Ambientales. Surgido en los últimos veinte años con bastante éxito, es un título “de ciencias” que compite tanto con otras carreras “de ciencias” (Biología, Químicas, etc.) como con alguna “de letras”, como la renovada Geografía (Puyol *et al.*, 2012).

En relación a la presencia de las TIG en estos estudios, es posible establecer una especie de gradación decreciente en cuanto a créditos dedicados a este tipo de tecnologías, desde los Grados en Geomática (donde, como hemos visto, la presencia de las TIG es significativa) hasta los de Ciencias Ambientales (con una presencia casi testimonial).

En varias Universidades europeas existen Grados dedicados exclusiva-

mente a TIG. Aquí se han analizado, a modo de ejemplo, dos de los que se imparten en Universidades del Reino Unido (las de Newcastle y Portsmouth). La Universidad británica presenta ciertas peculiaridades en la adopción y adaptación al EEES, pero se ha considerado que los casos seleccionados pueden servir para conocer las características de estos estudios a nivel europeo y comprobar si existen diferencias significativas con los que se imparten en España.

En estos Grados británicos los objetivos resultan un tanto generales y no se hacen demasiadas referencias a TIG: “... *to develop and refine student’s intellectual and critical abilities so that they can define, investigate, analyse and synthesise problems, form judgements, make decisions and demonstrate their competence in such skills...*”. Sin embargo, la formulación de competencias sí es precisa y clara, entre ellas: (1) “... *combine and interpret different types of geographical evidence...*”; (2) “... *apply a range of techniques for the analysis of geographical data and interpret the outcomes...*”; (3) “... *effectively present geographical information...*”; (4) “... *perform applications programming appropriate to GIS...*”.

En general, en estos Grados se lleva a cabo una ampliación de los temas TIG estudiados; se añaden cuestiones de fundamentos (por ejemplo, Matemáticas y Bases de Datos) y, además, la presencia de TIG es destacada, añadiéndose a las habituales (Cartografía, SIG, Teledetección) otras menos habituales en Grados similares como la Fotogrametría y la Geodesia. Además se dedica una cierta cantidad de la actividad docente al estudio de algoritmos espaciales y a la programación enfocada a problemas geográficos.

Tienen, por lo tanto, cierta semejanza con los actuales Grados de Geomática y Topografía que se realizan en España, pero sin la fuerte especialización de estos en la Topografía y en temas similares.

## **b) Estudios de Máster**

En España se han analizado dieciséis estudios de Máster relacionados de manera importante con TIG, algunos de ellos de tradición superior a los diez años. Más de la mitad son títulos propios de cada Universidad (o de empresas privadas) y el resto (unos 6) son estudios oficiales reconocidos por el Estado español (figura 2).



En conjunto, casi tres cuartas partes de estos estudios se realizan y/o dirigen por departamentos de Geografía. El resto de Másteres están encabezados por departamentos de Ingeniería Cartográfica de Universidades o Escuelas Politécnicas (los mismos que, en gran medida, encabezan la enseñanza de los Grados de Geomática y Topografía), aspecto que quizá esté incidiendo significativamente en el enfoque del estudio, más volcado a la formación de personal dedicado a la captura y creación de datos geográficos.

Diferente situación es la que se puede detectar en aquellos Másteres que parten desde departamentos de Geografía, más orientados a la preparación de usuarios (más o menos capacitados, “inteligentes”) de las TIG, especialmente de los SIG.

La observación de los objetivos que se plantean en estos estudios parece confirmar estas primeras apreciaciones. Existen diversas versiones de objetivos dependiendo del enfoque general del Máster: (1) “... *dominar los conceptos y herramientas básicas de las TIG...*”; (2) “... *formar profesionales para el trabajo con datos espaciales en empresas e instituciones...*”; (3) “... *aportaciones y aplicación de las TIG a la ordenación del territorio, análisis territorial u ámbitos específicos...*”.

Para conseguirlos se suelen enumerar algunas competencias comunes a todos los estudios analizados, entre ellas: “... *ser capaz de realizar operaciones de gestión, análisis y presentación de la información geográfica en el entorno de los SIG...*”; “... *ser capaz de comprender, manejar, interpretar y analizar imágenes de satélite y fotografías aéreas...*”; “... *ser capaz de pensar (concebir), elaborar, utilizar e interpretar mapas sencillos...*”. Una formulación de competencias que, como se puede advertir, no se diferencia excesivamente de la que se puede encontrar en estudios de Grado, mostrando de nuevo la indefinición que puede existir en este aspecto entre los dos niveles de la enseñanza universitaria española.

Aunque los contenidos más usuales varían bastante entre Másteres, en general se puede decir que los relativos a SIG son incluidos en todos ellos. También la Cartografía está ampliamente representada en los contenidos de estos estudios, si bien con diferencias en cuanto a su importancia y peso en el temario de cada uno de ellos. Por su parte, la presencia de la Teledetección sólo se puede considerar relevante en la mitad de los Másteres analizados y la de otras técnicas (Geodesia, Fo-

togrametría, GPS, etc.) es minoritaria. Estos contenidos, como se puede suponer, son más habituales en Másteres más “técnicos” (los que surgen de las Escuelas de Ingeniería), en los que también es habitual encontrar contenidos relacionados con las IDE.

De esta forma, las asignaturas concretas que se imparten también varían ampliamente entre Másteres (en cuanto a nombre y planteamiento), pero quizá se pueda considerar que existe una cierta coincidencia en la aparición de algunas materias, con contenidos similares: Fundamentos Cartografía (Definición. Sintaxis cartográfica. Lectura de mapas); Fundamentos SIG (Definición. Modelos de datos. Métodos de análisis. Aplicaciones SIG); Fundamentos Teledetección (Sensores. Imágenes. Tratamiento visual y digital); Análisis espacial o geográfico (Algebra de mapas. Transformación de datos espaciales. Estadística espacial).

En ninguno de los Másteres revisados se ha podido constatar la presencia (en contenidos y/o asignaturas concretas) de las recientes tecnologías mencionadas en la introducción del trabajo. Hay que tener en cuenta que, evidentemente, existe siempre un desfase temporal entre la aparición y desarrollo de cualquier nueva técnica, tecnología o metodología y su estudio formal en un título reglado. De ese modo, temas relacionados con *location-based services and mobile geospatial technologies* no se han encontrado representados con claridad.

Por lo que se refiere a Másteres similares impartidos en Universidades europeas, en este trabajo se han analizado los de siete Universidades (tabla 1). En principio, se advierte que se trata de estudios relativamente más avanzados que los que se desarrollan en España. Están dirigidos, sobre todo, a la preparación de usuarios TIG para que puedan aplicar estas tecnologías a la resolución de problemas concretos en empresas e instituciones diversas.

Entre las TIG, no sólo incluyen en sus planes de estudio las habituales SIG o Cartografía, también se puede comprobar la presencia de técnicas más dirigidas a la obtención de datos e información, como Fotogrametría o Teledetección (si bien no queda claro el nivel de profundidad que se alcanza en estas cuestiones), o, en varios casos, la de algunos nuevos desarrollos tecnológicos. En ellos también tiene presencia destacada la programación informática, que aparece como materia en la mayoría de los Másteres analizados. En este sentido, y en otros, presentan ciertas similitudes con los Másteres que se imparte en las Universidades catalanas, estu-

diados recientemente en el trabajo de Serra *et al.* (2012).

Para terminar, ¿qué se puede decir de los estudios de Doctorado en su relación con TIG?. En España se ha producido recientemente una nueva revisión de las normas administrativas sobre este tipo de estudios. Ahora el estudiante de Doctorado no está obligado a recibir actividades docentes de importancia; se tiene que dedicar, casi exclusivamente, a elaborar su trabajo de investigación y a redactar una tesis, pues cuenta con un plazo de tiempo limitado para ello. Buscando en Universidades españolas parece que sólo en la de Alcalá (UAH) existe un Doctorado en el que las TIG tienen un protagonista (<http://geogra.uah.es/joomla/index.php/docencia/ct-menu-item-35>). En el resto no existen estudios iguales o similares; puede encontrarse algunos Doctorados con otras temáticas en los que las TIG tienen algún papel auxiliar, pero no son centrales como en la UAH. Tampoco en Europa es fácil encontrar estudios con este planteamiento, ni tan siquiera en el prestigioso ITC holandés (University of Twente).

Para calibrar el interés y utilidad de este tipo de planteamiento del Doctorado se pueden consultar y analizar los resultados, tesis doctorales defendidas, etc.; en la dirección anterior, por ejemplo, también se enumeran las tesis presentadas y defendidas en los más de veinte años de existencia del Doctorado de la UAH. En cualquier caso, no es fácil concluir algo significativo con un solo caso de estudio, pero creemos que se proporciona alguna información útil sobre este tema.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las TIG vienen experimentando desde hace algunas décadas una evolución espectacular, una rápida difusión e implantación cada vez más evidente en cualquier ámbito profesional. El carácter “expansivo” de estas tecnologías también se ha dejado notar en el ámbito académico; la enseñanza de TIG despierta cada vez mayor interés y crece la preocupación por formar profesionales que utilicen y apliquen este tipo de tecnologías.

Se asiste, así, a la frecuente aparición de gran cantidad de estudios TIG, generales o más especializados. También se ha incrementado la oferta de estos estudios en los diferentes niveles de la educación universitaria, tanto en España como en el resto de Europa.

En este trabajo se ha llevado a cabo una primera aproximación a este tipo de estudios para conocer sus principales características y saber cómo se aborda en ellos la enseñanza de TIG. Algunas conclusiones de cierto interés se han ido apuntando a lo largo del texto y aquí se señalan de nuevo y se incide en otras que se consideran igualmente interesantes.

En la Universidad española, a diferencia de lo que sucede en otros países europeos, no existen estudios de Grado dedicados en exclusiva a TIG. Su enseñanza suele formar parte de estudios más generalistas, como los Grados de Geografía/Ordenación del Territorio o de Ciencias Ambientales. En ellos la presencia de TIG, en cuanto al número de asignaturas y créditos dedicados en sus planes de estudio, no suele ser muy importante; se podría decir que, en algunos casos, es casi testimonial.

Sin embargo, en otros Grados, como los de Geomática y Topografía, las TIG aparecen de forma significativa en sus planes de estudio. En este sentido presentan similitud con los Grados TIG europeos que se han analizado en este trabajo, con una amplia representación de asignaturas sobre TIG y centrados en la formación más aplicada de las mismas.

De esta forma, cabría plantear algunas reflexiones sobre la conveniencia de implantar en el Grado español titulaciones específicas de TIG. Preguntarse sobre el motivo por el que estos estudios no existen en este nivel en la Universidad española. Y preguntarse, de igual forma, si la formación que en estas materias se da en los Grados analizados cubre suficientemente la formación básica del alumnado y lo prepara para enfrentarse, más adelante, al nivel más avanzado, especializado, que representan los Másteres.

En muchos de los Másteres revisados es frecuente encontrar asignaturas sobre nociones básicas o fundamentos de, al menos, las TIG clásicas. ¿Hasta qué punto resulta necesario o conveniente incidir en éstas cuestiones en un estudio avanzado?.

La oferta de Másteres relacionados con TIG en las Universidades españolas, tanto de carácter oficial como estudios propios universitarios, es amplia. En muchos casos, se ve complementada con una oferta también amplia y frecuente de estudios especializados y específicos, impartidos desde el ámbito académico y/o desde la empresa privada.

Como en el caso de los Grados, en los Másteres TIG españoles se pueden advertir varias orientaciones, relacionadas con la forma de enseñar estas tecnologías y el tipo de formación que se persigue en cada uno de ellos. Dependiendo, en cierta medida, del origen de la iniciativa, es posible encontrar, por un lado, Másteres más volcados a la formación de personal dedicado a la captura y creación de datos geográficos (estudios relacionados con Universidades y/o Escuelas Politécnicas) y, por otro, estudios en los que hay mayor preocupación por preparar y formar usuarios “inteligentes” de TIG (relacionados con departamentos de Geografía o similares).

Las diferencias con los Másteres europeos (los siete analizados) no son muy significativas. Tal vez lo más destacado es constatar que, en general, son enseñanzas un tanto más avanzadas, en el sentido de que presentan una clara orientación hacia la aplicación de TIG en la resolución de problemas concretos de empresas e instituciones/organismos diversos, así como la mayor presencia de la programación informática en sus planes de estudio (por ejemplo, en su aplicación a SIG, para extender y/o personalizar funcionalidades de las herramientas, para su implementación en entornos *web*, etc.).

Al igual que en los Másteres españoles, en estos estudios no se aprecia una presencia clara y significativa de materias y/o contenidos relacionados con las TIG de reciente aparición y desarrollo que, por otra parte, suelen ser ofertados como cursos de extensión universitaria o de empresas privadas relacionadas con las TIG. Tampoco parecen resueltos aquí algunos aspectos relativos a la formulación de competencias.

Otra de las reflexiones destacadas de este trabajo tiene que ver con la falta de coordinación que, en este sentido, se detecta entre los dos niveles de la enseñanza universitaria (Grados y Másteres). La formulación de competencias de ambos no se diferencia excesivamente y, lo que puede ser más preocupante, no parece existir continuidad en las mismas; si los planes de estudio estuviesen bien elaborados debería existir una jerarquización de competencias entre ambos niveles, y eso no es tan claro en los estudios aquí analizados.

Una cuestión igualmente problemática en este sentido, que también se ha evidenciado en este trabajo, tiene que ver con el hecho de que, en no pocas oca-

siones, la formulación de las diferentes competencias suele resultar poco realista en cuanto al tiempo que se prevé para su consecución. Por ejemplo, refiriéndonos a SIG, en varios de los Másteres revisados tan sólo se prevé para su estudio seis ECTS; ¿es posible alcanzar así la totalidad de competencias planteadas?. Parece difícil. Este es un problema bastante común que aparece en las evaluaciones que, por ejemplo, realiza en España la ANECA sobre los diferentes estudios universitarios; se plantean competencias pero no se incluye tiempo suficiente para su obtención.

Resulta necesario que los planes de estudio estén bien formulados, que sean más explícitos en las competencias de las diferentes materias que incorporan, incluyendo con más frecuencia términos como “básico” o “nivel básico”, en el caso de los Grados, para diferenciarlas expresamente del nivel avanzado que representan los estudios de Máster.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Alegre Nadal, P. (1992): “La docencia de la Teledetección”, en *V Coloquio de Geografía cuantitativa. Actas. Comunicaciones (Zaragoza, septiembre de 1992). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 1992*. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992\\_19\\_alegre.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992_19_alegre.pdf).
- Bosque Sendra, J. (2000): “Nuevas perspectivas en la enseñanza de las tecnologías de la información geográfica”, en *Serie Geográfica*, nº 8, pp. 25-34. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=190809>.
- Bosque Sendra, J. (1999): “La Ciencia de la Información Geográfica y la Geografía”, en *VII Encuentro de Geógrafos de América latina*. Publicaciones CD, Inc. (CD-ROM), San Juan de Puerto Rico, 15 págs.
- Bosque Sendra, J. (1992): “La enseñanza de los Sistemas de Información Geográfica”, *V Coloquio de Geografía cuantitativa. Actas. Comunicaciones (Zaragoza, septiembre de 1992). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 1992*. pp. 47-58. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992\\_03\\_bosque.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992_03_bosque.pdf).
- Bosque Sendra, J.; Chuvieco Salinero, E.; Domínguez, L. y González, R. (1992): “Aproximación a la problemática de la Didáctica de los SIG”, en *Comunicaciones 1º Congreso AESIGYT, Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión territorial (Madrid, abril de 1992)*, AESIGYT, pp. 126-138.
- Burriel de Orueta, E.L. (2004): “La base formativa común en la enseñanza universitaria de la Geografía en España”, en *Boletín de la Asociación de Geógra-*

*fos Españoles*, nº 38-2004, pp. 47-70. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079115>.

- Comas, D. y Donaire Beito, J.A. (1992): “La enseñanza de los SIG. Reflexiones didácticas”, en *V Coloquio de Geografía cuantitativa. Actas. Comunicaciones (Zaragoza, septiembre de 1992). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 1992*, pp. 75-89. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992\\_05\\_comas&donaire.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/zaragoza92/1992_05_comas&donaire.pdf).
- Chuvieco, E. (editor) (1993): “La enseñanza de la Teledetección en España”, en *Serie geográfica*, nº 2. Esparcia Pérez, J. y Sánchez Aguilera, D. (2012): “De la teoría a la práctica. El proceso de diseño e implantación de los Grados de Geografía en las Universidades españolas”, en *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 58-2012, pp. 405-427. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3886904>.
- Goodchild, M. (2007): “Citizens as sensors: the world of volunteered geography”, en *GeoJournal* 69 (4), pp. 211-221. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10708-007-9111-y>.
- Hurson, A.R. y Gao, X. (2009): “Location-Based Services”, en *Encyclopedia of Information Science and Technology. Second Edition*, IGI Global, pp. 2456-2461. Disponible en: <http://www.igi-global.com/chapter/location-based-services/13929>.
- Montero Curiel, M. (2010): “El Proceso de Bolonia y las nuevas competencias”, en *Tejuelo*, nº 9 (2010), pp. 19-37. Disponible en: <http://iesgtballester.juntaextremadura.net/web/profesores/tejuelo/vinculos/articulos/r09/03.pdf>
- Pujol, H.; Garcia Ramón, M.D. y Ortiz, A. (2012): “El profesorado universitario de Geografía en España y sus trayectorias profesionales: una mirada de género”, en *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 59-2012, pp. 323-344. Disponible en: [http://ddd.uab.cat/pub/artpub/2012/4946/bolage\\_a2012n59p323.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/artpub/2012/4946/bolage_a2012n59p323.pdf).
- Santos Preciado, J.M. (1990): “La enseñanza en la Universidad española de los métodos cuantitativos en Geografía”, en *IV Coloquio de Geografía cuantitativa. Actas. Comunicaciones (Mallorca, septiembre de 1990). Servicio de Publicaciones de la Universitat de les Illes Balears, 1990*, pp. 261-296. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/1990\\_Palma/1990\\_16\\_Santos.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/1990_Palma/1990_16_Santos.pdf).
- Serra, P.; Pou, M. y Pons, X. (2012): “La docència en Ciència i Tecnologia de la Informació Geogràfica a Catalunya (2006-2009): una aproximació quantitativa”, en *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 2012, vol. 58/3, pp. 497-517. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/view/259387>.



USal	Geografía	<a href="http://www.usal.es/webusal/boce/4938">http://www.usal.es/webusal/boce/4938</a>
USC	Geografía y Orden Territorio	<a href="http://www.usc.es/centros/vehistoria/fulaciones.html?plano=12713&amp;estudop=12714&amp;codEstudio=12317&amp;valor=8">http://www.usc.es/centros/vehistoria/fulaciones.html?plano=12713&amp;estudop=12714&amp;codEstudio=12317&amp;valor=8</a>
US	Geografía y Gestión Territ.	<a href="http://www.us.es/estudios/grados/plan_1647p=4">http://www.us.es/estudios/grados/plan_1647p=4</a>
Uva	Geografía y Orden Territorio	<a href="http://grado.uva.es/grado-en-geografia-y-ordenacion-del-territorio">http://grado.uva.es/grado-en-geografia-y-ordenacion-del-territorio</a>
Unizar	Geografía y Orden Territorio	<a href="http://geografia.unizar.es/html/home_dhce/">http://geografia.unizar.es/html/home_dhce/</a>

Universidad	Denominación	Dirección web
UPC	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.upc.edu/trauffixa_grau.php?rd_estud=238&amp;angres=0">http://www.upc.edu/trauffixa_grau.php?rd_estud=238&amp;angres=0</a>
UEX	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.uev.es/conoce-la-uev/estructura-academica/centros/cum/info_academica_centro/titulaciones/info_titulacion/idCentro=118&amp;idTitulacion=628&amp;idPlan=1613">http://www.uev.es/conoce-la-uev/estructura-academica/centros/cum/info_academica_centro/titulaciones/info_titulacion/idCentro=118&amp;idTitulacion=628&amp;idPlan=1613</a>
UJa	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://grados.ujaen.es/mode/10/presentacion">http://grados.ujaen.es/mode/10/presentacion</a>
ULPGC	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.ulpgc.es/index.php?osai=estudios&amp;ver=www00&amp;idplan=&amp;codig=105_4021_40_00">http://www.ulpgc.es/index.php?osai=estudios&amp;ver=www00&amp;idplan=&amp;codig=105_4021_40_00</a>
ULe	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.unileon.es/estudiantes/estudiantes-grados/letra-de-estudios/grados-geomatica-y-topografia">http://www.unileon.es/estudiantes/estudiantes-grados/letra-de-estudios/grados-geomatica-y-topografia</a>
UPM	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.topografia.upm.es/ETSI/Topografia/Empleos/Titulo/Bolonia/Grado">http://www.topografia.upm.es/ETSI/Topografia/Empleos/Titulo/Bolonia/Grado</a>
UCV	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.ucv.es/academicaplanasesestudios/grados/topografia?med=est=52Fofacademica%2Fplanesweb/est=52Fofac">http://www.ucv.es/academicaplanasesestudios/grados/topografia?med=est=52Fofacademica%2Fplanesweb/est=52Fofac</a>
UPPV	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.ehu.es/200-contentes/pls/errada/plw/040.htm siguiente?n_sesion=&amp;n_cod_inform=CAS&amp;n_en_portal=5&amp;n_cod_centro=163&amp;n_cod_plan=GCEDMA10&amp;n_annoAcad=act&amp;n_pptatm=2&amp;n_menu=nea">http://www.ehu.es/200-contentes/pls/errada/plw/040.htm siguiente?n_sesion=&amp;n_cod_inform=CAS&amp;n_en_portal=5&amp;n_cod_centro=163&amp;n_cod_plan=GCEDMA10&amp;n_annoAcad=act&amp;n_pptatm=2&amp;n_menu=nea</a>
USal	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.usal.es/webusal/mode/4557">http://www.usal.es/webusal/mode/4557</a>
USC	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.usc.es/centros/ing/TitulacionDeGrado/memoria_titulo/geomatica.html">http://www.usc.es/centros/ing/TitulacionDeGrado/memoria_titulo/geomatica.html</a>
UPV	Ing. Geomática y Topografía	<a href="http://www.upv.es/titulaciones/GGT/indexc.html">http://www.upv.es/titulaciones/GGT/indexc.html</a>

Universidad	Denominación	Dirección web
UB	Ciencias Ambientales	<a href="http://www.ub.edu/bolonia/uevform/veh/trauffrao_ambientale/">http://www.ub.edu/bolonia/uevform/veh/trauffrao_ambientale/</a>
UAH	Ciencias Ambientales	<a href="http://www.uah.es/ambientales/estudios/grado.htm">http://www.uah.es/ambientales/estudios/grado.htm</a>
UPV/EHU	Ciencias Ambientales	<a href="http://www.ehu.es/200-contentes/pls/errada/plw/040.htm siguiente?n_sesion=&amp;n_cod_inform=CAS&amp;n_en_portal=5&amp;n_cod_centro=125&amp;n_cod_plan=GCAM0110&amp;n_annoAcad=act&amp;n_menu=info">http://www.ehu.es/200-contentes/pls/errada/plw/040.htm siguiente?n_sesion=&amp;n_cod_inform=CAS&amp;n_en_portal=5&amp;n_cod_centro=125&amp;n_cod_plan=GCAM0110&amp;n_annoAcad=act&amp;n_menu=info</a>
UGr	Ciencias Ambientales	<a href="http://grados.ugr.es/ambientales/">http://grados.ugr.es/ambientales/</a>

# *Una propuesta de competencias y capacidades para los estudios sobre tecnologías de la información geográfica (TIG)*

Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Aguilera Benavente, F., Rodríguez Espinosa, V.M., Barreira González, P y Salado García, M.J.

## **Resumen:**

El objetivo de este trabajo es plantear una lista de competencias a alcanzar por los estudiantes que realicen algún estudio universitario sobre SIG. Para ello, después de analizar las diversas propuestas que sobre el tema se han planteado (*University Consortium for Geographic Information Science-UCGIS, GeoTech Center, Libros Blancos* de nuevos estudios universitarios españoles, etc.), se hará una evaluación y discusión crítica de estos planteamientos para generar una propuesta propia de las competencias más importantes y necesarias a obtener en un título sobre SIG.

**Palabras clave:** TIG, competencias, SIG y niveles de enseñanza.

## **Abstract:**

The aim of this paper is to propose a list of competencies to be achieved by students undertaking a study on SIG. To do this, after analyzing the various proposals on the issue have been raised, such as University Consortium for Geographic Information Science (UCGIS), GeoTech Center, Spanish White Papers, etc., will be evaluated and critical discussion of these approaches to generate a own proposal of the most important skills necessary to get in an title to GIS.

**Keywords:** GIT, competencies, GIS and educational levels.

---

**Bosque Sendra, J.** (joaquin.bosque@uah.es); **Gómez Delgado, M.** (montserrat.gomez@uah.es); **Aguilera Benavente, F.** (f.aguilera@uah.es); **Rodríguez Espinosa, V.M.** (victor.rodriguez@uah.es); **Barreira González, P.** (pablobarreiragonzalez@hotmail.com) y **Salado García, M.J.** (mariaj.salado@uah.es). Unidad Docente de Geografía (Dpto. Geografía y Geología), Universidad de Alcalá.

## 1. INTRODUCCIÓN. EL CONCEPTO DE COMPETENCIA

Desde hace unos años las Universidades españolas y europeas están inmersas en un proceso de adaptación y modificación de sus planes de estudio y, más en general, de la forma de realizar la enseñanza; se trata del denominado *Proceso de Bolonia* para la construcción del Espacio Europeo de Enseñanza Superior-EEES.

En primera instancia el proceso significa equiparar los niveles de estudio universitario de todos los países europeos, estableciendo tres niveles: Grado, Máster y Doctorado. Los Grados, que pueden ser de tres o cuatro años, pretenden preparar a los graduados para una actividad profesional; los Másteres deben facilitar una formación avanzada en ciertos aspectos de cada materia y, por último, el Doctorado busca habilitar para la realización de investigaciones propias. Para lograr esa unificación, además, se define una unidad común con la que medir la carga de trabajo de cada estudio, el crédito ECTS (*European Credit Transfer System*), que representa entre 25 y 30 horas de aprendizaje y trabajo del alumno, valorando el tiempo invertido por el mismo, ya sea en las actividades presenciales con el profesor como en las tareas personales, para adquirir las competencias del programa de estudio.

Por otra parte, el *Proceso de Bolonia* ha supuesto, en especial en la Universidad española, alterar de manera importante la forma de impartir la enseñanza universitaria (de Martín, 2009), de manera resumida, pasando de un enfoque didáctico dominado por el paradigma psicológico conductivista y centrado en los contenidos, a otro encuadrado en el contexto constructivista y basado en las competencias. Ahora la redacción de cualquier plan de estudios universitario (de Grado o Máster, incluso de Doctorado) debe partir de la definición del conjunto de *competencias* que el estudiante debe alcanzar una vez finalizados sus estudios. El Marco Europeo de Cualificaciones Universitarias (<http://www.mecd.gob.es/mecu/que-es/marcos-cualificaciones.html>) y el Marco Español de Cualificaciones para la Enseñanza Superior-MECES, del que se hablará más adelante, son referentes obligados para el diseño de esos planes.

El cambio no ha sido fácil y no ha estado, ni está, exento de la resistencia u oposición por parte de muchos profesores y estudiantes universitarios, en especial, por las funciones de control, evaluación y acreditación atribuidos a la Agencia

Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA, <http://www.aneca.es/>); a lo largo de este tiempo ha sido habitual encontrar en la prensa escrita y/o en Internet menciones a este “malestar” (consultar, por ejemplo, <http://www.erllano.org/2009/06/20/600-profesores-de-derecho-se-oponen-al-plan-bolonia/> o <http://www.publico.es/espana/183279/la-revuelta-anti-bolonia-no-encuentra-reaccion>, así como la respuesta a las críticas a la “burocratización” que genera la ANECA que daba la antigua directora del organismo, [http://elpais.com/diario/2009/02/02/educacion/1233529203\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2009/02/02/educacion/1233529203_850215.html)).

Ha sido a este organismo al que se le ha encomendado la verificación de todos los nuevos planes de estudio de Grado y Máster puestos en marcha para sustituir a los antiguos estudios (licenciaturas, ingenierías, ingenierías técnicas, diplomaturas, etc.). Esta verificación, que solo cubre los aspectos formales del diseño del nuevo estudio, ha sido bastante penosa y compleja para muchas Universidades y muchas propuestas de título. Para su realización la ANECA ha publicado una serie de documentos, como el denominado *Protocolo de Verificación de los Títulos* (REACU, 2011) o la *Guía de Apoyo para la Elaboración de la Memoria* (ANECA, 2012), que para muchos resultan largos, complicados, excesivamente burocráticos y que han provocado la denominada “*fatiga universitaria con la reforma de los planes de estudio*” (ver el Informe de la Comisión de Expertos nombrada en 2012 por el ministro de Educación, disponible en <http://www.mecd.gob.es/prensa-mecd/actualidad/2013/02/20130215-comision-expertos.html>).

La impresión es que la actual reorganización de las enseñanzas universitarias en España no parece contar con un apoyo unánime entre el profesorado encargado de impartir esa docencia. De alguna forma, esto se refleja notablemente en la redacción de los nuevos planes de estudio. Aunque formalmente, tras el proceso de verificación controlado por la ANECA, se acomodan a las exigencias de un planteamiento centrado en las competencias, desde el punto de vista de la práctica real no dejan de ser, en muchas ocasiones, meras adaptaciones formales de una enseñanza más tradicional en la que los contenidos siguen siendo la guía esencial de la actividad docente.

De ser ciertas estas impresiones y consideraciones, cabría preguntarse cuáles pueden ser las causas de esta situación. Evidentemente pueden ser muchas y variadas, pero aquí nos centraremos exclusivamente en una de las posibles: la dificultad de la formulación de competencias de un título y, en nuestro caso parti-

cular, de los estudios universitarios relacionados con la enseñanza de los SIG. Se pretende hacer alguna aportación a mejorar la formulación y la realidad cotidiana de los estudios que se plantean el uso de estas tecnologías.

Pero llegado este punto, tal vez resulte conveniente definir qué se entiende por *competencia* en el contexto de la enseñanza universitaria. Es uno de los conceptos clave de todo el *Proceso de Bolonia* y en el que, como ya se ha mencionado, se basa el diseño y redacción de los actuales planes de estudio universitarios.

El diccionario de la Real Academia Española-RAE define competencia como la *"pericia, aptitud, idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto determinado"*. En este contexto concreto, por tanto, habría que entender competencias como pericias, aptitudes, idoneidad para hacer algo que los estudiantes de un título deben alcanzar al finalizar sus estudios; resulta interesante la discusión que sobre la definición del concepto realizan Torrez *et al.* (2011).

Como recoge Montero (2010), en 2003 el Proyecto *Tuning*, en el que se reunían las experiencias de los programas Sócrates-Erasmus y otros cursos piloto hacia la armonización educativa europea y hacia la implantación de la metodología del nuevo EEES, definió competencia como *"... combinación dinámica de atributos, en relación a conocimientos, habilidades, actitudes y responsabilidades, que describen los resultados del aprendizaje de un programa educativo o lo que los alumnos son capaces de demostrar al final del proceso educativo..."*. Perrenoud (2004) por su parte define competencia como la capacidad de movilizar varios recursos cognitivos para hacer frente a un tipo de situación. Una definición muy similar es la ofrecida en la Guía de Apoyo elaborada por la ANECA: *"... el conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes que se adquieren o desarrollan mediante experiencias formativas coordinadas, las cuales tienen el propósito de lograr conocimientos funcionales que den respuesta de modo eficiente a una tarea o problema de la vida cotidiana y profesional que requiera un proceso de enseñanza y aprendizaje..."*.

Más aún, sobre estas competencias la misma Guía indica que *"...son aprendidas y desarrolladas a partir de actividades que permiten integrar esas habilidades, actitudes y conocimientos (...) éstas deben ser evaluables..."*. De esta forma, una persona demuestra una competencia, es decir, es competente para hacer o pensar algo cuando es capaz de reorganizar lo aprendido y transferirlo a nuevas situaciones y contextos (Margalef, 2011).

La nueva organización de la enseñanza superior debe centrarse en estas competencias y, por tanto, lo primero siempre ha de ser formular las que el título en cuestión debe tener, “...*todas las acciones curriculares diseñadas en el plan de estudios habrán de estar dirigidas a que los estudiantes adquieran las competencias definidas y, por lo tanto, para cada módulo, materia, asignatura, curso, etc., tendrá que definirse lo que se espera que un estudiante sea capaz de demostrar tras su superación...*” (ANECA, 2012:20). Es decir, las asignaturas, sus contenidos, las actividades de aprendizaje previstas en ellas, etc., deben estar subordinadas a conseguir que los estudiantes alcancen las competencias previstas para el título.

Como vemos, lo que predomina en este nuevo enfoque es (1) definir las competencias que formarán parte de la titulación y (2) pensar el resto de las cuestiones (contenidos de las asignaturas, evaluaciones, actividades de los estudiantes) como medios para alcanzar las competencias previamente definidas.

En la mencionada *Guía* se incluye un anexo (Anexo V. Orientaciones para la definición de competencias) que aclara bastante cómo definir y elaborar una competencia. Según se indica en este documento, para su definición, una competencia ha de recoger dos elementos: (1) un verbo activo (definir, describir, identificar, interpretar, relacionar, discutir, aplicar, demostrar, solucionar, diferenciar, analizar, etc.), que “... *debe identificar una acción que genere un resultado observable, lo que permite la identificación de posibles actividades de aprendizaje y de pruebas de evaluación ajustadas a éste...*”; (2) descripción del objeto de la acción y el contexto en el que se aplica, “... *la competencia debe hacer referencia al campo disciplinario en el que se fundamenta. Ejemplo: traducir e interpretar textos latinos; (...)*”.

En la tabla 1 se presenta el listado de los verbos activos (de menor a mayor requerimiento intelectual), en función de sus objetivos, recomendados en la mencionada *Guía*.

Tabla 1. Competencias y Verbos activos

Verbo activo	Significado	Infinitivos posibles	
<b>CONOCER</b>	... recordar información previamente aprendida (ideas, hechos, fechas, nombres, símbolos, definiciones, etc.)	Escribir Describir Numerar Identificar Etiquetar Leer ...	Reproducir Seleccionar Nombrar Decir Definir ...
<b>COMPRENDER</b>	... entender (apropiarse, aferrar) lo que se ha aprendido. Se demuestra cuando se presenta información de otra manera, se transforma, se buscan relaciones, se asocia a otro hecho, se interpreta o se saben decir las posibles causas y consecuencias.	Clasificar Citar Convertir Describir Discutir Estimar ...	Explicar Dar ejemplos Exponer Resumir Ilustrar Parafrasear ...
<b>APLICAR</b>	... el alumno selecciona, transfiere y utiliza datos y leyes para completar un problema o tarea. Esto puede conllevar un mínimo de supervisión... el estudiante utiliza lo que ha aprendido. Utiliza información que ha recibido en situaciones nuevas y concretas para resolver problemas...	Usar Recoger Calcular Construir Controlar Determinar Establecer Incluir Producir Proyectar Proporcionar Relacionar ...	Solucionar Transferir Aplicar Resolver Utilizar Demostrar Informar Aplicar Relatar Contribuir Administrar ...
<b>ANALIZAR</b>	... el estudiante distingue, clasifica y relaciona evidencias o estructuras de un hecho o de una pregunta, se hace preguntas. Descompone el todo en sus partes y puede solucionar problemas a partir del conocimiento adquirido: razona. Intenta entender la estructura de la organización del material informativo, examinando las partes de las que se compone. La información que obtiene le sirve para desarrollar conclusiones divergentes. Identifica motivos y causas haciendo inferencias y/o halla evidencias que corroboran sus generalizaciones.	Analizar Discriminar Categorizar Distinguir Comparar Ilustrar Contrastar ...	Precisar Separar Limitar Priorizar Subdividir Construir Diagramas ...
<b>SINTETIZAR</b>	... El alumno crea, integra, combina ideas, planea, propone nuevas maneras de hacer. Crea aplicando el conocimiento y las habilidades anteriores para producir algo nuevo u original. Se adapta, es capaz de hacer previsiones, se anticipa, categoriza, colabora, se comunica, compara...	Crear Adaptar Anticipar Planear Categorizar Elaborar hipótesis Inventar Combinar Desarrollar Comparar Comunicar Compilar Componer Contrastar Expresar ...	Formular Integrar Codificar Reconstruir Reorganizar Revisar Estructurar Sustituir Validar Facilitar Generar Incorporar Iniciar Reforzar ...
<b>EVALUAR</b>	... emitir juicios sobre la base de criterios preestablecidos... emitir juicios respondiendo a unos objetivos determinados y basándose, en la medida de lo posible, en evidencias que avalen el resultado obtenido.	Valorar Comparar Contrastar Concluir Crítico Decidir ...	Definir Interpretar Juzgar Justificar Ayudar ...

Fuente: ANECA (2012)

Una vez aclarado este concepto esencial y ahora en relación a los estudios de SIG, en los que se centra este trabajo, cabría plantear las siguientes cuestiones: ¿existe una formulación de esas competencias para esos estudios?; ¿es esa formulación más o menos aceptada como válida y adecuada por una parte sustancial de expertos, profesores, investigadores y/o usuarios de estas técnicas?. El objetivo de este trabajo es revisar esta situación y llegar, si es posible, a formular una lista tentativa de competencias en SIG que pueda cumplir esa exigencia de universalidad y de reconocimiento amplio por parte de los interesados en el tema.

## 2. REVISIÓN DE LA LISTA DE COMPETENCIAS Y CAPACIDADES A ALCANZAR POR LOS ESTUDIANTES TIG FORMULADAS EN DIVERSOS ORGANISMOS

Se ha realizado una búsqueda en Internet de información sobre las competencias a adquirir por los estudiantes de las TIG en diversos organismos españoles, europeos, e incluso de otros continentes, presentándose a continuación algunos de los resultados más significativos que se han obtenido.

### 2.1. Marco Español de Cualificaciones para la Enseñanza Superior

En primer lugar es necesario hacer referencia a los planteamientos contenidos en el denominado Marco Español de Cualificaciones para la Enseñanza Superior-MECES, definido por el Ministerio de Educación de España a través del Real Decreto 1027/2011 de 15 de julio ([www.boe.es/boe/dias/2011/08/03/pdfs/BOE-A-2011-13317.pdf](http://www.boe.es/boe/dias/2011/08/03/pdfs/BOE-A-2011-13317.pdf)).

MECES ([http://www.meces\\_encuentros.unican.es/](http://www.meces_encuentros.unican.es/)) contiene una descripción de las competencias básicas que los títulos universitarios oficiales españoles deben proporcionar a sus graduados, estableciendo unas cuestiones mínimas que los estudiantes deberían alcanzar en cada nivel de enseñanza. Parece interesante revisar esas competencias y ver cómo se relacionan con la temática TIG en los diferentes niveles universitarios en España.

El MECES diferencia cuatro niveles de títulos en nuestro país (Técnico superior, Grado, Máster y Doctorado), para cada uno de los cuales concreta un conjunto de competencias o cualificaciones a obtener. A modo de ejemplo, para el nivel de Máster *“...se incluyen aquellas cualificaciones que tienen como finalidad la adquisición por el estudiante de una formación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, orientada a la especialización académica o profesional, o bien a promover la iniciación en tareas investigadoras...”*.

Otra manera, también interesante, de analizar las competencias establecidas en el MECES puede ser a través de su jerarquía en los cuatro niveles de enseñanza. Esta jerarquía es evidente, por ejemplo y como se reproduce a continuación (tabla 2), cuando se atiende a la competencia relativa al grado general de conocimientos a alcanzar en cada nivel:

Tabla 2. Conocimientos según nivel de enseñanza

Nivel	Competencia...
<b>TÉCNICO SUPERIOR</b>	(a) haber demostrado poseer conocimientos especializados en un área profesional o de estudio, con comprensión crítica para la integración y transferencia de saberes, así como para el desarrollo de la creatividad, la iniciativa personal y el espíritu emprendedor
<b>GRADO</b>	(a) haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado una comprensión de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en su campo de estudio con una profundidad que llegue hasta la vanguardia del conocimiento
<b>MÁSTER</b>	(a) haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio
<b>DOCTORADO</b>	(a) haber adquirido conocimientos avanzados en la frontera del conocimiento y demostrado, en el contexto de la investigación científica reconocida internacionalmente, una comprensión profunda, detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología científica en uno o más ámbitos investigadores

Fuente: MECES (2011)

También es evidente esta jerarquía si, por ejemplo, se analiza la competencia referida a los datos (información) y su utilización en cada uno de los niveles de enseñanza (tabla 3):

Tabla 3. Competencia sobre “datos” según nivel de enseñanza

Nivel	Competencia...
<b>TÉCNICO SUPERIOR</b>	(c) poseer la capacidad de analizar la información necesaria para evaluar y dar respuesta a situaciones previstas y no previstas, mediante la búsqueda de soluciones fundamentadas, creativas e innovadoras dentro de un campo de estudio o profesional
<b>GRADO</b>	(c) tener la capacidad de recopilar e interpretar datos e informaciones sobre las que fundamentar sus conclusiones incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, la reflexión sobre asuntos de índole social, científica o ética en el ámbito de su campo de estudio
<b>MÁSTER</b>	(c) saber evaluar y seleccionar la teoría científica adecuada y la metodología precisa de sus campos de estudio para formular juicios a partir de información incompleta o limitada incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, una reflexión sobre la responsabilidad social o ética ligada a la solución que se proponga en cada caso
<b>DOCTORADO</b>	(c) haber demostrado que son capaces de diseñar un proyecto de investigación con el que llevar a cabo un análisis crítico y una evaluación de situaciones imprecisas donde aplicar sus contribuciones y sus conocimientos y metodología de trabajo para realizar una síntesis de ideas nuevas y complejas que produzcan un conocimiento más profundo del contexto investigador en el que se trabaje

Fuente: MECES (2011)

Una cuestión práctica que parece relevante en esta jerarquía de competencias es si el conocimiento de los diferentes campos TIG (a) debería ir de mayor número de ellos (en un nivel educativo inferior: Técnico superior o Grado) a menor cantidad de ellos (en los niveles de Máster o de Doctorado), quizá conociendo siempre algo de los tres campos TIG más difundidos (Cartografía, SIG y Teledetección), o (b) si habitualmente se estudia uno solo o unos pocos de estos campos y se va

profundizando más en el mismo. Esto puede ser bastante relevante para la formulación de los planes de estudio, teniendo en cuenta que las TIG son muy variadas, y cada vez más lo son más (en este sentido, consultar el planteamiento que se recoge en Bosque et al. (2013) sobre lo que incluyen las siglas TIG).

Seguramente la solución más adecuada sería estudiar al principio varios campos de TIG (en particular los tres básicos arriba mencionados) y, al ir avanzando en el nivel de enseñanza, restringirlo a uno solo.

## 2.2. *Geospatial Technology Competency Model (GeoTech Center, EE.UU.)*

El *GeoTech Center* de EE.UU. (<http://www.geotechcenter.org/>) es un organismo entre cuyos objetivos se encuentra “... *to provide professional development, teaching and curriculum resources, career pathways and model core competencies for geospatial technicians and technologists...*”. Aquí la jerarquía de competencias también se recoge con claridad, aunque con evidentes diferencias respecto a lo ya comentado.

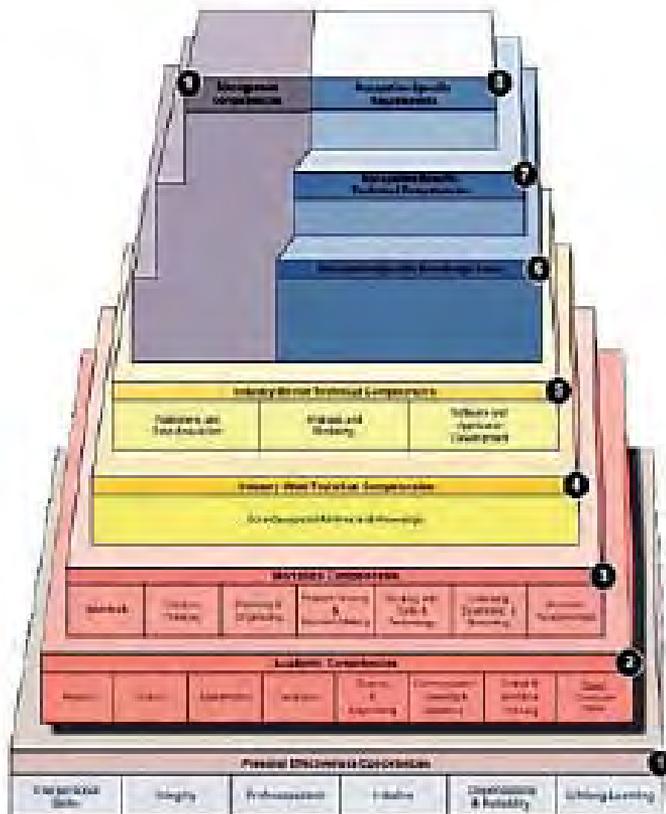
Para la formulación de lo que denomina competencias-núcleo, este centro ha elaborado una pirámide (figura 1) que guía la definición de competencias en cada persona, desde las más fundamentales a las más especializadas, sin que esta jerarquía coincida exactamente con los niveles educativos mencionados u otros similares. Dejando a un lado las competencias comentadas en la parte inferior de esta pirámide, que son las que se pueden obtener en los niveles elementales de enseñanza (Primaria o Secundaria) o aquéllas que se tienen que ir perfeccionado personalmente a lo largo de toda la vida, lo más interesante para nuestra problemática es lo planteado en el cuarto y quinto nivel. El cuarto se centra en competencias más específicas de cada campo del saber (en este caso, de las TIG), también denominadas “habilidades y conocimientos nucleares geoespaciales”; son competencias generales de la rama de la industria, de la actividad que tiene que ver con el estudio del territorio. Por encima, en el quinto nivel, se sitúan las competencias técnicas específicas de cada sector de la industria geoespacial (en nuestra denominación, las TIG); en concreto en el *GeoTech Center* diferencia tres sectores, tres especialidades TIG: (1) posicionamiento y adquisición de datos, (2) análisis y modelado y (3) desarrollo de *software* y aplicaciones (ETA, 2010).

Por encima de estos niveles aún se plantean algunos más, conectados con

la gestión y otro tipo de cuestiones que no se analizan en este trabajo.

Este planteamiento del *GeoTech Center* resulta de enorme interés, sobre todo porque se aborda desde la perspectiva de las necesidades de la industria TIG hacia la que, en teoría, dirigirán sus pasos profesionales los graduados de los diversos niveles de la enseñanza, y que demandará determinados conjuntos de competencias en los profesionales. Aportación también interesante en el mismo es la diferenciación clara de los tres perfiles profesionales más usuales, al menos en EE.UU., en la industria TIG: (1) generador de datos, (2) analista de datos y (3) programador (ETA, 2010). Considerar estos perfiles profesionales en los planes de estudio sobre TIG, también en la formulación de sus competencias, parece muy recomendable.

Figura 1. Modelo de competencias para Tecnologías Geoespaciales



Fuente: ETA (2010)

No obstante, aquí tampoco se discute una cuestión, comentada anteriormente, y que, en nuestra opinión, resulta fundamental: la diferenciación entre competencias a adquirir en los diferentes niveles educativos. Sí se detallan temas o competencias generales de la industria geoespacial, la relacionada con las TIG (hasta un total de 34) y para cada uno de los perfiles profesionales mencionados se indican las competencias más relevantes a alcanzar (ETA, 2010). A modo de ejemplo, se presentan en la tabla 4 las correspondientes al perfil de analista de datos:

Tabla 4. Competencias para Analista de datos

<b>Analysis and Modeling</b>	
This sector encompasses the professional end-users of geospatial data and software, many of whom are employed in geospatial occupations within allied industries (such as those identified in the Technical Content Areas section below, under Organizational and Institutional Aspects). Successful practitioners in this sector know when and how to employ analytical functions of geospatial software tools to render valid and reliable information from geospatial data. Many are fluent with both data-driven “exploratory” analyses as well as model-driven analyses for hypothesis testing and prediction. Some analysts specialize in designing and implementing geospatial databases that enable efficient analyses. Others specialize in processing remotely-sensed image data. Still others are licensed by state governments to perform legal analyses of land records.	
<b>Critical Work Functions</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Perform a site suitability analysis using intersection and overlay functions of GIS software</li> <li>☒ Use GIS software to identify an optimal route that accounts for visibility, slope, and specified land uses</li> <li>☒ Perform dynamic segmentation on transportation network data encoded in a linear reference system</li> <li>☒ Explain how leading online routing systems work, and account for common geocoding errors</li> <li>☒ Use location-allocation software functions to locate service facilities that satisfy given constraints</li> <li>☒ Develop conceptual, logical, and physical models of a geospatial database designed in response to user requirements</li> <li>☒ Compare characteristics and appropriate uses of geospatial modeling techniques, such as neural networks, cellular automata, heuristics, agent-based models, and simulation models such as Monte Carlo simulation</li> <li>☒ Assess the current state of the art in coupling predictive models and simulations with GIS software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Employ cartographic techniques to represent different kinds of uncertainty, including uncertain boundary locations, transitional boundaries, and ambiguity of attributes</li> <li>☒ Establish, re-establish and/or monument property boundaries; represent such boundaries in plats, records, and descriptions, all under personal and professional liability as stipulated in legal statute and precedent</li> <li>☒ Define the sampling theorem in relation to the concept of spatial resolution of remotely-sensed imagery</li> <li>☒ Determine appropriate image data and image analysis techniques needed to fulfill project requirements</li> <li>☒ Outline workflows that identify sequence of procedures involved in geometric correction, radiometric correction, and mosaicking of remotely sensed data</li> <li>☒ Explain how to quantify the thematic accuracy of a land use/land cover map derived from remotely-sensed imagery</li> <li>☒ Evaluate the thematic accuracy of a data product derived from aerial image interpretation, such as a soils map, using ground verification methods</li> <li>☒ Explain the difference between pixel-based and object-based image classification</li> <li>☒ Perform object-oriented image classification using specialized software tools</li> </ul>

Fuente: ETA (2010)

Otra fuente de interés mencionado en esta referencia es la documentación elaborada por el *University Consortium for Geographic Information Science- UC-GIS*. Este consorcio universitario estadounidense ha desarrollado un modelo detallado del “currícula” de la *GeoScience*, nueva disciplina íntimamente ligada con las

TIG (UCGIS, 2010). En este documento el denominado *GIS & T Body of Knowledge* se pueden encontrar contenidos de temas y lecciones que permitirían obtener las competencias planteadas anteriormente.

### 2.3. Libros Blancos de nuevos planes de estudio universitarios (España)

Estos documentos son el resultado de un largo y exhaustivo proceso que se emprendió en España hace algunos años ante la necesidad de preparar y adaptar los nuevos planes de estudio universitarios al EEES. La comunidad universitaria participó activamente en los trabajos, debates y reflexiones para la elaboración de los diferentes *Libros Blancos* (uno para cada titulación); el objetivo era presentar modelos finales y consensuados (también evaluados positivamente por una comisión de la ANECA) que recogiesen los aspectos fundamentales a considerar en el diseño de los planes de estudio de cada titulación a poner en marcha: características de la titulación, perfiles profesionales, competencias, etc.

Estos libros son otra fuente de información de gran interés a la que también se ha recurrido en esta investigación. Revisando estos materiales, como ya se ha mencionado, es posible encontrar también listados de competencias. Por ejemplo, en el Libro Blanco del Grado en Geomática y Topografía (ANECA, 2005), una de las titulaciones en las que la presencia de las TIG es más notoria, se apuntan muchas y muy diversas, entre ellas: *Adquisición y/o procesamiento de datos Cartográficos y su automatización; Adquisición y/o procesamiento de datos topográficos y su automatización; Integración datos en Sistemas de Información Geográfica; Validación de modelos cartográficos*, etc. Este documento recoge varias decenas de competencias diferentes y referidas a cuestiones muy diversas, incluso casi variopintas. Es posible considerar que se trata de un extenso (quizá excesivo) catálogo de competencias, difíciles de alcanzar todas ellas en el transcurso de los cuatro años de estudio de un Grado de Geomática y Topografía. Algunas de las mencionadas en ese Libro Blanco han sido incluidas finalmente en los estudios de este Grado, entre ellas: (1) *“Conocimiento, aplicación y análisis de los procesos de tratamiento de imágenes digitales e información espacial, procedentes de sensores aerotransportados y satélites”* o (2) *“Diseño, producción y difusión de la cartografía básica y temática”*; *“Implementación, gestión y explotación de SIG”* (Bosque et al., 2013).

Otros Grados españoles en los que también se abordan las TIG, por ejemplo los de Geografía y Ordenación del Territorio, incluyen igualmente competencias

en esta misma línea: *“utilizar la información geográfica como instrumento para la interpretación del territorio”*; *“expresar información cartográficamente”*; *“conocer las capacidades de los SIG en la gestión y planificación de proyectos”*; *“elaborar cartografías temáticas e inventarios del medio físico para la evaluación, planificación y ordenación del territorio”*; *“conocer la naturaleza de la información geográfica en formato digital: geometría, topología y atributos temáticos”* (Bosque et al., 2013).- Y lo mismo se puede decir de los Grados TIG impartidos en algunas Universidades europeas: (1) *“... combine and interpret different types of geographical evidence...”*; (2) *“... apply a range of techniques for the analysis of geographical data and interpret the outcomes...”*; (3) *“... effectively present geographical information...”*; (4) *“... perform applications programming appropriate to GIS...”* (Bosque et al., 2013).

Finalmente, en estudios de Máster TIG españoles se mencionan competencias que, de igual forma, pueden resultar interesantes: *“... ser capaz de realizar operaciones de captura, almacenamiento, gestión, análisis y presentación de la información geográfica en el entorno de los SIG...”*; *“... ser capaz de comprender, manejar, interpretar y analizar imágenes de satélite y fotografías aéreas...”*; *“... ser capaz de pensar (concebir), elaborar, utilizar e interpretar mapas sencillos...”* (Bosque et al., 2013).

El análisis de todos estos planteamientos señala nuevamente algo que ya se ha vislumbrado, la dificultad de diferenciar las competencias en los distintos niveles educativos, las formulaciones para Grados no difieren sensiblemente de las que se pueden encontrar en un estudio de Máster. Otro problema es que, en muchas ocasiones, la lista de competencias es tan extensa que es difícil que, especialmente en algunos Grados, donde las asignaturas de TIG son pocas y de reducido número de créditos, se puedan obtener, por la mayoría de los estudiantes, todas esas competencias.

### **3. PROPUESTA Y DISCUSIÓN DE COMPETENCIAS A INCLUIR EN LOS ESTUDIOS DE UN ANALISTA DE DATOS SIG.**

Partiendo de los materiales recopilados más arriba y de la propia experiencia docente sobre el tema, se puede plantear unas propuestas de competencias sobre los temas relacionados con los SIG; no ha sido posible analizar con el mismo nivel de detalle otras TIG y, por ello, no se tratan en este apartado, no obstante un mínimo de referencias se han incluido al conjunto de las TIG en lo que sigue.

De los tres posibles itinerarios profesionales de un conocedor de los SIG (generador de datos geográficos, analista de datos territoriales y elaborador de aplicaciones informáticas SIG), lo que sigue se centra, exclusivamente, en las posibles competencias del perfil “analista de datos territoriales”. En este sentido también se pueden enumerar varias posibilidades para una propuesta de competencias:

a) Adaptación de los planteamientos del MECES para un Máster sobre TIG:

Aunque la formulación de competencias que realiza el MECES resulta un tanto complicada de entender y, en ocasiones, algo ambigua, es posible extraer de este documento alguna información útil para abordar el objetivo marcado en esta comunicación. Así, por ejemplo, como se recoge en la tabla 5, en una primera aproximación se podría realizar un ejercicio de concreción y adaptación de algunas de esas competencias a estudios relacionados con TIG:

Tabla 5. Competencias en TIG (adaptadas a MECES)

Nivel	Competencia...
TÉCNICO SUPERIOR	(a) haber demostrado poseer conocimientos especializados en un área profesional o de estudio (de las TIG, pero ¿de todas ellas?, o más bien, ¿de una de las siguientes?: Cartografía, Teledetección, SIG, Fotogrametría, GPS), con comprensión crítica para la integración y transferencia de saberes, así como para el desarrollo de la creatividad, la iniciativa personal y el espíritu emprendedor
GRADO	(a) haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado una comprensión de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en su campo de estudio (en el de las TIG, pero ¿en todas ellas?) con una profundidad que llegue hasta la vanguardia del conocimiento
MÁSTER	(a) haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio (de las TIG, igualmente, ¿en todas ellas o en algunas?)
DOCTORADO	(a) haber adquirido conocimientos avanzados en la frontera del conocimiento y demostrado, en el contexto de la investigación científica reconocida internacionalmente, una comprensión profunda, detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología científica en uno o más ámbitos investigadores (¿en uno solo de los campos TIG?)

Fuente: Elaboración propia

b) Propuesta propia sobre la organización de competencias sobre SIG:

Una síntesis de las principales competencias, que sería necesario alcanzar para obtener una formación relevante sobre esta temática, podría ser la que se recoge en la tabla 6, en la que se diferencian dos niveles de detalle en la formulación y han sido redactadas utilizando los términos mencionados anteriormente. Además se incluye en ella el nivel de estudios en que se podrían o se deberían obtener (Grado, Máster y Doctorado).

Tabla 6. Propuesta de competencias específicas para analista de datos SIG

		Nivel		
		G	M	D
<b>I</b>	<b>Conocer/Comprender la definición, componentes y funciones básicas de un SIG</b>			
	I.1 Definir los Sistemas de Información Geográfica-SIG	☒	☒	☒
	I.2 Identificar los componentes de un SIG	☒	☒	☒
	I.3 Describir las funciones típicas de un SIG	☒	☒	☒
	I.4 Conocer los principios básicos del análisis y el razonamiento espacial de manera que puedan ser aplicados en la resolución de problemas nuevos o poco conocidos.	☒	☒	☒
	I.5 Conocer los principales algoritmos geométricos y matemáticos utilizados por los SIG		☒	☒
<b>II</b>	<b>Conocer/Comprender las características de los datos geográficos y sus fuentes</b>			
	II.1 Enumerar los componentes de un hecho geográfico	☒	☒	☒
	II.2 Identificar los elementos que forman la componente espacial de un hecho geográfico	☒	☒	☒
	II.3 Comprender los tipos de variables que miden los aspectos temáticos de un hecho geográfico	☒	☒	☒
	II.4 Seleccionar el tipo adecuado de representación cartográfica de un fenómeno en función de la escala.	☒	☒	☒
	II.5 Identificar la escala de medida del aspecto temático en un dato geográfico	☒	☒	☒
	II.6 Diferenciar objetos geográficos por la escala espacial de su representación en un mapa	☒	☒	☒
	II.7 Comprender la utilidad de las diversas fuentes de información geográfica disponibles	☒	☒	☒
<b>III</b>	<b>Conocer/Comprender los modelos de datos usados para representar la información en un SIG</b>			
	III.1 Enumerar los componentes de los modelos para la representación digital de los hechos geográficos	☒	☒	☒
	III.2 Enumerar las formas de representar la posición geográfica	☒	☒	☒
	III.3 Comprender las diversas formas de cada modelo de datos		☒	☒
	III.4 Conocer y evaluar los distintos componentes de la calidad de los datos geográficos, así como fuentes y márgenes de error asumibles	☒	☒	☒
	III.5 Conocer fuentes de datos geográficos de tipo ráster y vectorial.	☒	☒	☒
	III.6 Conocer la importancia y utilidad de los metadatos en la generación y manejo de información geográfica		☒	☒
	III.7 Conocer los aspectos básicos de diseño conceptual y lógico de las bases de datos espaciales propias de un SIG.	☒	☒	☒
<b>IV</b>	<b>Conocer/Comprender los problemas geográficos que pueden ser estudiados con SIG</b>			
	IV.1 Describir los grandes campos de aplicación de los SIG	☒	☒	☒
	IV.2 Enumerar, sucintamente, los problemas territoriales concretos donde se aplican los SIG	☒	☒	☒
	IV.3 Discriminar la naturaleza, características y subdivisiones de un problema territorial complejo como paso previo a su resolución en un SIG, y definir los datos necesarios para su resolución	☒	☒	☒
	IV.4 Relacionar cada problema territorial con alguna(s) función(es) SIG que resulten de aplicación en ellos	☒	☒	☒
	IV.5 Contrastar diferentes planteamientos y soluciones ante un mismo problema territorial		☒	☒
<b>V</b>	<b>Aplicar las funciones de entrada de datos de un SIG</b>			
	V.1 Utilizar herramientas de importación/exportación/transformación de información geográfica en diferentes programas	☒	☒	☒
	V.2 Emplear herramientas topológicas para garantizar la coherencia espacial de las bases de datos geográficas		☒	☒
	V.3 Ser capaz de crear, usar y gestionar bases de datos espaciales, valorando su importancia para el desarrollo de un proyecto SIG.		☒	☒
	V.4 Creación de la representación digital de una red de transporte.			
	V.5 Seleccionar y aplicar el método de interpolación más adecuado para la generación de un Modelo digital del Terreno (MDT)			
<b>VI</b>	<b>Aplicar las funciones de análisis de un SIG para solucionar problemas geográficos de distinta naturaleza</b>			
	VI.1 Seleccionar y aplicar procedimientos de búsqueda selectiva para encontrar soluciones a problemas geográficos.	☒	☒	☒
	VI.2 Seleccionar y aplicar métodos de superposición y combinación de datos geográficos incluidos en un SIG para tratar y para resolver cuestiones territoriales complejas	☒	☒	☒
	VI.3 Aplicar las herramientas básicas de análisis de redes en conjunción, si es preciso, con los instrumentos de modelado espacial para la resolución de un problema territorial dado.	☒	☒	☒

	VI.4	Aplicar las herramientas básicas de análisis de un MDT.	☑	☒	☑
	VI.5	Seleccionar y aplicar distintos tipos de operaciones de análisis espacial, tanto en modelo vectorial como ráster.		☒	☑
	VI.6	Valorar las implicaciones sociales del uso de estas herramientas de análisis en la toma de decisiones ambientales y territoriales.		☒	☑
	VI.7	Aplicar las nuevas metodologías desarrolladas para obtener resultados que solucionen problemas geográficos no resueltos		☑	☒
<b>VII</b>	<b>Aplicar las funciones de presentación de resultados disponibles en un SIG</b>				
	VII.1	Comunicar en el formato más adecuado (cartográfico, gráfico, alfanumérico) los resultados obtenidos tras el análisis.	☑	☒	☑
	VII.2	Emplear el diseño gráfico para elaborar la presentación cartográfica y gráfica de los datos geográficos.	☑	☒	☑
	VII.3	Presentar efectivamente los resultados de los análisis SIG.	☑	☒	☑
	VII.4	Capacidad de concebir y elaborar mapas temáticos	☒	☑	☑
<b>VIII</b>	<b>Sintetizar / integrar conocimientos sobre los SIG para avanzar soluciones a problemas territoriales aún no resueltos</b>				
	VIII.1.	Integrar conocimientos previos sobre los SIG para identificar problemas territoriales aún no resueltos que resulten relevantes para un amplio grupo de usuarios		☑	☒
	VIII.2.	Sintetizar la literatura sobre SIG y cuestiones afines para identificar conceptos y métodos cercanos y relevantes respecto a los problemas territoriales no resueltos.		☑	☒
	VIII.3.	Formular hipótesis a comprobar y desarrollar, crear o adaptar procedimientos analíticos de tipo SIG que tengan relación con problemas no resueltos.		☑	☒
	VIII.4.	Sintetizar ideas y conocimientos que permitan desarrollar una nueva metodología de análisis para tratar los datos y hechos geográficos relacionados con los problemas territoriales no resueltos		☑	☒
<b>IX</b>	<b>Evaluar / comunicar las soluciones a los problemas geográficos que se han generado con un SIG para valorar su utilidad y su validez.</b>				
	IX.1	Valorar los diferentes procedimientos de entrada de datos en un SIG para seleccionar el más adecuado	☑	☒	☑
	IX.2	Evaluar las ventajas y debilidades de cada modelo de datos para la representación digital de los hechos geográficos	☑	☒	☑
	IX.3	Valorar la adecuación de los diversos métodos de análisis al tratamiento de distintos problemas geográficos		☒	☑
	IX.4	Evaluar de manera crítica la calidad de la información geográfica y su repercusión en los resultados obtenidos en un proyecto SIG.		☑	☒
	IX.5	Evaluar la calidad de los resultados cartográficos obtenidos en función de su adecuación a los objetivos de comunicación perseguidos		☑	☒
	IX.6	Valorar la utilidad de los resultados obtenidos con los procedimientos de análisis y su relación con los problemas a resolver.		☑	☒
	IX.7	Contrastar los resultados obtenidos con las nuevas metodologías desarrolladas con hipótesis e ideas planteadas anteriormente.		☑	☒
	IX.8	Discutir y obtener conclusiones sobre la adecuación de los resultados obtenidos con las metodologías desarrolladas con las ideas planteadas como hipótesis.		☑	☒

Nivel: G= Grado; M= Máster; D= Doctorado  
☑ Conseguido de forma inicial (fundamentos)  
☒ Conseguido parcialmente (profundización)  
☑ Plenamente conseguido  
☒ Se asume ya conseguido en niveles inferiores

Fuente: Elaboración propia

### c) Competencias para distintos tipos de asignaturas relacionadas con los SIG:

Un tema que ha quedado planteado en el texto precedente se refería a cómo se podrían asignar esta serie de competencias a los diversos niveles de es-

tudio que, por ejemplo, se establecen en el *Plan Bolonia* del EEES. En gran medida, la respuesta a esta cuestión depende de cuál sea la duración y de cómo sea el enfoque de los estudios de cada nivel. Como indican Bosque *et al.* (2013), en España los estudios de Grado que tienen que ver con las TIG, y con los SIG en particular, son de varios tipos; los de Geomática y Topografía, dedican un número importante de asignaturas (y por lo tanto de tiempo) a estos temas, mientras que, por el contrario, en los Grados de Geografía o de Ciencias Ambientales el tiempo otorgado es mucho menor. Es evidente que no puede ser igual en ambos casos la distribución de las competencias.

En concreto, en la tabla anterior se plantea una posible solución de reparto de competencias para los tres niveles de estudio universitarios (Grado, Máster, Doctorado), basado en el planteamiento docente y de cursos que se hace en el Departamento de Geografía y Geología de la UAH: Grado de Ciencias Ambientales (con alguna materia dedicada a las TIG), Máster y Doctorado de TIG. En general se puede considerar que en toda esta actividad docente, en el caso concreto de los SIG, se plantea la formación de un analista de datos SIG. En este caso, una posible organización de la docencia sobre SIG podría ser la tabla 7:

Tabla 7. Asignaturas relacionadas con los SIG en la UAH, según nivel de estudios

Nivel	Asignatura	Tipo
Grado	<i>Fundamentos de SIG</i>	BÁSICA
Máster	<i>Entrada de datos</i> <i>Técnicas de análisis territorial</i>	BÁSICAS
Doctorado	Formación para la investigación en la aplicación novedosa de SIG y para la actualización y mejora de estos medios instrumentales	

Fuente: Elaboración propia

De este modo, el tema del reparto de las competencias quedaría como se describe a continuación:

**c.1.)** Un estudiante que haya cursado un asignatura de *Fundamentos de SIG* (nivel de Grado) debería obtener las competencias de menor exigencia intelectual relacionadas con **conocer/comprender** los temas básicos de SIG, y algunas otras, bastante menos de **aplicar** y de **evaluar**. De esta forma, en el Grado los alumnos se enfrentan a la temática, por lo general poco conocida previamente, de los SIG y ven sus definiciones, estudian los datos a los que

se aplican y cómo se representan dichos datos; también obtienen ideas de los problemas territoriales que podrían ser tratados con estas herramientas y, por otra parte, adquieren capacidades, muy básicas, para aplicar estas herramientas y formular evaluaciones sobre algunos aspectos de su uso.

**c.2.)** Competencias para una asignatura/estudio *Entrada, modelización y análisis de datos* (nivel de Máster): un estudiante que haya cursado una asignatura similar (bajo esta denominación u otras posibles, como *Representación y entrada de datos geográficos en un SIG, Entrada y modelado de información geográfica, Modelado, entrada y gestión de la información geográfica*, entre otras) debería alcanzar las competencias relacionadas con la definición de los modelos de datos y de aplicación de los procedimientos de entrada de datos. Por supuesto, se entiende que las competencias obtenidas en la asignatura anterior de Fundamentos de SIG están incluidas por defecto en esta nueva materia (o que, como ya son conocidas, el plan de estudio de la asignatura las puede dar por obtenidas). Evidentemente los estudiantes de esta asignatura de *Entrada de datos* serían capaces, no solo de conocer los datos geográficos y sus peculiaridades y las maneras en que los SIG representan digitalmente dichos datos (competencias ya obtenidas previamente pero que resulta imprescindible tener claras), sino que también deberían ser capaces de crear bases de datos geográficas, de introducir datos en ellas y de valorar su calidad y las posibilidades de utilizarlos en la solución de problemas territoriales.

**c.3.)** Competencias para una asignatura relacionada con técnicas de análisis espacial en entorno SIG situada en un nivel de Máster: al finalizar el estudio el estudiante debería haber adquirido una serie de competencias que le habiliten para poder realizar análisis de diversos tipos, unos más básicos y otros más complejos y avanzados, sobre los datos geográficos. En concreto deberían obtenerse las competencias relacionadas con el análisis de datos. Se ha de considerar que todas las planteadas en las anteriores asignaturas están siendo utilizadas en ésta otra, más avanzada.

**c.4.)** Finalmente, en un doctorado sobre TIG las competencias que deberían obtener los estudiantes en relación a los SIG deberían ser las que permitan realizar una investigación propia, que aporte nuevas soluciones a algún tipo de problema territorial o al desarrollo de nuevas

herramientas o de nuevas metodologías SIG. Se incluirían aquí, especialmente, las relacionadas con la síntesis/integración de conocimientos SIG y las de evaluación de cuestiones conectadas con los SIG.

Evidentemente, en un título sobre temas SIG, junto a estas materias y competencias básicas y fundamentales, en cada centro se añaden, o se pueden añadir, asignaturas y competencias que analicen en detalle aplicaciones concretas de los SIG a problemas territoriales. Por ejemplo, en el Máster TIG de la UAH se incluyen, actualmente, asignaturas como *Cartografía de riesgos tecnológicos, SIG y localización óptima de equipamientos*, etc. Las competencias para estas materias no se discuten en este texto ni tampoco se mencionan las competencias de otras materias auxiliares que, habitualmente, están incluidas en los planes de estudio sobre TIG/SIG, por ejemplo, *Geoestadística*.

Como se ha podido comprobar, sólo se han formulado las competencias, y las asignaturas, que recogen los contenidos SIG más centrales, más aceptados y difundidos en diversos estudios y títulos universitarios sobre el tema.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha discutido el concepto de competencia educativa, un tema muy debatido y, en muchas ocasiones, todavía mal conocido.

El objetivo del texto sería poder llegar a plantear una lista de tales competencias sobre SIG que pudiese llegar a suscitar una discusión profunda sobre el tema y, quizá, concitar un consenso más o menos generalizado en nuestro entorno.

Para intentar este desarrollo se ha pasado revista a las propuestas realizadas en diversos organismos y centros, y luego, en base a estas ideas, se ha intentado desarrollar una propuesta propia, que utiliza muchas ideas y conceptos ya preexistentes, propuesta que además tiene una doble formulación, una más general y otra más detallada, y que se puede distribuir de manera razonable entre los tres principales niveles educativos europeos.

La propuesta se ha intentado que siga las directrices y el vocabulario de la ANECA para que pueda ser más fácilmente aceptada. Como decíamos, esperamos que pueda servir, al menos, para iniciar una discusión útil para la mejora de la ense-

ñanza de los SIG y, más en general, de las TIG.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ANECA (2005): Libro Blanco. Título de Grado de Ingeniero de Geomática y Topografía, Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación-ANECA, Valencia (junio de 2004), 372 págs. Disponible en: [http://www.aneca.es/var/media/150420/libroblanco\\_jun05\\_topografia.pdf](http://www.aneca.es/var/media/150420/libroblanco_jun05_topografia.pdf).
- ANECA (2012): Guía de Apoyo para la elaboración de la Memoria de verificación de títulos oficiales universitarios (Grado y Máster) (v.0.4.), Unidad de Evaluación de Enseñanzas e Instituciones, Agencia
- Nacional de la Calidad y Acreditación-ANECA, Madrid, 88 págs. Disponible en: [http://www.aneca.es/content/download/12155/136031/file/verifica\\_guia\\_v04\\_120116.pdf](http://www.aneca.es/content/download/12155/136031/file/verifica_guia_v04_120116.pdf)
- 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”, en XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica-CONFIBSIG, Tegucigalpa (Honduras) 3-5 de julio de 2013 (en prensa).
- ETA (2010): Geospatial Technology Competency Model, US Department of Labor, Employment and Training Administration-ETA, Washington DC, 28 págs. Disponible en: <http://gisjo.files.wordpress.com/2011/02/geospatial-industry1.pdf>.
- Margalef, L. (2011): “Pautas para la planificación docente: plan didáctico de una asignatura”, en Master Universitario en Docencia Universitaria 2011-12, Universidad de Alcalá (inédito).
- de Martín, E (2009): “Profesorado competente para formar alumnado competente”, en Pozo, J. I y Pérez Echevarría M. P (coord.): Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias, Madrid, Ed. Morata, pp. 199-216.

- Montero Curiel, M. (2010): “El Proceso de Bolonia y las nuevas competencias”, en Tejuelo, nº 9 (2010), pp. 19-37. Disponible en: <http://iesgtballester.juntaextremadura.net/web/profesores/tejuelo/vinculos/articulos/r09/03.pdf>
- Perrenoud, P. (2004): Diez nuevas competencias para enseñar, Barcelona, Ed. Grao, 168 págs.
- REACU (2011): Evaluación para la verificación. Protocolo de evaluación para verificación de títulos universitarios oficiales (v.1.1.), Red Española de Agencias de Calidad Universitaria-REACU, Madrid, 9 págs. Disponible en: [http://www.aneca.es/content/download/12387/153627/file/verifica\\_protocolo\\_gradomasster\\_110207.pdf](http://www.aneca.es/content/download/12387/153627/file/verifica_protocolo_gradomasster_110207.pdf).
- Torrez, H.; Bosque Sendra, J. y Carrasquilla, O. (2011): “Propuesta metodológica para la identificación de satisfactores de competencias de la enseñanza de la Ciencia de la información geográfica”, en: Pineda. N.; Nemiga, X. A.; Madrigal, D. y Balderas, M. A. (Eds.): La innovación geotecnológica como soporte para la toma de decisiones en el desarrollo territorial. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 15 págs.
- UCGIS (2010): Model Curricula Project. GI S&T Body of Knowledge, University Consortium for Geographic Information Science-UCGIS.
- Disponible en:  
<http://www.ucgis.org/priorities/education/modelcurriculaproject.asp>;  
<http://www.ucgis2.org/publication/alternative-designs-curriculum-content-and-evaluation>;  
<http://www.ucgis2.org/publication/professional-gis-education>;  
<http://www.ucgis2.org/publication/research-based-giscience-graduate-education>

# *La enseñanza a distancia de los SIG, en el marco de un modelo virtual participativo*

José Miguel Santos Preciado

## **Resumen:**

La progresiva implantación de las nuevas tecnologías de la comunicación, en el campo de la enseñanza, está modificando muchos de los planteamientos educativos tradicionales, hasta el punto de obligar al profesorado, como motor esencial del proceso pedagógico, a tener presente como afectan a la estrategia del aprendizaje las nuevas formas de comunicación y de elaboración de los materiales y recursos docentes. El modelo característico de la enseñanza presencial, basado en el contacto directo profesor-alumno, lleva camino de transformarse en un nuevo modelo, apoyado por el entorno virtual formativo, aunque distante, más flexible y eficaz en algunos de sus presupuestos. Estos entornos virtuales ofrecen a la enseñanza unas posibilidades de comunicación, que afectan a la forma de transmitir el conocimiento y también a los recursos docentes y estrategias educativas correspondientes.

Estas nuevas circunstancias permiten plantearse la utilización de la metodología *e-learning* en la enseñanza de algunas materias específicas, como los “Sistemas de Información Geográfica”, que, por sus peculiares características, se amoldan bien al empleo de un modelo educativo de esta naturaleza. En este sentido, se exponen, en el trabajo que presentamos, a partir de la experiencia directa del autor, una serie de sugerencias y recomendaciones para la elaboración de un curso virtual sobre SIG.

**Palabras clave:** Enseñanza on-line, Enseñanza e-learning, Educación virtual, Sistemas de Información Geográfica, Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

## **Abstract:**

The progressive introduction of the new communications technologies in the field of education is altering many of the traditional educational approaches, up to the point of forcing the teaching staff, as the essential driving force of the pedagogical process, to bear in mind how these affect the strategy of learning the new forms of communication, and the development of teaching materials and resources. The

typical model of teaching by attendance, based in direct teacher-pupil contact, is on its way to being transformed into a new model, supported by the virtual formative en

vironment, although this is distant, more flexible, and efficient in some of its aspects. These virtual environments offer teaching some possibilities of communication that affect the form of transmitting knowledge, and also affect teaching resources and related educational strategies.

These new circumstances permit the use of the e-learning methodology in teaching certain specific matters, such as “Geographical Information Systems”, which, due to their peculiar features, adapt well to the use of an educational model of this nature. In this sense, we set out a series of suggestions and recommendations for the preparation of a virtual course about G.I.S., in the work that we present.

**Key Words:** On-line education, Virtual education, Geographical Information Systems, (G.I.S.) Information and Communications Technology.

---

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

## 1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Geografía, como la de cualquier otra materia de estudio, ha sufrido, recientemente, profundos cambios, como consecuencia de la incorporación de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) al proceso de aprendizaje. Este nuevo marco de referencia educativo ha afectado, sobremanera, a la enseñanza de los SIG, especialmente en el marco de la educación virtual. En este sentido, los fundamentos de la enseñanza virtual permiten un aprendizaje más individualizado, ajustado a las necesidades de cada persona, a la par que el tipo de recursos didácticos utilizados son capaces de desarrollar una transmisión de conocimientos y adiestramientos eficaces, flexibles y equilibrados, mejor adaptados a los requisitos del nuevo modelo en el que se debe desenvolver la docencia. Por ello, es la intención básica de este artículo mostrar como la metodología a distancia, implícita en la UNED, universidad donde vengo realizado mi labor docente, favorece una enseñanza que beneficia, particularmente, el proceso de enseñanza-aprendizaje de los SIG, materia de estudio que se aviene bien a experimentar las ventajas del modelo virtual.

## 2. EL MODELO VIRTUAL FORMATIVO DE LA ENSEÑANZA A DISTANCIA

La enseñanza virtual es algo que, hoy en día, está presente, de un modo u otro, en la mayoría de las universidades españolas. Un conjunto de conceptos han hecho fortuna en el panorama formativo: aula virtual, campus virtual, plataforma colaborativa, enseñanza on-line, sociedad en red, generación “net”, etc., obedeciendo a las nuevas posibilidades que ofrecen las TIC en el campo de la enseñanza. El impacto de las redes de comunicación sobre la formación y la educación va a suponer, y en algunos contextos ya está significando, uno de los mayores cambios que haya tenido lugar en las instituciones educativas en las últimas décadas. Tanto es así, que algunos han llegado a comparar el momento que vivimos con la repercusión que tuvo la imprenta, en su momento, en la generalización del conocimiento, o la transcendencia del alfabeto en la transformación de una cultura oral a otra escrita (Cabero Almenara, 2000).

No cabe duda que el modelo tradicional ha acumulado un conjunto de deficiencias estructurales que habría que modificar, mediante el empleo de estrategias educativas diferentes, relacionadas con las nuevas tecnologías de la educación. Entre las ventajas más decisivas que la educación virtual aporta (Mengibar, 2000),

podríamos destacar el proporcionar una mayor autonomía geográfica a las personas residentes en áreas alejadas de los centros educativos, que normalmente ven disminuidas sus posibilidades de acceso a la educación; el proveer de una mayor autonomía temporal, al no requerir de un horario fijo; el solucionar los problemas educativos en áreas de escasa demanda; el favorecer el acceso a las fuentes directas de información; la mejora de la comunicación entre profesores y alumnos por distintos medios; el perfeccionamiento de la gestión y administración de las instituciones; y, finalmente, el proporcionar una enseñanza más individualizada, que permite avanzar al alumno de acuerdo a sus peculiaridades personales y necesidades propias.

La realidad de la enseñanza virtual se apoya en las nuevas oportunidades organizativas y de comunicación que ofrecen las TIC, a la par que en la existencia de plataformas e instrumentos informáticos, capaces de favorecer la interrelación entre los miembros básicos del proceso de aprendizaje: profesor-alumno. Además, se debe destacar el papel más activo de ambos, tanto el desempeñado por el primero, en la preparación, diseño del proceso en su conjunto, y, finalmente, en el seguimiento o tutorización consecuente, como en la participación más dinámica y laboriosa del segundo.

## **2. 1. Las nuevas posibilidades organizativas y de comunicación, favorecidas desde el entorno on-line, en el campo de la educación**

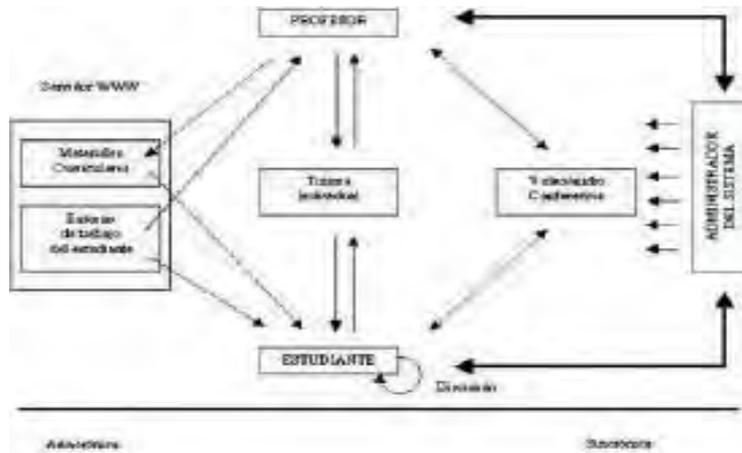
La progresiva implantación de las nuevas tecnologías de la comunicación, en el campo de la enseñanza, está modificando muchos de los planteamientos educativos tradicionales, hasta el punto de obligar al profesorado, como motor esencial del proceso pedagógico, a tener presente como afectan a la estrategia del aprendizaje las nuevas formas de comunicación y de elaboración de los materiales y recursos docentes. El modelo característico de la enseñanza presencial, basado en el contacto directo profesor-alumno, lleva camino de transformarse en un nuevo modelo, apoyado por el entorno virtual formativo, que, aunque distante, resulta más flexible y eficaz en algunos de sus presupuestos.

El entorno virtual ofrece, además, a la enseñanza unas posibilidades organizativas y de comunicación, que afectan, tanto a la planificación del proceso de aprendizaje y programación de la secuencia de actividades docentes, como a la forma de transmitir el conocimiento y también a los recursos docentes y estrategias educativas correspondientes. Entre los aspectos más notables a considerar debe-

ríamos destacar los siguientes (Santos Preciado, 2006):

1. *La multidireccionalidad en la transmisión del mensaje*, lo que permite una interactividad e interconexión ilimitada entre los actores principales del proceso educativo (figura 1). Este hecho facilita, tanto una comunicación uno a uno, como uno a muchos y muchos a muchos. Estas nuevas posibilidades de comunicación pueden ser utilizadas por el profesor para desarrollar, tanto el aprendizaje individual autónomo (enseñanza asincrónica) como el aprendizaje cooperativo, tutelado o libre (enseñanza sincrónica). Además, permite la existencia de un feed-back de información inmediato, de manera que el profesor conozca si el alumno responde al método y alcanza los objetivos fijados inicialmente.

Figura 1. La relación multidireccional del entorno virtual.



Fuente: Cabero Almenara, 2000.

2. *La gran amplitud y variedad de la información disponible para los usuarios*. La posibilidad de transmitir a distancia una gran cantidad de información en un tiempo record plantea la contingencia de disponer de nuevos recursos educativos en un nivel de escala desconocido hasta ahora. Esta información, transmisible en formato digital, ofrece la ventaja de la utilización de otros códigos diferentes al texto, que se amplía a los códigos sonoros, visuales y audiovisuales, en una estructura organizativa que abarca desde la secuencia lineal hasta la hipertexto. Ello supone la utilización de multiformatos, ya

que la digitalización nos permite, no sólo transferir de forma más cómoda, fiable y fácil la información, sino también realizarlo en diferentes tipologías y formatos.

3. Sin embargo, la estrategia educativa del entorno virtual *obliga a indagar en las nuevas posibilidades del medio* en la estructuración y planificación del proceso de aprendizaje, la búsqueda de diseños específicos en los materiales utilizados, la especificación de los roles a desempeñar por el profesor y los estudiantes y la determinación de nuevos criterios y estrategias de evaluación. El profesor se convierte en el mediador del modelo educativo, cuyos roles fundamentales son, por una parte, el de diseñador y productor de recursos adaptados a las necesidades de sus estudiantes y, por otra, el de tutor, por la que deberá realizar diferentes actividades que irán desde el asesoramiento a la motivación y a la redirección de la actividad realizada por el alumno.
4. Estas circunstancias *modifican, sensiblemente, las tradicionales virtudes del profesor y el alumno*, obligándoles a adquirir una serie de facultades y habilidades nuevas. Ello exige al profesor conocer la transformación de los documentos y recursos docentes clásicos a un formato utilizable en Internet, así como a estructurar los mismos en un discurso lógico, exportable por este medio (Marqués, 1999). Por su parte, los alumnos deben potenciar sus capacidades para el autoaprendizaje, mediante la elección adecuada de los medios y rutas de aprendizaje y la búsqueda significativa del conocimiento. En esencia, supone el alejamiento de la pasividad frente a la autoridad ilimitada del profesor y la búsqueda de soluciones personales, mediante un aprendizaje más activo y creativo.

## 2. 2. La formación virtual: el entramado instrumental, tecnológico, humano y científico

El modelo educativo virtual debe tender a romper el modelo tradicional de la enseñanza, basado en la concepción educativa de que el conocimiento está depositado en una persona, “el profesor”, mientras “el estudiante”, como sujeto pasivo, debe esperar a que se lo transmitan. Pero, ¿cómo lograrlo?, ¿cómo adecuar las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías a un proyecto que desarrolle un nuevo tipo de aprendizaje, que termine con determinadas lacras del sistema tradicional? Oliver y Reeves (1996) exponen la necesidad de que existan una serie de

elementos básicos de cara a la construcción de ambientes de aprendizajes idóneos para la consecución de este objetivo: la creación de entornos colaborativos, la contextualización, la autonomía y la independencia del estudiante, la motivación, la interactividad, la utilización de metodologías activas y la adaptación del proceso educativo a las características de los receptores.

Para alcanzar una verdadera situación de aprendizaje colaborativo, en situaciones de teleenseñanza, es fundamental, en primer lugar, la utilización de un medio tecnológico adecuado (*lo que se conoce como plataforma tecnológica on-line o virtual*), que promueva un entorno visual y tecnológico participativo, que incorpore, tanto herramientas de comunicación sincrónicas como asincrónicas, herramientas de exposición de contenidos, módulos de evaluación, herramientas de seguimiento de la acción tutorial (estadísticas de participación de los alumnos, etc.), gestión de los trabajos colectivos o individuales, orientación y estrategia de aprendizaje, herramientas de navegación para la búsqueda y localización de información, etc. En fin, una herramienta educativa virtual que garantice el desarrollo de todo el proceso de comunicación multilateral, al que nos veníamos refiriendo, así como la disponibilidad de los recursos y estrategias educativas que el proceso de aprendizaje requiere.

Entre las posibilidades que ofrecen las plataformas más usuales empleadas con este fin podrían destacarse las siguientes:

- *Separación precisa de las diferentes páginas de actividad:* presentación de la asignatura, orientaciones didácticas detalladas por temas, contenidos (referencias bibliográficas, materiales audiovisuales, etc.), evaluación continua (clases prácticas, autoejercicios para resolver, etc.), herramientas de comunicación, trabajos en grupo, etc.
- *Utilización de guías visuales que faciliten al estudiante la percepción del recorrido que debe seguir en su proceso de formación.* Es conveniente, en este sentido, ofrecer al alumno un cierto margen de maniobra en la elección del recorrido de su aprendizaje. Desde este punto de vista, es importante la estructuración espacial y conceptual de los contenidos, que ordene los mismos en unidades didácticas organizadas de manera homogénea (introducción, desarrollo de contenidos, autoevaluación, actividades que refuercen el aprendizaje, elaboración de problemas, prácticas, comentarios de textos, proposición de ampliación de conocimientos, resumen de lo visto en el tema, propuesta de trabajo individual o

de grupo, de discusión para el foro y guión de la sesión de chat del tema, etc.). En este sentido, el *servicio de agenda* favorece la planificación individualizada de cada materia de estudio o la planificación de actividades transversales (pruebas, evaluaciones, visitas, etc.) a la vista de las agendas de las asignaturas involucradas en dichas actividades.

- *Las herramientas de comunicación* deben ofrecer posibilidades interactivas lo más ricas y variadas posibles, reuniendo los servicios y funcionalidades más usuales de la comunicación telemática (correo electrónico, servicios de repositorio, foros, chats, videoconferencias, webconferencias, etc.), de manera que incorporen espacios virtuales para el debate, la discusión y la complementación.
- *El sistema gestor de materiales educativos, que agilice las estrategias de aprendizaje*, en orden a la comprensión de la materia de estudio, debe introducir, tanto módulos que sirvan para disponer información de interés, como aquellos otros destinados a la demostración razonada. Entre las múltiples herramientas y formatos podríamos destacar:
  - *La utilización del lenguaje oral y escrito* en la representación de los contenidos, ayudándose de esquemas, gráficos y resúmenes, así como en los objetivos concretos fijados al comienzo de cada tema o unidad didáctica, etc.
  - Ocupa un lugar relevante el *glosario*, diseminado a lo largo de cada uno de los temas de cada asignatura, que contribuye, de modo decisivo, a la comprensión correcta de cada uno de los términos o conceptos que aparezcan en el aprendizaje de la materia de estudio.
  - A la transmisión de los contenidos contribuyen las *películas de tipo "flash"*, dotadas de imágenes y animaciones con sonido sincronizado, diseñadas teniendo en cuenta los objetivos perseguidos en la transmisión de contenidos. Conviene resaltar la fuerza explicativa, demostrativa y didáctica de las mismas, al constituir una verdadera estrategia de acercamiento hacia el alumno.
- Finalmente, *el sistema de control y evaluación del alumno*, que debe servir para comprobar el grado de consecución de los objetivos planteados, así como de

las competencias adquiridas. En este sentido, serán fundamentales:

- Los *materiales de autoevaluación interactiva*, que forman parte de un grupo específico de materiales docentes que pretenden, no solamente experimentar preguntas tipo, sino generar automáticamente pruebas de dificultad seleccionable.
- Las *actividades prácticas*, fundamentales en cierto tipo de asignaturas, ya que posibilitan verificar la adquisición de determinadas destrezas, que aproximan al estudiante a las prácticas que deberá desarrollar, una vez se incorpore al mercado laboral.

En el caso particular de nuestra universidad, la plataforma ALF, elaborada por el personal técnico informático de la misma, es una herramienta e-learning de publicación de material educativo y gestión de cursos en un entorno basado en la web. Sus principales funcionalidades permiten impartir y recibir formación, gestionar y compartir documentos, crear y participar en comunidades temáticas, así como realizar proyectos online. Aunque está desarrollada específicamente para la comunidad de profesores y alumnos de la UNED es también accesible al público en general.

La plataforma aLF consta de dos espacios básicos. El primero y más importante, es el Espacio General del Curso/Asignatura, preparado por el equipo docente, que incluye todos los contenidos, actividades, propuestas de evaluación del curso (figura 2), mediante una serie de iconos que conducen a funcionalidades específicas de la plataforma.



Figura 2. Principales funcionalidades de la plataforma ALF

Las funciones de cada uno de estos iconos de navegación son: *Guía de estudio*, dedicada a acceder al documento donde se indica cómo está diseñada la asignatura (orientaciones didácticas, contenidos, material bibliográfico, criterios de evaluación, etc.); *Novedades*, que muestra los cambios que se han producido en el espacio virtual de la asignatura desde la última visita; *Tablón de noticias*, que conduce a un espacio expositor de noticias o avisos editados por el Equipo Docente; *Preguntas más frecuentes*, o lista de preguntas importantes con sus respectivas respuestas; *Foros de discusión*, herramientas para la comunicación escrita y en diferido en muchas plataformas; *Glosario*, agrupación de términos clave o importantes para una materia, disciplina o asignatura; *Tareas*, lista completa de tareas o actividades que ayudan a la evaluación continua de la asignatura; *Calificaciones*, herramienta de la plataforma encargada de gestionar las calificaciones; *Exámenes anteriores*, que permite el acceso a los modelos de examen de años anteriores; *Tutoría*, que posibilita acceder al grupo de tutoría, moderado por el profesor/a tutor/a personal.

En consecuencia, los roles más significativos que tendrán que desempeñar los profesores en estos nuevos entornos de formación se refieren, como hemos indicado anteriormente, al diseño de las estrategias de aprendizaje, a la elaboración de recursos educativos y a la tutorización. Ello implica la exigencia de destrezas, no sólo para la traslación de documentos a formatos utilizables en Internet, sino, también, y es lo verdaderamente importante, a la estructuración de los mensajes, utilizando los diferentes tipos de códigos disponibles a las necesidades de los estudiantes.

En cuanto a la tutoría, tenemos que señalar que se convierte en uno de los instrumentos de máxima significación, para conseguir que el sistema funcione con calidad y se favorezca un clima para el aprendizaje. En ella, la actividad del profesor resulta fundamental, lo que implica la realización de múltiples labores, desde el asesoramiento a la motivación y a la redirección de la actividad realizada por el estudiante.

En este sentido, tenderán a desvanecerse algunos roles clásicos desempeñados por el profesor, como el de mero transmisor de información, y potenciarse, sin embargo, otros, como el de evaluador y diseñador de situaciones mediadas de aprendizaje. Al mismo tiempo, deberá de poseer habilidades para trabajar y organizar proyectos en equipo, convirtiéndose en un organizador dinámico del currículum,

estableciendo y adoptando criterios para la creación de un entorno colaborativo del aprendizaje.

### **3. ADAPTACIÓN DEL MODELO VIRTUAL FORMATIVO AL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS SIG**

#### **3. 1. Algunas consideraciones para un diseño de la materia de estudio de los SIG en un entorno virtual**

Con vistas a obtener un adecuado aprendizaje de los SIG, de acuerdo a las competencias señaladas, ¿puede la enseñanza e-learning universitaria ser considerada mejor que la formación presencial? ¿Es la solución mixta una mejor solución que cada una de las dos opciones extremas? No cabe duda, que la utilización de la metodología on-line, en algunas asignaturas, puede ser interesante y motivadora. En el caso de la enseñanza de Sistemas de Información Geográfica, mi experiencia particular es que el entorno virtual contiene elementos fundamentales que favorecen el aprendizaje de esta materia específica de estudio, en la perspectiva de lograr un bagaje de conocimientos, habilidades y destrezas capaces de facilitar una incorporación más adecuada del alumno al mercado de trabajo.

Indudablemente, aprender a través de las TIC es más complicado que acudir a un aula. A priori, hay más obstáculos a tener en cuenta. Sin embargo, los fundamentos de la enseñanza virtual permiten un aprendizaje más individualizado, ajustado a las necesidades de cada persona, siempre que la organización y capacidad de respuesta del profesorado, coordinando y dirigiendo el proceso educativo, se ajuste a los requerimientos que exige este tipo de enseñanza, mediante un diseño adecuado del curso, adaptado a las necesidades de la materia de estudio. Veamos, en el caso de la enseñanza de los SIG, cual podría ser la respuesta organizativa y los medios necesarios para desarrollar una transmisión de conocimientos y adiestramientos eficaces, flexibles y equilibrados.

Una planificación general del proceso de aprendizaje de la asignatura requeriría la definición de un conjunto de elementos clave, relacionados con la programación de la actividad docente en un contexto temporal que posibilite una ordenada secuenciación de las tareas docentes a realizar por el alumno; elaboración previa de los recursos docentes; determinación de las estrategias de aprendizaje; concreción de las herramientas de comunicación entre los miembros que participan en

dicho proceso: profesores del quipo docente-tutores-alumnos; y, finalmente, control del proceso de aprendizaje y evaluación de la asignatura. Veamos, cada uno de estos apartados de manera separada.

### ***Programación de la actividad docente***

La gran diferencia entre la presencialidad y la no presencialidad reside, precisamente, en que ésta última necesita de la explicitación de los procesos y de las metodologías de aprendizaje, más que la enseñanza presencial, y, por ello, las tareas a realizar deben estar siempre previamente diseñadas y ser conocidas, de antemano, por el estudiante. En el proceso de enseñanza-aprendizaje, el profesor debe elaborar el material de estudio, proponer los ejercicios o actividades prácticas que considere necesarios, definir las autoevaluaciones, los trabajos colectivos o individuales a realizar durante el curso, las herramientas de comunicación que considere más eficaces, y un largo etcétera de actividades de cuyo diseño y coordinación equilibrada depende el éxito o fracaso del curso virtual.

Así mismo, se debería determinar qué parte de la materia de estudio puede ser de autoaprendizaje y qué parte tutorizada, qué actividades pueden plantearse de forma sincrónica y cuales asincrónica. Además, definir, muy bien, qué papel debe desempeñar el tutor virtual en el seguimiento general del curso y en el particular de cada alumno, etc. En el caso de utilizar un entorno semipresencial (con reuniones presenciales de los profesores con los estudiantes), debería definir las actividades que realizarían en esas sesiones presenciales (exámenes, presentaciones, prácticas de laboratorio, clases de consolidación o ampliación de contenidos, etc.).

En general, el profesor ha de elaborar una guía o plan de la asignatura, de forma que el alumno, al empezar el curso, disponga, por escrito, de la programación de actividades temporalizadas de la asignatura, los materiales y recursos didácticos disponibles; en fin, las reglas del juego desde las que va a aprender y ser evaluado.

### ***Elaboración de recursos docentes de la asignatura y metodologías de aprendizaje***

En este tipo de estudios, es importante disponer de buen material de estudio: guías docentes, manuales, libros, material multimedia, programarios, etc. Tanto los encuentros presenciales, como el aprendizaje en el entorno virtual, han de servir para que el profesor oriente al estudiante en la adquisición de los conocimientos y

habilidades.

En el caso concreto de la enseñanza de los SIG, se debería definir, a partir de la peculiaridad y rasgos distintivos de la materia de estudio, los resultados previstos en el aprendizaje u objetivos básicos a lograr, de forma que facilitemos el proceso de enseñanza de la asignatura.

Desde mi punto de vista, la secuencia de adquisición de conocimientos y destrezas debería ser, a grandes rasgos, la siguiente:

- Alcanzar un conjunto *de nociones básicas* sobre lo que son y para qué sirven los SIG.
- Conocer las *peculiaridades de la información georreferenciada*, su estructura cartográfica clásica y los modelos de organización espacial.
- Conocer el *origen de la información y su acomodo a formato digital* en los dos modelos de referenciación espacial (raster y vectorial).
- Conocer las *funcionalidades básicas de los SIG raster y vectorial*.
- Aprender el *manejo de algún SIG comercial*, que permita la comprensión práctica de este tipo de herramientas.
- Conocer los *campos concretos de aplicación de los SIG* en la resolución de variadas problemáticas medioambientales y territoriales.

Este simple esquema nos debe permitir valorar cómo definir los recursos didácticos, actividades docentes y estrategias de aprendizaje más interesantes para conseguir, en el entorno virtual, organizar el curso y alcanzar los objetivos y competencias propuestos. Los materiales y recursos docentes de mayor interés serían los que a continuación se detallan.

- Desde nuestro punto de vista, es muy importante disponer de un *texto básico o Unidades Didácticas*, escritas por el equipo docente, preparadas para el estudio independiente por parte del alumno. Dicho texto, que podría estar editado, bien en papel o mejor, incluso, en formato digital (utilizable en el curso virtual), servi-

ría para que el alumno dispusiera de un material escrito de referencia básico. El texto se podría complementar con *una guía didáctica detallada*, disponible en el mismo tipo de formato, que expusiera, para cada tema o unidad didáctica, un conjunto de referencias de interés pedagógico (objetivos, contenidos previos a conocer, bibliografía complementaria, etc.).

- Otro tipo de *información podría ofrecerse de forma complementaria* a los alumnos. Entre las posibilidades que nos aportan los entornos virtuales de formación, nos encontramos, respecto al aprendizaje de los SIG, con una enorme y variada información suplementaria. Ahora bien, esta facilidad de transmisión de la información requiere de un esfuerzo de estructuración y organización, con vistas a una participación activa y constructiva del sujeto a quién va dirigida la enseñanza de la asignatura. Esta aptitud no queda constreñida, únicamente, al *formato escrito*, sino que afecta a materiales en *formato audiovisual*. Se nos ocurre un extenso conjunto de materiales didácticos complementarios, relacionados con varias de las competencias a adquirir por el alumno (conocimiento y manejo de la información geográfica georreferenciada, aplicación de los SIG a la resolución de problemas geográficos o de organización territorial, etc.) que podríamos poner a disposición del alumnado:
  - Principales *organismos origen de la información geográfica*, tanto temática como espacial, en formato digital.
  - Recopilación de *textos o artículos de interés sobre los SIG*, que complementen el contenido ofrecido en el manual básico, sobre diferentes aspectos, bien para ser analizados en alguna actividad complementaria, bien como forma de ampliar el campo de los contenidos disponibles.
  - Repertorio de *trabajos concretos de investigación* que hayan utilizado el mismo software que emplee el alumnado en sus prácticas, donde, desde un esquema simple (exposición del problema a investigar, metodología y exposición de resultados), se muestren diversas posibilidades de aplicación de la tecnología SIG en la resolución de problemas territoriales y medioambientales.
  - La existencia de recursos docentes, en *formato multimedia*, y su adecuación a la enseñanza de los SIG, permite plantearse el aprendizaje

de partes de la asignatura, difíciles de aprender, de manera interactiva (figura 3), a partir de presentaciones que pueden disponer de componentes dinámicos incrustados a modo de “flashes”. Este tipo de material es costoso de elaborar, por lo que la disponibilidad de un material ya confeccionado puede ayudar a la labor de la enseñanza de la asignatura. Muchos de estos elementos están contruidos como modelos de simulación, que permiten responder a la pregunta de ¿qué pasaría si se realizara tal operación?

Figura 3. La herramienta GISWEB: un recurso multimedia interactivo al servicio de la enseñanza de los SIG.



Fuente: GISWEB (disponible en la web del departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá: <http://www.geogra.uah.es/inicio/>)

### ***La comunicación entre los distintos miembros participantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje***

Una de las mayores potencialidades de la enseñanza virtual reside, precisamente, en la capacidad de relación interactiva que existe entre todos sus miembros. Un buen diseño del curso requiere que el profesor defina bien los espacios virtuales de relación y sus funcionalidades y objetivos.

El éxito del sistema de comunicación virtual reside en que el alumno ha de tener la sensación permanente de que hay alguien “detrás de la pantalla”. En cada

aula virtual, los alumnos inscritos escriben mensajes que contienen dudas o comentarios sobre la materia de estudio y el tutor escribe mensajes con sus respuestas. Cada alumno aprende de las contribuciones del tutor y del resto de los participantes, facilitándose de esta forma el *aprendizaje colaborativo*. Esta forma de trabajo es asíncrona, lo cual significa que no es necesario que estén todos los alumnos y tutores conectados al sistema al mismo tiempo; las respuestas a las preguntas se producen desplazadas en el tiempo. Para que el sistema funcione, la intervención del profesor ha de producirse con una periodicidad determinada y conocida por el alumno, como mínimo de dos o tres veces al día.

Además de este tipo de relación asíncrona, la UNED dispone de otro tipo de herramientas, síncronas, como las aulas AVIP, que permiten organizar a distancia, a modo de videoconferencia o webconferencia, una reunión programada entre alumnos y profesores, con la intención de resolver dudas, bien sobre la organización del curso o sobre aspectos relacionados con la temática concreta de la materia de estudio. En este sentido, la webconferencia es muy fácil de organizar y puede hacerse desde el domicilio de profesor y alumnos, pudiendo establecerse una relación alumno-profesor, con visualización en pantalla de la imagen del profesor (o alumnos autorizados), además de imágenes o esquemas empleadas en una pizarra electrónica (figura 4).

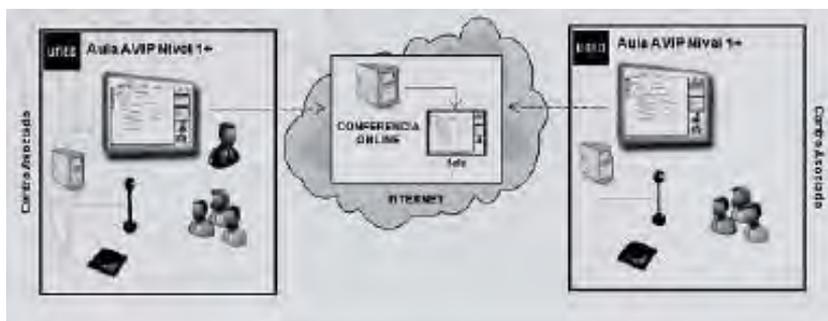


Figura 4. Relación interactiva profesor-alumnos a través de webconferencia

La utilización de la metodología virtual, frente a la metodología convencional, tiene las siguientes ventajas:

- *Consultar dudas en el momento en que se producen, independientemente de la hora y lugar geográfico de conexión.*

- *Contactar con otros compañeros de curso.*
- *Disminuir el aislamiento* al que tradicionalmente se enfrentan los alumnos de educación a distancia.
- *Enviar tareas y recibir correcciones de forma rápida.*
- *El foro constituye la herramienta de comunicación asíncrona más interesante.*  
En el caso de la enseñanza de los SIG, podríamos plantearnos la creación de los siguientes foros:
  - Un foro sobre *aspectos generales de la asignatura*, que diera respuesta a dudas sobre la organización de la misma (organización general del curso, criterios de evaluación, etc.).
  - Un espacio virtual, preparado para *contestar a cuestiones de carácter conceptual teórico*.
  - Diversos foros que respondieran, separadamente, a cada una de las *actividades planteadas*, bien de grupo o colectivas, bien individuales, siempre que éstas tuvieran una cierta entidad como para aconsejar su separación.
  - Un espacio virtual de *relación de los alumnos*, que sirviera, de forma exclusiva, para comunicarse entre ellos.
- La reiteración de las preguntas, por parte de los alumnos, podría disminuirse si se preparara e incluyera la posibilidad de acceso a un conjunto de *preguntas más frecuentes*. Ello serviría de filtro a la participación de aquellos alumnos que intervienen en el medio de comunicación sin asegurarse de que la cuestión de interés que les lleva a realizar la consulta ha sido ya respondida.
- La *preparación de un solucionario* detallado de las actividades prácticas planteadas, incluso con imágenes resultado de operaciones intermedias, facilita la rápida comunicación del profesor con el alumno, al enviar al foro de comunicación, en muy poco espacio de tiempo, la respuesta correcta a la duda planteada.

## ***Control del proceso de aprendizaje y evaluación de la asignatura***

Entre las actividades de aprendizaje, debe tenerse presente la importancia de que el alumno participe en el proceso docente de forma activa. Por tanto, es imprescindible plantear al participante proyectos reales, basados en objetivos interesantes, apoyados en la tutoría socrática; en definitiva, en construir simulaciones donde puedan practicar aquellas tareas que les esperarán al día siguiente en su puesto de trabajo. Estas actividades son imprescindibles en el caso de la enseñanza de los SIG, pudiendo realizarse de manera individual o colectiva. Las mismas podrían consistir en:

- *Pruebas o Actividades de Evaluación a Distancia* que planteen la posibilidad de realizar ejercicios prácticos, a partir del software definido para el trabajo de la asignatura. Estos trabajos podrían ser realizados de forma individual o colectiva, constituyendo el tutor un elemento clave en el proceso de dirección y coordinación de los mismos. Los servicios en línea para el trabajo de grupo permiten al profesor y a los estudiantes compartir, tanto documentos como imágenes y otros materiales digitales de manera interactiva simultánea. De esta manera, podrían experimentar la dinámica práctica de grupo que les sería especialmente útil a lo largo de su carrera profesional.
- *La posibilidad de ubicar, en la plataforma tecnológica, las imágenes o capas geográficas para trabajar en el SIG* facilita la labor de distribución de las mismas y el trabajo práctico de los alumnos. Una variada información de este tipo, relativa a espacios geográficos diferenciados, permite plantearse actividades de autoevaluación simples, a modo de tutorial, en las que el alumno puede realizar operaciones, de complejidad creciente, previamente diseñadas por el equipo docente de la asignatura.
- La necesidad de *disponer de un programa informático* para la realización de la tarea del aprendizaje de la asignatura, fundamental en el caso de los SIG, puede verse favorecida por la conexión a la red. La posibilidad de descargar el programa por el alumno, a precio razonable, desde su domicilio, permite plantearse la posibilidad de un sistema mixto (trabajo en casa o en el aula informática del centro educativo), de acuerdo a las condiciones ofertadas por el distribuidor

del sistema. En este sentido, la utilización de SIG libres, como gvSIG<sup>1</sup>, facilita enormemente la tarea propuesta.

- *Prácticas de autoevaluación*, más simples, bien estructuradas de acuerdo con las partes o temas de la materia de estudio, servirían para valorar el avance experimentado por cada alumno en la comprensión de la asignatura.
- Los trabajos prácticos se podrían complementar con la *respuesta a preguntas o cuestiones de tipo más teórico*, que servirían para comprender determinados aspectos de la asignatura, más centrados en el discernimiento del significado de conceptos o procedimientos de trabajo.

### 3. 2. Tutorización del alumnado

La tutorización del alumnado, por parte de cada profesor responsable, constituye un elemento clave en el éxito del aprendizaje virtual. La necesidad de un seguimiento cercano, más si se desea respetar el modelo de la evaluación continua, exige que el índice de relación de alumnos por tutor no exceda mucho de la cifra de 50 personas. En caso de que así sea, se debería multiplicar el número de tutores de forma proporcional.

En la asignatura de SIG, los alumnos podrían disponer de dos opciones de ser evaluados: la evaluación continuada y la evaluación final. De esta manera, el estudiante sería evaluado, por una parte, mediante exámenes presenciales, mientras que por otra, a partir de las prácticas o trabajos individuales o en grupo elaborados previamente por el profesorado.

Para el seguimiento y la evaluación del curso en general y de los alumnos en particular, el profesor dispondría de los siguientes mecanismos:

- Las *estadísticas que se extraen de la plataforma* suministran el número de consultas realizadas por los estudiantes, las respuestas proporcionadas por los profesores correspondientes, el número de trabajos entregados mediante la misma, etc.

<sup>1</sup> gvSIG es un SIG libre, elaborado por los servicios informáticos de la Consejería de Infraestructuras y Transporte de la Comunidad Autónoma de Valencia (España), al que se puede acceder desde la página: <http://www.gvsig.org>.

- Las *encuestas de opinión*, realizadas por los alumnos al final de cada curso, permitirían valorar la docencia, el sistema de evaluación y el material docente utilizado.
- Los *materiales de autoevaluación interactiva* forman parte de un grupo específico de materiales docentes que pretenden, no solamente experimentar preguntas tipo, sino generar automáticamente pruebas de dificultad seleccionable.
- Las *Pruebas o Actividades de Evaluación* que los alumnos envían al profesor, de acuerdo con un calendario establecido con antelación, servirían de referencia básica de evaluación del alumnado. Estarían compuestas por preguntas tipo test, preguntas de respuestas abiertas, trabajo prácticos realizados en grupos o individualmente a partir del software seleccionado como SIG, etc.

#### 4. A MODO DE REFLEXIÓN FINAL

La implantación progresiva del modelo virtual de enseñanza ha permitido introducir nuevos planteamientos de docencia en áreas de conocimiento, como los Sistema de Información Geográfica (SIG), donde la enseñanza teórico-práctica es fundamental en su metodología de aprendizaje. En este marco educativo, la utilización de la enseñanza virtual en la línea de aplicación de los principios de la evaluación continua, favorece el aprendizaje de forma activa y autónoma.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Badia, A.; Pallarés, M.; Llurdes, J.C. (2006). «L'ús de les noves tecnologies en l'ensenyament de la geografia dins l'EEES. Les assignatures de Geografia econòmica i social, Cartografia i fotointerpretació, i SIG». Digithum [article en línia]. Núm. 8. UOC. Disponible en: <[http://www.uoc.edu/digithum/8/dt/cat/badia\\_pallares\\_llurdes.pdf](http://www.uoc.edu/digithum/8/dt/cat/badia_pallares_llurdes.pdf)>
- Burriel de Orueta, E. L. (2004a): "La base formativa común en la enseñanza universitaria de la Geografía en España", Boletín de la A.G.E., 38, págs. 47-70.
- Cabero Almenara, J. (2000). "La formación virtual: principios, bases y preocupaciones", en Pérez, R. (coords) (2000): Redes, multimedia y diseños virtuales,

Oviedo, Departamento de Ciencias de la Educación de la Universidad de Oviedo, pp 83-102.

- Marqués, P. (1999): “Criterios para la clasificación y evaluación de espacios web de interés educativo”, *Educación*, 25, pp 95-111.
- Mengibar Jiménez, J. (2000): “Apoyos telemáticos en la educación a distancia. ¿Son todo ventajas y facilidades?” en la Formación continua en la sociedad de la información. Centro virtual Cervantes. Disponible en la dirección de Internet [http://cvc.cervantes.es/obref/formacion\\_virtual/formacion\\_continua/mengibar.htm](http://cvc.cervantes.es/obref/formacion_virtual/formacion_continua/mengibar.htm)
- Nieto Masot, A. (2010): “El uso didáctico de los sistemas de información geográfica en el Espacio Europeo de Educación Superior”, en Tejuelo. *Didáctica de la Lengua y Literatura*. Vol 9, nº 1.
- Oliver, R. y Reeves, T. (1996): “Dimensions of effective interactive learning with telematics for distance education”, *ETR&D*, 44,4, pp 45-56.
- Santamaría Lancho, M. y Sánchez-Elvira, Paniagua, A. (2008): “La adaptación de la tutoría académica en la UNED al Espacio Europeo de Educación Superior”. UNED. Red Estatal de Docencia Universitaria (REDU). Seminario Internacional: La Acción tutorial en la Universidad del siglo XXI.
- Santos Preciado, J. M. (1996): “Recursos informáticos y enseñanza de la Geografía”, en *Didáctica Geográfica*, Asociación de Geógrafos Españoles. Universidad de Burgos, pp 57-66.
- Santos Preciado, J. M. (2005): “Recursos docentes y enseñanza virtual. Aplicación al estudio de la Geografía y la Historia”, en *I Jornadas sobre el uso de las TIC en la UNED' 05*.
- Santos Preciado, J. M. (2006): “Las Tecnologías de la Información y Comunicación y el modelo virtual formativo: nuevas posibilidades y retos en la enseñanza de los SIG”, en *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, Madrid, pp 111-137.

# *Aspectos geoéticos en la docencia del ordenamiento y la gestión del territorio*

Juan Gregorio Rejas Ayuga, Joaquín Bosque Sendra, José Antonio Malpica†, Francisco Maza Vázquez; Adolfo Dalda Mourón, María Luisa Soriano Sanz, María Guadalupe Rodríguez Díaz, Juan Luís Bermúdez, Fernando Cerezal, Roberto Goycoolea Prado, Francisco Javier González Matesanz, María Concepción Alonso Rodríguez, Francisco Javier Gómez Martínez, Jesús Martínez-Frías

## **Resumen:**

La Geoética es la disciplina que interpela y trata desde un enfoque ético las materias profesionales y de investigación involucradas en las Ciencias de la Tierra y Planetarias en su conjunto. Desde su irrupción a finales del pasado siglo hasta la actualidad, ha experimentado una importante notoriedad reconocida por la AGID (*Association of Geoscientists for International Development*), IUGS (*International Union of Geological Sciences*) y otras organizaciones internacionales en consonancia con los avances tecnológicos, de la información geográfica y geocientíficos en general cada vez más interrelacionados con el mundo abiótico.

En el presente artículo se analizan problemáticas y retos geoéticos en un contexto docente del ordenamiento y gestión del territorio. Se exponen diversos aspectos relacionados con códigos de conducta y buen hacer que han aflorado o ha tenido que abordar el profesorado de la Maestría desarrollada conjuntamente por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) en sus sucesivas ediciones. Finalmente se realiza una aproximación desde las distintas áreas de conocimiento al tratamiento conceptual, profesional y de investigación de la Geoética en un ámbito centroamericano, cuyo resultado último implique aportar respuestas ante nuevos retos globales.

**Palabras clave:** Geoética/Ciencias de la Tierra/Tecnología/Información/Docencia.

## Abstract:

The Geoethic is the discipline that comes from challenges and ethical approach subjects and professionals research involved in the Earth Sciences and Planetary together. Since its emergence in the late last century to the present, has undergone a major notoriety recognized by AGID (Association of Geoscientists for International Development), IUGS (International Union of Geological Sciences) and other international organizations in line with technological advances and geographic information increasingly interrelated with the abiotic world.

This article discusses problems and challenges geoethic in a teaching context for organization and management of the territory. It presents various aspects of codes of conduct and good work that have emerged or have had to address the faculty of the Master developed jointly by the National Autonomous University of Honduras (UNAH) and the University of Alcalá (UAH) in successive editions. Finally, an approximation from the different areas of knowledge conceptual treatment, professional and research in a field geoethic Central, with the end result involves providing answers to new global challenges.

**Keywords:** Geoethic/Earth Science/Technology/Information/Teaching.

---

**Juan Gregorio Rejas Ayuga**<sup>1,5</sup>, ( rejasaj@inta.es), (juangregorio.rejas@upm.es); **Joaquín Bosque Sendra**<sup>2</sup>, (joaquin.bosque@uah.es); José Antonio Malpica†<sup>2</sup>; **Francisco Maza Vázquez**<sup>2</sup>, (francisco.maza@uah.es); **Adolfo Dalda Mourón**<sup>2</sup>, (adolfo.daldamouron@gmail.com); **María Luisa Soriano Sanz**<sup>2</sup>, (maria.soriano@sepes.es); **María Guadalupe Rodríguez Díaz**<sup>2</sup>, (guadalupe.rodriguez@uah.es); **Juan Luís Bermúdez**<sup>2</sup>, (jlbermudez@beritec.es); **Fernando Cereza**<sup>2</sup>, (nicoop.academico@uah.es); **Roberto Goycoolea Prado**<sup>2</sup>, (roberto.goycoolea@uah.es); **Francisco Javier González Matesanz**<sup>2,4</sup>, (fjgmatesanz@fomento.es); **María Concepción Alonso Rodríguez**<sup>2</sup>, (mconcepción.alonso@uah.es); **Francisco Javier Gómez Martínez**<sup>6</sup>, (igitur40@msn.com); **Jesús Martínez-Frías**<sup>3,5</sup>, (jmfrias@cab.inta-csic.es). <sup>1</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA. <sup>2</sup> Universidad de Alcalá de Henares, UAH. <sup>3</sup> Centro de Astrobiología, CSIC-INTA. <sup>4</sup> Instituto Geográfico Nacional, IGN. <sup>5</sup> Universidad Politécnica de Madrid, UPM. <sup>6</sup> Universidad Complutense de Madrid. †Dedicatoria: un recuerdo especial para nuestro admirado compañero y amigo, profesor José Antonio Malpica, fallecido el 1 de diciembre de 2012. Su ejemplo siempre quedará en nuestra memoria.

## 1. INTRODUCCIÓN

El camino por el que se llega a la ética (Simondon, 1989; González, 2000) en sus diferentes variantes es muchas veces consecuencia de una pregunta o preguntas iniciales que se le plantean al individuo en el ejercicio de la acción, sea ésta su profesión, su formación o su ámbito personal. Es por lo tanto la búsqueda de respuestas ante el devenir, ante situaciones concretas, novedosas o cambiantes, lo que obliga al ser humano, podríamos decir que de una manera innata, a entrar en disposición intelectual para saciar esa necesidad que irrumpe. La Geoética no es un caso diferente en lo que se refiere al impacto que producen los nuevos fenómenos en el posicionamiento ético y moral (Nemec, 2012).

Existe un esquema fundamental que opera en este sentido y que relaciona el bloque problema/pensamiento cognitivo/praxis en un flujo secuencial que puede o no cerrarse. La Antropología, la Sociología y otras materias afines (Cliffort, 1995; Herbert, 1992; López, 2007; Swatz et al., 1994) apuntalan desde hace décadas que precisamente esta capacidad de discurrir y desarrollar soluciones abstractas es una de las claves del éxito de adaptación y supervivencia del ser humano como especie.

Es importante recalcar ese parámetro, esa causa inicial, es decir, el binomio cambio-adaptación. El conocimiento, las sociedades, el individuo no permanecen fijos. En tiempos como los actuales, en los que se experimenta un vertiginoso avance tecnológico, son mucho más apreciables estos efectos en la sociedad y en su relación con el entorno. Los espacios naturales bióticos y abióticos no permanecen inalterables. ¿Cuál es la tolerancia establecida y admitida por el ser humano a estos cambios? Una respuesta inmediata, situando en el centro del universo al ser humano y anteponiendo nuestra propia supervivencia como especie, podría ser que no existen límites. Pero esta premisa se demuestra insuficiente. La hipótesis de Gaia (Lovelock, 2003) como teoría controvertida que considera a nuestro planeta un ser vivo en el cual todo interacciona, supone una posible respuesta científica a los continuos desajustes naturales y humanos que se vienen observando en los últimos tiempos, y que en un principio parecieran responder a causas atomizadas. ¿Cuál es entonces el mecanismo por el que vamos buscando y encontrando respuestas a medida que irrumpen nuevos retos?

A lo largo del siglo pasado y en lo que llevamos de este, las Ciencias de la Tierra y Planetarias, también llamadas Geociencias, han experimentado un desa-

rollo espectacular, unido indisolublemente al salto cualitativo que ha experimentado en este mismo período la Tecnología, en lo que se asume ya como una nueva revolución de la humanidad. Inevitablemente se tienen que producir nuevas relaciones entre estas ciencias y los espacios, físicos o abstractos, estudiados. También surgen inquietudes y roces, preguntas sin respuesta, que desde una perspectiva responsable como científicos es necesario abordar. La Geoética pretende en este sentido analizar desde un enfoque ético los aspectos y conflictos que afloran en la interacción de las Geociencias y su puesta en práctica en distintas áreas docentes, profesionales y de investigación, representando ciertamente, una oportunidad para los científicos en la toma de conciencia de su papel y responsabilidad sociales.

En el presente artículo se realiza una aproximación a la Geoética, analizando por separado para luego relacionar su implicación en los diferentes ámbitos. Se exponen los contactos con la ética y las experiencias de un grupo multidisciplinar de docentes y profesionales en el contexto de las Tecnologías de la Información Geográfica, la Planetología, el Ordenamiento del Territorio y la Cooperación para el Desarrollo. Se establecen finalmente conclusiones encaminadas a observar los retos futuros y contribuir a construir acuerdos para un marco ético en las Geociencias.

## 2. ANTECEDENTES ACTUALES. LA BIOÉTICA COMO EJEMPLO.

El término Geoética comienza a aparecer en los foros científicos a finales del siglo XX. Inicialmente promovida desde la Geología, nace en 1991, considerándose al Dr. Václav Nemeč (Martínez-Frías, 2008) como el padre de esta nueva disciplina. No es hasta 2004 cuando se asienta su institucionalización en forma de uno de los grupos de trabajo impulsado por la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional (AGID).

Nemeč y Nemcoca formulan la Geoética inicialmente como una nueva disciplina en el marco de las Ciencias de la Tierra, que vincula ética y geología, y engloba aspectos científicos y sociales desde enfoques prácticos y teóricos (Nemeč, 1992; Nikitina, 2012). Ampliando e integrando esta formulación primera, Martínez-Frías (Martínez-Frías, 2008) propone una definición formal de la Geoética como una disciplina clave en el campo de las Ciencias de la Tierra y de las Ciencias Planetarias, que involucra diferentes aspectos de carácter científico, tecnológico, metodológico y sociocultural (por ejemplo, sostenibilidad, desarrollo, museología), pero también la necesidad de considerar protocolos apropiados, problemas de integridad científica

y códigos de buenas prácticas respecto al estudio del mundo abiótico. Los estudios sobre geología planetaria y astrobiología también requieren un enfoque geoético.

Un caso antecesor, en gran medida extrapolable al mundo abiótico, lo supone la amplia actividad que desde la Bioética se viene desarrollando internacionalmente desde la década de los 70 del siglo pasado (Potter, 1970). Si bien son más evidentes y directas las repercusiones para el respeto a la vida en este caso, este hermano mayor ha sentado las bases para establecer marcos adecuados desde la ética en un ámbito científico y profesional.

La satisfactoria e ingente experiencia de la Bioética en la docencia (Couceiro-Vidal, 2008; Mellado, 2004; Escobar et al., 2008), la investigación, la sociedad y la política (Keyuex *et al.*, 2004) puede ser un buen ejemplo a seguir para la Geoética, o cuando menos, un precursor del que aprender de sus aciertos y errores.

### 3. GEOÉTICA Y PROFESIÓN.

Es el ejercicio de la profesión de las Geociencias el marco en el que originalmente tienen lugar problemáticas éticas. La explotación de recursos minerales, su protección y moderación de consumo de fuentes no renovables de la Tierra, da origen de facto a la Geoética en el ámbito profesional (Nemec, 2012). Cuando el individuo entra en relaciones profesionales, las dimensiones de la Geoética deben elevarse a los requerimientos de la mentalidad profesional, porque ésta propicia profesiones con alto nivel de conciencia moral. Geoética y mentalidad profesional, son sólo algunos aprendizajes insustituibles. La mentalidad profesional exige una actitud más proactiva para mejorar el campo de la profesión ateniéndose a la Geoética (González y Martínez-Frías, 2011). ¿Cómo influye o afecta la ética en el ámbito y ejercicio profesional?

A las causas iniciales se han unido otras prioridades, consecuencia de los resultados obtenidos en la puesta en práctica de temas relacionados con los desastres naturales y el impacto demoledor que su creciente intensidad provocan. Casos recientes como el terremoto de L'Aquila (Italia) en 2009, el terremoto de Lorca (España), el maremoto y posterior tsunami de Fukushima (Japón) o el devastador tsunami de Indonesia de 2004, son claros ejemplos tanto por sí mismos como por las consecuencias que producen, de la necesidad de valoraciones éticas que los profesionales de las Geociencias están abocados a plantearse. No habría que

olvidar el caso del terremoto de Chile en 2010, que evidenció escasez de estudios geotécnicos, incluso en torres de vivienda, lo que unido a una falta de vinculación entre investigadores universitarios y legisladores, vio agravados los efectos propios de la catástrofe natural.

La modelización mediante sistemas de información geográfica, generación de alertas tempranas ante catástrofes y normas sismoresistentes (u otras) para la construcción, ha supuesto un importantísimo avance, que ha repercutido positivamente en la eficiencia de las medidas a adoptar ante estas situaciones. Bien, pero a la par que se ha producido esta mejora y ante casos nuevos, surgen aspectos éticos a considerar relacionados con protocolos de actuación, tiempos de ejecución y responsabilidades profesionales. El caso de L'Aquila mencionado, por reciente y cercano, es quizás paradigmático de esta situación. Si bien los estudios profesionales pueden prever un riesgo inminente de catástrofe, es necesario coordinar estos resultados técnicos con decisiones políticas sujetas a protocolos de actuación consensuados en base a la experiencia previa.

El ámbito profesional del Patrimonio es otro elemento sujeto a grandes tensiones y riesgos. Un enfoque ético en las geociencias que trabajan en patrimonio debe ser así mismo considerado. ¿Los espacios geográficos y geológicos tienen que ser protegidos? ¿Qué soluciones éticas podemos aportar si se plantea un proyecto, por ej. la cuestionada construcción de la presa en la Patagonia chilena, que afectará irremediabilmente a estos lugares?



FIGURA 1. Yacimiento de Atapuerca en Burgos, España, declarado Patrimonio de la Humanidad (Izqda.) y sistema de Flysch en el Geoparque de la Costa Vasca (dcha.)

El concepto de Patrimonio es amplio, abarcando lo material y lo inmaterial. Cabe mencionar la reciente declaración de UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad también del Patrimonio Geológico, en el que se incluyen espacios geológicos únicos, meteoritos, rutas geológicas, etc. (Figura 1).

Existe la creencia generalizada de que la vida animal y vegetal resulta siempre más vulnerable a los cambios o las agresiones que la geología y los espacios geográficos. Las montañas y las rocas parecen indestructibles y creemos que seguirán inalterables durante miles de años. Sin embargo, la naturaleza biológica es flexible y casi siempre tiene una cierta capacidad para adaptarse a los cambios, mientras que muchos elementos abióticos no pueden acomodarse a cambios o agresiones. Es por lo tanto una necesidad urgente transmitir conciencia del valor de la geología y los espacios geográficos para conservar todos sus elementos. Es necesario insistir sobre las consecuencias irreversibles que tendría la destrucción de la mayoría de los enclaves con valor espacial.

A esta se añade la acuciante problemática del expolio del patrimonio natural y cultural, geológico incluido (meteoritos, minerales, fósiles, etc.). Tarea que tiene que ser abordada también desde un enfoque práctico por la Geoética (Martínez-Frías y Verde, 2010), desarrollando protocolos para su protección y tecnologías de las Ciencias de la Tierra que permitan su registro, inventariado y monitorización como acciones iniciales.

Desde hace varias décadas se ha asentado otro aspecto a considerar en relación con el auge en la exploración de otros planetas. Organismos científicos tan relevantes como las agencias espaciales estadounidense NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y europea ESA (*European Space Agency*) o el Centro de Astrobiología (CAB) del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, se vienen planteando los aspectos relativos a la alteración físico-química y las metodologías no invasivas para la investigación de determinados espacios planetarios (Martínez-Frías *et al.*, 2012). Podríamos aventurar que se ha llegado a un punto de encuentro, con diferentes matices y controversias, sobre la necesidad de establecer protocolos y procedimientos consensuados para intentar no repetir fuera de la Tierra los errores cometidos en el pasado en nuestro propio planeta. Por un lado se pretende analizar las implicaciones éticas de la investigación humana que tiene, quizás sin camino de vuelta, para los planetas o cuerpos celestes explorados. Por otro lado, se plantea

hasta qué punto afecta la interacción humana en los propios resultados de la investigación planetaria, en lo que puede considerarse como analogía macro física con el conocido principio de Incertidumbre de Heisemberg. ¿Hasta qué punto el propio estudio de un elemento no altera el elemento estudiado?

Otro aspecto que hay que introducir en el debate es el de la seguridad (Figura 2) en el ejercicio de las profesiones de las geociencias. Seguridad de quien ejerce y seguridad de quien puede verse afectado por el ejercicio de las geociencias. En el ámbito de geodesia, tiene relación el hecho de que exista una “Ley de señales geodésicas y geofísicas”, sin embargo, por su antigüedad, no contempla las relaciones con el medio ambiente y entre diversos organismos implicados en las responsabilidades éticas de la medida, investigación y gestión del medio. Si bien se trata de una legislación acorde con las necesidades de su tiempo, hay aspectos que no se han cumplido con el rigor previsto, aunque sí está resultando útil para atender a las modificaciones demandadas por particulares y otros organismos.



FIGURA 2. Erupción oceánica de 2012 en la isla del Hierro, España.  
Mejor imagen del año para NASA.

Si bien, el problema es complejo y transversal, un punto de partida interesante para una ética normativa o deóntica lo puede suponer los tres principios normativos (Méndez y Gómez, 2008) de Responsabilidad, Precaución y Autocontención que, con una formulación diferente, usaba Hans Jonas. Resulta evidente que, al menos entendido desde un enfoque ético, no se aplicarían específicamente a los individuos, sino también a las instituciones o a los gobiernos, algo fundamental para una Geoética que además, implicaría una responsabilidad intergeneracional.

#### 4. GEOÉTICA Y DOCENCIA.

La ética es necesaria en la formación de los investigadores, insustituible para el pensamiento crítico, imprescindible como la lógica para indagar sobre fenómenos trascendentes para la Humanidad (Gardner, 2005). La Geoética en un enfoque docente, debe relacionarse con el concepto de Antropoética, introducido por el filósofo Edgar Morin (Morin, 1999) creador del paradigma del “pensamiento complejo”. Se concibe de esta manera al hombre como “hombre ético”, es decir un hombre con obligaciones morales para con él, sus semejantes y la naturaleza. Se analizan los saberes fundamentales para una educación bajo esta premisa, que en un sentido amplio viene a significar una actitud y una forma de vida en donde el objetivo principal es humanizar a la sociedad y al hombre.

La experiencia en el desarrollo docente de las Geociencias en las materias mencionadas, aconseja la necesidad de contemplar aspectos Geoéticos en los programas formativos. Cada vez de manera más asidua se producen planteamientos éticos en los másteres y carreras de grado en Geociencias. Si bien desde algunas instituciones como AGID (*Association of Geoscientists for International Development*) e IAEGTH (*International Association for Geoethics*, <http://tierra.rediris.es/IA-GETH/>) se debate ya algunos elementos incipientes que permiten abrigar buenas esperanzas para un planteamiento riguroso en materias docentes, no se puede afirmar que en estos momentos exista un marco adecuado ni el bagaje necesario para definir mínimamente la docencia en Geoética de tal manera que se pueda materializar en asignaturas incorporadas a los programas formativos en la universidad. Queda todavía camino por recorrer para alcanzar ese estadio inicial. Esto no es óbice para ir poniendo encima de la mesa cuestiones tales como: ¿Cuáles son los comienzos que tiene que tener la docencia en Geoética? ¿Cuál es el ámbito del que se debe ocupar la Geoética en la docencia? ¿Qué carácter tiene que tener, debe ser obligatorio u optativo? ¿Qué repercusión puede tener en los universitarios? En lo referente a estos aspectos docentes de la Geoética, es necesario añadir la necesidad de plantear la inclusión en las enseñanzas de las relaciones entre participación de la población en la Ordenación del Territorio y los distintos enfoques de justicia, espacial y ambiental, en la localización de las actividades humanas (Bosque *et al.*, 2001).

Mención especial tiene la relación entre docencia, ética y matemática que los clásicos como Aristóteles nos transmitieron, dejando unas primeras y más que

interesantes reflexiones sobre la técnica en su *Ética a Nicómaco*: el inicio del conocimiento es la sorpresa o admiración (*thauma*) ante la conciencia de un problema. Esta tradición de enseñanza entre ética y lenguaje matemático debe ser recogida en las Geociencias y materializada también por la Geoética. Así se ha venido manifestando, si bien no de manera consciente ni formal, sí en la práctica, como demuestra el bagaje de aprendizaje transmitido por ilustres matemáticos (Riechmann, 2003), entre los que tiene un lugar especial José Antonio Malpica por su imborrable experiencia docente e investigadora, reflejada en una dilatada obra de trabajos científicos, muchos de los cuales relacionan implícita o explícitamente ética y Ciencias de la Tierra. Entre ellos, destacamos la aportación en modelos matemáticos avanzados para una mejor formulación de mapas de riesgo natural (Ahamdanech *et al.*, 2003).

## 5. CENTROAMÉRICA, UNA OPORTUNIDAD TAMBIÉN PARA LA GEOÉTICA.

Los autores del artículo representan un grupo multidisciplinar que ha mantenido y mantiene una profunda y estrecha relación profesional, docente y afectiva con Centroamérica. Una dilatada y rica experiencia de Cooperación con Centroamérica en investigación y docencia, de resultados tan esperanzadores, asenta la bases para plantear desde un inicio y de manera correcta una colaboración honesta en el espacio geoético.

La maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio que desde 2004, y a punto ya de abrirse su 4ª edición, viene desarrollándose conjuntamente entre la Universidad de Alcalá y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, ha supuesto un adecuado escenario en el que inconscientemente se han venido planteando aspectos geoéticos.

Las actividades de Ordenamiento y Gestión del Territorio forman parte de los otros diez proyectos de cooperación universitaria para el desarrollo que se vienen desarrollando por el Programa de Cooperación con Centroamérica de la Universidad de Alcalá (Figura 3). Esta cooperación, iniciada en 1988, se ha caracterizado por dos rasgos muy definidos: apoyar a las universidades centroamericanas en su fortalecimiento institucional como agentes de desarrollo de sus países a través de la actualización para la docencia y la investigación, y por promover la solidaridad de todos los sectores de la comunidad universitaria (profesores, técnicos y estudiantes) para apoyar los procesos de cambio en Centroamérica. Los proyectos, en consecuencia, han estado orientados al desarrollo de la autonomía de las universi-

dades centroamericanas, a la concentración temática sostenida en el tiempo de programas y planes, al seguimiento y evaluación permanentes, a la coordinación intra e interuniversitaria con una misma filosofía de cooperación solidaria y a un enfoque aplicado a la resolución de problemas sociales en la región centromericana.



FIGURA 3. Reunión de la Red Interuniversitaria de Cooperación para el Desarrollo de Centroamérica –Red GIRA- (<http://redgira.unanleon.edu.ni/>) en 2009.

Si bien las problemáticas geoéticas en su origen tienen un carácter principalmente ambiental, en la Ordenación del Territorio se relacionan además con las cuestiones humanas y de bienestar social, adquiriendo estos un peso mayor en lo referente a las repercusiones de la gestión de un territorio. Una cuestión general a plantear es la manera más adecuada y ética de realizar la Ordenación del Territorio: ¿es una tarea simplemente técnica?, un técnico/científico con herramientas de optimización (modelos de localización óptima, etc) puede definir dónde deben situarse las cosas en el territorio, o es más adecuado y más ético elaborar un sistema de participación ciudadana para definir la localización de las cosas y la formulación de planes de ordenación del territorio.

En no pocas ocasiones profesores y coordinadores en las materias del ordenamiento y gestión del territorio se han visto en la coyuntura de establecer prioridades en la investigación de espacios geográficos, sin el apoyo de una deontología convenientemente desarrollada. No se trata de un aspecto menor si se tiene en cuenta la repercusión que estas decisiones puedan producir en las áreas y comunidades, muchas de las cuales se encuentran en vías de desarrollo. Tenemos que preguntarnos si es más adecuado éticamente iniciar la investigación en lugares

desfavorecidos o por el contrario fortalecer la investigación ya iniciada de espacios-lugares en los que ya se han invertido recursos (Figura 4). La Geoética debe involucrarse también en la respuesta no sencilla a estas preguntas. Para responder a estas cuestiones, genéricamente formuladas como disyuntiva entre justicia espacial y justicia ambiental, se puede adoptar la aproximación recogida en las numerosas publicaciones sobre SIG participativos (Bosque y Gómez, 2011; Bosque y Rivas, 2011; Riechmann, 2004).



FIGURA 4. Erupción del volcán San Cristóbal, Nicaragua, (izda.) e impacto de meteorito en Honduras (dcha.) ambos en 2012.

## 6. CONCLUSIONES Y RETOS GLOBALES.

En el presente artículo se ha realizado una introducción sobre la Geoética, cuya inicial pretensión ha sido dar a conocer a esta nueva disciplina nacida como vínculo entre la ética y las Ciencias de la Tierra y Planetarias. Retos actuales sobre deontología en la profesión, consensos de buenas prácticas, relación con la sociedad y la política, protocolos de actuación o implementación docente, quedan planteados. Se ha expuesto un enfoque teórico y otro práctico no contradictorios, sino al contrario, necesariamente convergentes.

Se han aproximado aspectos geoéticos incipientes en ámbitos profesionales y docentes, enfatizando las relaciones éticas de las Geociencias en un contexto del Ordenamiento y la Gestión del Territorio. En referencia a esta materia en particular, se matiza la especial disyuntiva sobre la justicia espacial y justicia ambiental que afecta al Ordenamiento y la Gestión del Territorio.

Se ha hecho una reflexión especial sobre Centroamérica, como espacio

social, cultural y geográfico rico y dinámico, en base a los contactos con aspectos éticos experimentados por un grupo multidisciplinar de profesionales y docentes en esta región de la Tierra. Los autores concluyen que hay que establecer, y en su caso reforzar, los lazos interuniversitarios para iniciar un planteamiento docente sólido en materia de Geoética.

Finalmente, los autores consideran necesario contemplar y promover planteamientos geoéticos ante retos y problemáticas globales, de tal manera que el avance tecnológico beneficioso que experimentamos en las últimas décadas, suponga así mismo un fortalecimiento consistente y sostenible para la humanidad y las generaciones futuras.

### Referencias Bibliográficas.

- Ahamdanech, I., Alonso, C., Bosque Sendra, J., Malpica, J.A., Martín-Loeches, M., Pérez, E y Temiño, J. (2003). "Un procedimiento para la elaboración de mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, (2003), nº 23, p. 55-73.
- Bosque Sendra, Joaquín y Gómez Delgado, Monserrat (2011). "Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial para la Ordenación del territorio." En: M<sup>a</sup> Cristina Pineda de Carias y Bosque Sendra, J. (Edits.) *Actas. I Congreso internacional de Ordenamiento territorial y tecnologías de la información geográfica*. Servicio de publicaciones de la UAH, Alcalá de Henares, Madrid, 2011, 33 p. ISBN: 978-84-8138-920-3.
- Bosque Sendra, Joaquín y Rivas González, Fredy (2011). "Propuesta Metodológica para el Estudio de la Justicia Ambiental Mediante el Uso de Herramientas SIG". En: M<sup>a</sup> Cristina Pineda de Carias y Bosque Sendra, J. (Edits.) *Actas. I Congreso internacional de Ordenamiento territorial y tecnologías de la información geográfica*. Servicio de publicaciones de la UAH, Alcalá de Henares, Madrid, 2011, 13 p. ISBN: 978-84-8138-920-3.
- Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C. y Díaz Muñoz, M.A. (2001). "De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de Madrid". *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, t. CXXXVII-CXXXVIII, 2001-2002, pp. 89-114.

- Clifford, Geertz (1995). La interpretación de las culturas. Gedisa Barcelona Capítulo Descripción Densa, hacia una teoría interpretativa de la cultura. Pp. 101-126.
- Couceiro-Vidal, A. (2008). Enseñanza de la bioética y planes de estudios basados en competencias. Viguera Editores SL 2008. EDUC MED 2008; 11 (2): 69-76.
- Escobar, J., Sarmiento, Y. y Gordillo, M.P. (2008). “La enseñanza de la bioética general como aporte en la construcción de un pensamiento bioético en los maestros”. Revista Colombiana de Bioética, Vol. 3 Edición Especial - Noviembre de 2008.
- Gardner, Howard (2005). Las cinco mentes del futuro. Paidós, Barcelona, 2005.
- González, Ana Marta (2000). Ética y Moral. Origen de una diferencia conceptual y su trascendencia en el debate ético contemporáneo. Anuario Filosófico 2000, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra.
- González, J.L. y Martínez-Frías, J. (2011). “Geoética: un reto para la deontología profesional”. Tierra y Tecnología 39: 62-66.
- Herbert, Spencer (1992). “The principles of sociology”. En. Bohannan Paul and Marx Glazar. Antropología Lecturas. Madrid. Mac Graw Hill.
- Keyeux, G., Penchaszadeh, V. y Saada, A. (2004). Ética de la Investigación en Seres Humanos y Políticas de Salud Pública. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y Universidad Nacional de Colombia, ISBN: 958-701-745-5
- López López, Juan Carlos (2007). Teorías antropológicas. UNACH San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: UNACH PDF.
- Lovelock J. (2003) “The living Earth”. Nature 426, 769-770.

- Martínez-Frías, J. (2008). "Geoethics: proposal of a geosciences-oriented formal definition and future planetary perspectives". TIERRA: Spanish Thematic Network of Earth and Planetary Sciences. <http://tierra.rediris.es>. RedIris. TIERRA Documentos , 2008, 1.
- Martínez-Frías, J., González, J.L. & Rull, F. (2012) "Geoethics and Deontology. From Fundamentals to applications in Planetary Protection". Episodes 34-4: 257-262.
- Martínez-Frías, J. y Pérez Verde, A. (2010) "Geoética, Meteoritos y Exploración Planetaria". La Tribuna. Astronomía 128: 21.
- Mellado Rivera, Salvador (2004). Universidades y docencia en bioética. Edit. Club Universitario, ISBN: 978-84-8454-400-5.
- Méndez Pérez, F.J. y Gómez Martínez, F.J. (2008). Educación Ético-Cívica. Proyecto Ánfora, de Oxford EDUCACIÓN, 2008.
- Morin, Edgar (1999). Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. Publicado en octubre de 1999 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - 7 place de Fontenoy - 75352 París 07 SP – Francia.
- Nemeč, V. (1992). "Ethical Geology in the Education Process". 29th International Geological Congress, Kyoto, Japan, 24 August-3 September 1992. section II-24-1 «New ideas and techniques in geological education», v. 3, no. 3. Abstract/Paper 06.
- Nemeč, V. (2012). "Geoethics and Sustainability". In: Proceedings of the 2nd World Sustain. Forum 1-30 November 2012; Sciforum Electronic Conferences Series, 2012. Nikitina, N. (2012). "Geoethics: theory, principles, problems". Monograph. M.: LLC Geoinformmark, 2012. 155 pp. ISBN 978-5-98877-049- 7?
- Potter, Van Rensselaer (1970). Bioethics: The science of survival. Perspectives in Biology and Medicine, Wisconsin University.

- 
- Riechmann, Jorge (2003). *Tiempo para la Vida. La crisis ecológica en su dimensión temporal* Ediciones del Genal, Málaga, ISBN: 84-932253-3-9.
  - Riechmann, Jorge (2004). “Un apartheid planetario. Ecología, globalización y desigualdad socioeconómica”. Conferencia inaugural del VI Congreso Vasco de Sociología pronunciada en Bilbao el 26 de febrero de 2004.
  - Simondon, Gilbert (1989). *L'individuation psychique et collective*, París, Aubier, 1989.
  - Swatz, M.J., Turnet V.W. and Tuden A. (1994). “Antropología Política. Una introducción”. *Alteridades sobre el conocimiento antropológico*, N° 8, UAM-Iztapalapa, México. Pp. 101-126.
  - Vasconcelos, L. (2012). “Geoethics”. 1st Geological Congress of Mozambique, Maputo, Mozambique, 21-23 November, 2012, 1-11.

# *Formación en ciencia y tecnologías de la información geográfica para el ordenamiento y la gestión territorial en honduras*

María Cristina Pineda de Carías y  
Vilma Lorena Ochoa

## **Resumen:**

La formación en el campo de la ciencia y las tecnologías de la información geográfica particularmente en cartografía, geodesia, fotogrametría, infraestructura de datos espaciales hasta llegar al ordenamiento y la gestión del territorio ha sido una de las principales preocupaciones y tareas de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Por medio de un programa de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio realizado con la colaboración internacional del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, España desde el 2005, juntos hemos venido desarrollando varias promociones que empiezan a incidir positivamente en el conocimiento y manejo de tecnologías tales como los sistemas de información geográfica, percepción remota y sistemas de geoposicionamiento global para su aplicación en los procesos de ordenamiento territorial de Honduras y la región centroamericana. Juntos también trabajamos para el establecimiento de una carrera de licenciatura, con salidas de técnico en sistemas de información geográfica o en catastro. Teniendo como referente el uso de la información geográfica y el ordenamiento territorial en Honduras en este documento analizamos, algunas de las experiencias académicas del desarrollo del Plan de Estudios de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, las principales líneas de investigación y vinculación seguidas por sus profesores y estudiantes y el campo profesional de sus graduados. Complementamos esta visión con las experiencias de formación general optativa en el campo de las tecnologías de la información geográfica para todas las carreras universitarias de grado y, el estado de la propuesta de carrera de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica en el grado de licenciatura. Señalamos el importante papel de la cooperación académica, científica y técnica

---

internacional, regional y nacional para el desarrollo de este tipo de programas de formación.

**Palabras clave:** Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica; Ordenamiento Territorial; Formación Universitaria.

**Abstract:**

Training in the field of science and geographic information technologies particularly in cartography, geodesy, photogrammetry, spatial data infrastructure up to the organization and management of the territory has been one of the main concerns and tasks of the Space Science Faculty of the National Autonomous University of Honduras. Through a master's program in Planning and Land Management realized with international collaboration of the Department of Geography, University of Alcalá, Spain since 2005, we have been developing together various promotions that are beginning to have a positive impact on knowledge and management of technologies such as geographic information systems, remote sensing and global positional systems for application in land management processes of Honduras and Central America. Together we also work for the establishment of an undergraduate career, with technical outputs in GIS and cadastre. Taking as reference the use of geographical information and land management in Honduras in this paper we analyze some of the academic experiences of curriculum development of the Master of Planning and Land Management, the main lines of research and outreach followed by teachers and students and the professional field of their graduates. We complement this vision with the general education elective training experiences in the field of geographic information technologies to all university undergraduate careers and, the status of the proposed Science and Geographic Information Technologies undergraduate career. We pointed out the important role of international, regional and national academic, scientific and technical cooperation for the development of this type of training Programs.

**Keywords:** Science and Geographic Information Technologies; Planning and Land Management; university education.

---

**María Cristina Pineda de Carías** (mcpinedacarias@gmail.com); **Vilma Lorena Ochoa** (vl\_ochoa@yahoo.com.mx). Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

## 1. ANTECEDENTES: PRIMERAS INICIATIVAS

La formación en el campo de la ciencia y las tecnologías de la información geográfica particularmente en cartografía, geodesia, fotogrametría, infraestructura de datos espaciales hasta llegar al ordenamiento y la gestión del territorio ha sido una de las principales preocupaciones y tareas de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

En el año 2005, el Consejo de Educación Superior de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras aprobó la creación y funcionamiento de un programa de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio (Laboratorio Percepción Remota - OACS/UNAH, 2005). El Plan de Estudios de esta Carrera fue elaborado por profesores de la Universidad en colaboración con profesionales de la Unidad Coordinadora de Proyectos de la Secretaría de Gobernación y Justicia de Honduras, dependencia en la que estaba en ese entonces adscrita la Dirección de Ordenamiento Territorial. Participaron también en este equipo, docentes del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, España, con quienes desde esas fechas se ha venido trabajando de manera conjunta en la formación de varias promociones que empiezan a incidir positivamente en los procesos de ordenamiento territorial de Honduras y la región centroamericana.

En este artículo se describe como el desarrollo del programa de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio se ha convertido en un proyecto de cooperación para el desarrollo, con profesionales que se desempeñan conforme al perfil profesional ocupacional propuesto. Que particularmente en su desempeño en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, algunos de estos profesionales están contribuyendo de manera muy significativa en los procesos de formación de estudiantes de todas las carreras universitarias, pero también innovando el desarrollo curricular con la elaboración de una propuesta de formación en Licenciatura en Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica con salidas de Técnico Universitario en Sistemas de Información Geográfica con énfasis en Catastro. Se destaca la importancia de la cooperación internacional para el desarrollo de este nuevo campo en Honduras.

## 2. MOGT: PROYECTO DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO

Objetivos del Programa de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Terri-

torio (MOGT) han sido, de una parte, contribuir a formar personal calificado de alto nivel, comprometido socialmente para desempeñarse con eficacia y eficiencia en la dirección de los procesos de ordenamiento territorial integrado iniciados en Honduras. De otra parte, con el desarrollo de esta carrera se ha buscado fortalecer la infraestructura básica para el funcionamiento de un Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica, como un modelo de centro especializado para desarrollar actividades académicas y científicas para beneficio de estudiantes, docentes, investigadores del país y la región centroamericana. De esta manera, condiciones fueron creadas para el conocimiento y manejo de tecnologías tales como los sistemas de información geográfica, percepción remota y sistemas de geoposicionamiento global; el laboratorio ha sido dotado con computadoras, programas informáticos para el uso y manejo de datos geoespaciales, material bibliográfico en diferentes formatos, así como de datos, imágenes y mapas regionales, nacionales, departamentales y municipales de diferentes escalas.

El Plan de Estudios de la MOGT comprende diecinueve asignaturas distribuidas en seis ciclos. En la Tabla 1 se presenta el detalle de los ciclos y las asignaturas. Los primeros cinco ciclos de este Programa de Maestría están dedicados a: Geografía y Fundamentos de Ordenamiento Territorial, Geodesia y Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota, Ordenamiento Territorial. El último ciclo, comprende dos modalidades, de una parte incluye una Práctica Profesional aplicada al Ordenamiento Territorial. De otra parte comprende un Proyecto de Investigación, que posteriormente se convierte en la tesis que presentan los estudiantes como requisito de graduación. Esta última característica hace que este programa, sea un híbrido, entre un programa maestría académico y un programa de maestría profesionalizante de posgrado, como lo contemplan las Normas Académicas de Educación Superior de Honduras (Consejo de Educación Superior, 2004) y la común aceptación en el ámbito regional centroamericano.

TABLA 1. detalle de asignaturas por ciclo de la maestría en ordenamiento y gestión del territorio de la unah.

No.	CODIGO	CICLO / ASIGNATURA	UNIDADES VALORATIVAS
CICLO 1: GEOGRAFIA Y FUNDAMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
1	CTE-501	Geografía y Ordenación del Territorio	1
2	CTE-502	Fundamentos de Ordenamiento Territorial	1
CICLO 2: GEODESIA Y CARTOGRAFIA			
3	CTE-511	Fundamentos de Geodesia y Cartografía	2
4	CTE-512	Fotogrametría y Sistemas de Geoposicionamiento Global	2
5	CTE-513	Mapas: Diseño, Composición, Trazado e Impresión	3
6	CTE-514	Atlas Electrónicos y Publicación de Mapas en la Web	3
CICLO 3: SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA			
7	CTE-521	Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica	2
8	CTE-522	Sistema de Información Geográfica Máster	2
9	CTE-523	Sistema de Información Geográfica Doctor	2
10	CTE-524	Programación aplicada a entorno de Sistemas de Información Geográfica	3
CICLO 4: PERCEPCION REMOTA			
11	CTE-531	Principios Físicos de Percepción Remota	2
12	CTE-532	Plataformas, Sensores y Teledetección Hiperespectral	2
13	CTE-533	Interpretación Visual de Imágenes	2
14	CTE-534	Procesamiento e Interpretación Digital de Imágenes	3
CICLO 5: ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
15	CTE-541	Administración del Territorio Aplicaciones	3
16	CTE-542	Planificación Territorial Aplicaciones	3
17	CTE-543	Gestión Territorial Aplicaciones	3
CICLO 6: PRACTICA PROFESIONAL			
18	CTE-600	Práctica Profesional aplicada al Ordenamiento Territorial	4
19	CTE-700	Proyecto de Investigación (Tesis de Maestría)	8
TOTAL			51

FUENTE: Plan de Estudios de la MOGT. Elaboración propia.

Desde el año 2005 hasta el 2013 se han desarrollado tres promociones de la MOGT, llamadas respectivamente: MOGT1, MOGT2 y MOGT3. El Programa de la MOGT es codirigido por profesores del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (DCTIG) de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES), y por Profesores del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, España. Derivado de esta cooperación con la Universidad de Alcalá, se han incorporado al cuerpo docente, profesores de otras universidades de España, de Argentina, Chile, Costa Rica, México, Nicaragua, Puerto Rico, Venezuela, por lo que la MOGT como programa de posgrado, se ha convertido en un proyecto de cooperación para el desarrollo. En esta condición, forma parte del Programa de Cooperación con Centroamérica de la Universidad de Alcalá.

### 3. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y PERFIL OCUPACIONAL DE GRADUADOS

Utilizando los conocimientos, metodologías y técnicas de investigación aprendidas a lo largo de los diferentes ciclos de estudio de la MOGT, los estudiantes, bajo la dirección de un profesor tutor resuelven un problema específico propio de la Ciencia y las Tecnologías de la Información Geográfica aplicadas al Ordenamiento Territorial. A partir de una investigación bibliográfica realizada en los archivos y documentos de la Coordinación Académica de la MOGT, con este trabajo hemos podido identificar las principales tendencias de investigación de los graduados; y como el perfil profesional contenido en el Plan de Estudios se corresponde con el campo de trabajo de los graduados.

#### 3.1 Líneas de Investigación

Dentro del marco del Plan de Estudios y las políticas de investigación de la MOGT, la Coordinación Académica de la carrera ha orientado los temas de tesis de los estudiantes dentro de líneas de investigación claramente definidas. Nuestro estudio de la clasificación de los temas de tesis por líneas de investigación hasta 2013, ha dado los siguientes resultados:

- a) Recursos Naturales. Incluye la gestión de los recursos naturales, relacionada con las áreas protegidas, producción y conservación de los recursos hídricos y bosques: 35%.
- b) Zonificación y uso del suelo. Incluye Ordenamiento territorial orientado a la zonificación del territorio, el uso del suelo (actual y potencial): 26%.
- c) Zonificación Urbana. Incluye zonificación urbana, centros históricos y sitios arqueológicos: 13%.
- d) Cartografía. Incluye Cartografía y gestión de riesgos, orientada a incendios, inundaciones, deslizamientos y otros fenómenos naturales o antrópicos: 13%.
- e) Geodesia. Incluye Redes Geodésicas: 9%.

- f) Regionalización. Incluye regionalización nacional, esquemas de ordenamiento territorial: 4%.

FIGURA 1. Líneas de Investigación estudiantes MOGT.



Fuente: Coordinación Académica MOGT. Elaboración propia.

Estos resultados revelan la dominancia de las investigaciones sobre la gestión de los recursos naturales y el ordenamiento territorial orientado a la zonificación y el uso del suelo.

### 3.2 Perfil ocupacional de los graduados

De acuerdo con el Plan de Estudios vigente, el graduado de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio es un profesional con una formación especializada en Ciencia y Tecnología Espacial Básica, con conocimientos, que interrelacionan la teoría con la práctica y la formación académica con la realidad social en Geografía, Geodesia, Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota y Ordenación del Territorio, que sabe aplicarlos de manera autocrítica y propositiva a situaciones administrativas, de gestión y ordenamiento del territorio; que posee además una formación práctica para el manejo y uso de equipos, programas y paquetes de computación para la adquisición, procesamiento, análisis y gestión de datos espaciales, para la elaboración y el desarrollo de planes maestros, proyectos especializados, mapas básicos, catastrales, temáticos y de zonificación en escalas local, municipal, regional y nacional para el ordenamiento integral del

territorio.

El estudio que hemos realizado para comparar el perfil ocupacional y las oportunidades profesionales de los graduados de la MOGT con los puestos ocupados por los graduados de las tres primeras promociones hasta 2013, nos ha revelado los resultados que presentamos en la Tabla 2.

TABLA 2. PERFIL PROFESIONAL OCUPACIONAL Y DE DESEMPEÑO GRADUADOS DE LA MOGT POR PROMOCIONES 2013.

PROMOCIÓN	PERFIL PROFESIONAL Y OPORTUNIDADES PROFESIONALES	OCUPACIONES Y DESEMPEÑO DE GRADUADOS DE LA MOGT
MOGT1	Gestor de proyectos en los que se requiera introducir innovaciones a la forma de plantear soluciones a problemas, y con un planteamiento moderno y competitivo.	GIZ Programa RED para Centroamérica y República dominicana.
	Consultor del Sector Privado. Especialista en procesamiento, interpretación y análisis de datos geoespaciales.	INGTELSIG
	Profesor Universitario. Investigador.	DCTIG, FACES/UNAH
	Gerencia Administración Municipal.	Gerencia de Catastro AMDC
MOGT2	Profesor Universitario. Investigador	Centro de Sistema de Información Geográfica de Facultad Ciencias Sociales, UNAN, Nicaragua
	Administrador de Proyectos. Especialista en procesamiento y análisis de datos geoespaciales.	Comisión Permanente de Contingencias (COPECO)
	Profesor Universitario. Investigador.	DCTIG, FACES/UNAH
	Consultor de Ciencia y Tecnología	Departamento Edificio Públicos, Secretaría Obras Públicas, Transporte y Vivienda
	Especialista en procesamiento, interpretación y análisis de datos geoespaciales.	Comisión Especial de Demarcación, Secretaría Relaciones Exteriores
	Profesor Universitario. Investigador.	Laboratorio SIG, Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR)
MOGT3	Profesor Universitario. Investigador.	Departamento Biología, UNAH
	Consultor del Sector Privado. Especialista en procesamiento, interpretación y análisis de datos geoespaciales.	Departamento Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, FACES/UNAH
	Profesor Universitario. Investigador.	INYPHSA
	Director General en la Administración Pública	DCTIG, FACES/UNAH Dirección General de Catastro y Geografía, Instituto de la Propiedad.

FUENTE: Archivos Coordinación MOGT (Coordinación Académica MOGT, 2005 - 2013).  
Elaboración propia.

Estos resultados revelan que todos los graduados de la MOGT se desempeñan dentro de su campo profesional, ocupando puestos acordes a su formación en la administración pública y municipal, empresa privada, en organismos y empresas nacionales e internacionales, y en la docencia universitaria.

En la docencia universitaria, los graduados de la MOGT se encuentran realizando investigación y ejerciendo la docencia, a nivel de grado y posgrado. Los campos en que se desempeñan son el Ordenamiento Territorial, desarrollo de las TIG y sus aplicaciones, gestión de riesgos, patrimonio arqueológico, monitoreo de desastres naturales y antropogénicos, aplicaciones forestales, manejo de recursos naturales y áreas silvestres, y ecología de paisaje.

En la administración pública y municipal, los graduados laboran principalmente en los temas de catastro municipal y nacional, la demarcación de las fronteras, y con el análisis de datos geoespaciales en proyectos de gestión de riesgos.

En la empresa privada los graduados de la MOGT, han sido responsables de la coordinación o participación en procesos de ordenamiento territorial, sea a nivel de planificación o a través de los diagnósticos sectoriales mediante la aplicación de las TIG.

Finalmente, a nivel de organismos internacionales, participan como especialista en el procesamiento, interpretación y análisis de datos geoespaciales, en procesos de la regionalización y zonificación, dirigiendo procesos de ordenamiento y fortalecimiento de capacidades y toma de decisiones del sector forestal a nivel centroamericano.

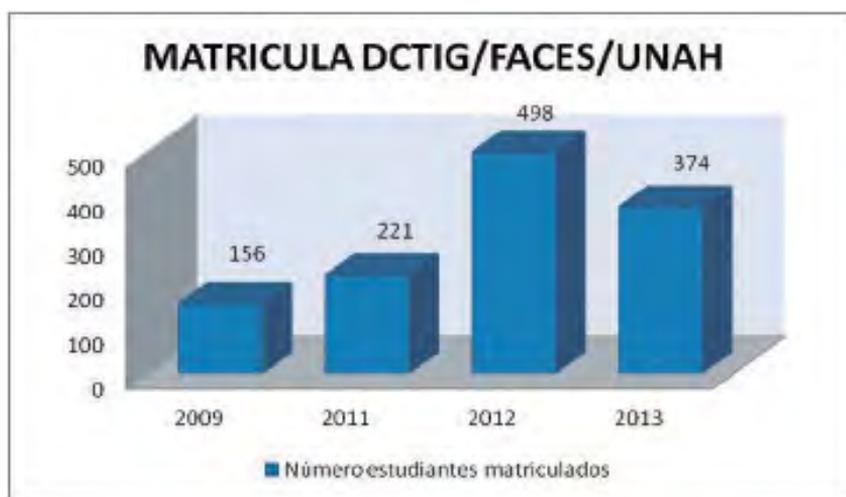
#### **4. DCTIG: FORMACIÓN GENERAL**

En la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, se ha llegado a conformar un núcleo de docentes graduados de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, que ha permitido organizar y poner en funcionamiento el Departamento de Ciencia y Tecnologías de Información Geográfica. Las actividades académicas de estos profesores incluyeron la docencia, la investigación y la vinculación de la universidad con la sociedad.

Para contribuir a la formación general e integral de los estudiantes universitarios de todas las carreras de la UNAH, el Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica desde el año 2009 propuso la oferta de tres asignaturas optativas: 1) CTE-111 Introducción a la Percepción Remota; 2) CTE-112 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica; 3) CTE-113 Introducción a los Sistemas de Geoposicionamiento Global. La aceptación de los estudiantes

de estas asignaturas ha sido creciente. En la Figura 1 se presenta un gráfico que muestra la matrícula desde el año de su creación, hasta el segundo período académico de 2013. Estas asignaturas tienen 3 unidades valorativas, y se desarrollan de forma presencial apoyada en una plataforma virtual a la que los estudiantes pueden acceder por Internet, y contempla clases teóricas y actividades prácticas realizadas en el Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica de grado.

FIGURA 2. Matrícula asignaturas generales CTE111, CTE112 y CTE113.  
Período: 2009 a Julio-2013.



Fuente: Estadísticas matrícula DCTIG (Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, 2009 - 2013). Elaboración propia.

## 5. UNA CARRERA DE GRADO EN CTIG NUEVA

La Universidad Nacional Autónoma de Honduras es una institución autónoma del Estado que goza de la exclusividad de organizar, dirigir y desarrollar la educación superior y profesional del país. En sus procesos de reforma reciente, la UNAH ha aprobado un Modelo Educativo (Rectoría, Vicerrectoría Académica, Comité Técnico de Apoyo al Desarrollo Curricular, 2009) que responde a ideales políticos que simbolizan los intereses de Honduras como nación: innovación, creatividad, respuesta a la demanda de cambio, necesidad de transformación hacia la modernización y democratización. El modelo se conceptúa como:

- La forma totalizadora en que una comunidad educativa histórica y culturalmente situada, siente, piensa, organiza su quehacer haciendo realidad el hecho educativo.
- Es el instrumento de trabajo, que permite una visión sistemática y coherente de los procesos educativos que surgen en la comunidad.
- Permite orienta la práctica, entender la acción, y reorientarla en una dinámica permanente de teoría-práctica-teoría.

Principios básicos que sustentan el Modelo Educativo de la UNAH son: la calidad, pertinencia, equidad, interdisciplinariedad, internacionalización. Su perspectiva pedagógica ha tomado como base: la Teoría Constructivista, la Teoría Crítico – Reflexiva y la Teoría Humanista.

Con este marco institucional, y orientados por el Modelo Educativo, la Facultad de Ciencias Espaciales ha priorizado el proceso de desarrollo curricular en los campos que le son propios, y dentro del que se ubica el de la Ciencia y las Tecnologías de la Información Geográfica. El proceso de desarrollo curricular es un proceso de construcción dinámico y permanente en el que se conjugan las diversas relaciones entre los actores universitarios, metodologías, estrategias, recursos, medio y contenidos disciplinarios orientados a la formación de profesionales capaces de contribuir a transformar la realidad social hondureña, a través de sus aportes a la superación de los problemas prioritarios que el país enfrenta en la actualidad y que enfrentará en el futuro.

Siguiendo el Modelo Educativo de la UNAH, y el proceso de desarrollo curricular planteado por la FACES, el Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, ha planteado una propuesta de creación y puesta en funcionamiento de una Licenciatura en Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, con una opción de salida temprana de Técnico Universitario en Sistemas de Información Geográfica con énfasis en Catastro (Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, 2013). Este proyecto ha sido el resultado de una investigación educativa. En la Figura 2 se presenta un diagrama del proceso de desarrollo curricular.

FIGURA 3. Modelo Educativo UNAH. Proceso desarrollo curricular LCTIG.



El perfil del profesional de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica incluye, entre otras, las siguientes funciones, tareas y/o responsabilidades:

- Generar, editar y analizar datos geoespaciales.
- Diseño y administración de bases de datos espaciales.
- Diseño, desarrollo y administración de sistemas de información geográfica.
- Análisis e interpretación de productos derivados de sensores remotos para la generación de geoinformación.
- Generación y manejo de modelos digitales de terreno.
- Planificación y ejecución de trabajos de campo para la adquisición y actualización de datos geoespaciales.
- Levantamientos topográficos mediante tecnologías de posicionamiento global.
- Generación de productos cartográficos.
- Generación de aplicaciones Geoinformáticas.

- Diseño de proyecto de desarrollo para solución de problemas de tipo geográfico.
- Apoyo técnico profesional en la elaboración de sistemas automatizados para planes de ordenamiento territorial, evaluación y gestión de riesgos naturales, manejo de áreas protegidas y recursos naturales.

El proyecto de creación de la carrera de Licenciatura en Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica está en proceso de aprobación de las instancias correspondientes en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

## 6. CONCLUSIONES

- El campo de la ciencia y las tecnologías de la información geográfica se ha establecido en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras a nivel de grado y posgrado.
- A nivel de grado, la educación general incrementa su demanda para servicio de todas las carreras universitarias. Hay demanda de una carrera en el campo de la Ciencia y las Tecnologías de la Información Geográfica con salidas tempranas a nivel de técnico universitario.
- En la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, sus egresados empiezan a tener impacto en instituciones educativas de nivel superior, gubernamental y municipal, y en empresas privadas, a nivel nacional e internacional.
- Se reconoce el importante papel de la cooperación académica, científica y técnica nacional e internacional para el desarrollo de programas de formación universitaria de grado y posgrado

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consejo de Educación Superior. (2004). *Normas Académicas del Nivel de Educación Superior*. Tegucigalpa: Dirección Educación Superior, UNAH.
- Coordinación Académica MOGT. (1 - 31 de Enero a Diciembre de 2005 - 2013). Informes, Documentos, Memorias y Correspondencia. *Documentos Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio*. Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras: Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio.

- Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica. (1 - 31 de Enero - Diciembre de 2009 - 2013). Documentos, Informes, Memorias, Correspondencia. *Documento*. Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras: Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, FACES/UNAH.
- Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica. (2013). *Propuesta de Plan de Estudios de la Carrera de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica en el Grado de Licenciatura*. Tegucigalpa: Departamento Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, FACES/UNAH.
- Laboratorio Percepción Remota - OACS/UNAH. (2005). *Plan de Estudios de la Carrera de Ordenamiento y Gestión del Territorio en el Grado de Maestría*. Tegucigalpa: OACS/UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- Rectoría, Vicerrectoría Académica, Comité Técnico de Apoyo al Desarrollo Curricular. (2009). *El Modelo Educativo de la UNAH*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.



# RECURSOS NATURALES, AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO



# *Aplicación de técnicas estadísticas y geoestadísticas para elaborar cartografía de precipitaciones. Departamentos del occidente de Nicaragua*

Adalila Molina Membreño y Ana de Jesús Reyes Zavala

## **Resumen:**

Una de las grandes necesidades que se presenta en Nicaragua en los últimos años, es la de estudios, donde intervengan variables climáticas, sobre uso del suelo para las diferentes actividades que en él se practica, en La Región del Pacífico de Nicaragua, interesa hacer este tipo de análisis, ya que es aquí, donde se ubica la mayor concentración poblacional del territorio nacional, por ésta Región atraviesa la cordillera volcánica, lo que ayuda a tener un suelo muy fértil y con grandes extensiones de planicie, utilizada para el cultivo de la Caña de azúcar, maní, ajonjolí, granos básicos, frutas, etc. Por lo que se hace necesario realizar estudios, donde intervengan las variables climáticas; precipitación y temperatura y analizar el comportamiento continuo de éstas en el territorio. El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), proporcionó la información de las variable precipitación y temperatura mensual y anual para el periodo de 1954 al 2009, con las observaciones discretas de 28 estaciones (precipitación) y de 3 estaciones para medir temperatura (muy pocas para hacer interpolación), localizadas en diferentes puntos de los Departamentos de Chinandega, León y Managua, ubicados en el occidente de Nicaragua, la cantidad de observatorios proporcionados es poco densa y después de homogenizar los datos y completar donde se no se tiene información, se quedan reducida a 18 estaciones (Precipitación) y el periodo 1984-2005. En este trabajo aplicamos; los Métodos Estadísticos que permiten obtener un análisis de la relación entre las variables climáticas y otras variables, mediante los Modelos de Regresión, analizamos la precipitación, como variable dependiente y las variables independientes; latitud, longitud y elevación (usando las curvas de nivel) y un análisis de Serie Temporales para una estación meteorológica ubicada en Chinandega y analizar

el comportamiento de la variable precipitación a lo largo del tiempo. Se realizaron diferentes cartografías continuas de precipitación promedio mensual para el periodo 1984-2005, aplicando el método de interpolación IDW y se analiza la calidad de las diferentes cartografías continuas. Palabras clave: Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica; Ordenamiento Territorial; Formación Universitaria.

**Palabras claves:** Métodos Estadísticos, Geo estadísticos, métodos de interpolación, cartografía, Modelos Lineales.

### **Abstract:**

One of the great needs that occurs in Nicaragua in recent years, is the study, which involved climatic, land use for different activities it is practiced in the Pacific Region of Nicaragua, interested in doing this type of analysis, as it is here, where there is the greatest concentration of population of the country, for this region through the volcanic mountain range, which helps to have a very fertile soil and large expanses of plain, used for the cultivation of sugar cane, peanuts, sesame seeds, grains, fruits, etc.. As necessary studies, which involved the climatic variables, precipitation and temperature, and continuously analyzing the behavior of these in the territory. The Nicaraguan Institute of Territorial Studies (INETER) provided information of varying precipitation and monthly and annual temperature for the period 1954 to 2009, with the discrete observations of 28 stations (precipitation) and 3 stations to measure temperature (very few for interpolation), located in different parts of the departments of Chinandega, León and Managua, located in western Nicaragua, the number of observatories provided is sparse and after homogenization and complete data where no information is available, it are reduced to 18 stations (precipitation) and the period 1984-2005. In this paper we apply, the Statistical Methods that allow a discussion of the relationship between climatic variables and other variables, using Regression Models, analyze the precipitation, as the dependent variable and the independent variables, latitude, longitude and elevation (using the contour) and a Temporary Serial analysis for a meteorological station located in Chinandega and analyze the behavior of the variable precipitation over time. There have been various continuous mappings average monthly precipitation for the period 1984-2005, using the IDW interpolation method and analyze the quality of the different continuous maps.

**Keywords:** Statistical Methods, IDW interpolation methods, mapping, Linear Models.

---

**Adalila Molina Membreño** (lilam7@gmail.com); **Ana de Jesús Reyes Zavala** (anaj\_58@yahoo.es). CSIG. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León.

## INTRODUCCIÓN

La demanda de cartografías climáticas por parte de múltiples disciplinas encuentra una serie de problemas relacionados con la cobertura espacial de los datos. La deficiente cobertura espacial de la información climática, relacionada con el carácter puntual de los datos y la escasa densidad de observatorios existentes es una limitación importante, en ocasiones determinante, para la puesta en marcha de investigaciones o la toma de decisiones ligadas a la ordenación agrícola y ambiental (Serrano y Saz, 2002).

La comunidad científica ha venido dándole un interés primordial a la modelización geo estadística de fenómenos, construyendo nuevas estructuras espacio-temporal, válida para un mayor tratamiento en muchas disciplinas como; medioambiente, epidemiología, geología, medicina o geofísica en el estudio de la variabilidad espacial y espacio temporal. Gran parte de este esfuerzo viene encaminado en la búsqueda de nuevas herramientas que permiten estudiar fenómenos donde se incluya interacciones entre el espacio y tiempo para estudiar la variabilidad de un fenómeno de una forma separada (Alvarado, 2011).

Nicaragua por su ubicación en el continente y sus características físico geográficas, es frecuentemente afectada por diferentes fenómenos meteorológicos extremos y climáticos, los cuales causan trastornos y daños a la población, al igual que a la economía del país, es catalogado como un país potencialmente agrícola (cerca del 21% del total del área nacional tiene vocación agropecuaria), en donde la mayor parte de su economía está basada en la agricultura, la cual participa en un 33% del total del Producto Interno Bruto, de ella depende el desarrollo económico que el país necesita para satisfacer las necesidades básicas de su población. Sin embargo, la productividad agrícola está en dependencia del comportamiento del régimen de precipitación. Se han hecho estudios para elaborar y analizar las cartografías a nivel nacional por ejemplo sobre el Tema la Sequía. (INIDE Atlas Cenagro 2001).

La Región del Pacífico de Nicaragua, lugar del estudio, se ubican los Dptos. de Chinandega, León y Managua en los cuales está la mayor concentración poblacional del territorio nacional, por esta Región atraviesa la cordillera volcánica, lo que ayuda a tener un suelo muy fértil y con grandes extensiones de planicie, utilizada para el cultivo de la Caña de azúcar, maní, ajonjolí, granos básicos,

frutas, etc. Por lo que se hace necesario realizar estudios, donde intervengan las variables climáticas; precipitación y temperatura, para analizar el comportamiento continuo de éstas en el territorio. El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), **proporcionó la información de la variable precipitación promedio anual y temperatura** promedio mensual para el periodo de 1954 al 2009.

El objetivo de esta investigación, es aplicar Técnicas Estadísticas y de Estadística espaciales para analizar y comparar cartografías sobre el comportamiento de la precipitación promedio mensual, a partir de la información obtenida de las 18 estaciones pluviométricas ubicadas en los departamentos de Chinandega, León y Managua.

Utilizando el software Estadístico SPSS, construimos los modelos de Regresión Lineal Simple y Múltiple y se busca un modelo de mejor ajuste, para la variable dependiente Precipitación y como independientes; elevación, latitud y longitud. Se realizó el análisis de Series Temporales, para analizar el comportamiento de la precipitación promedio mensual a lo largo del periodo 1984-2005 solamente para un observatorio, localizado en el Municipio de Chinandega, por ser este el que contiene la información más completa.

Se realizó el análisis Geo estadístico con el uso del software ArcGIS.10 como herramienta de los Sistemas de Información Geográfico (SIG), para analizar y comparar las cartografías temáticas, sobre el comportamiento continuo en el espacio geográfico de la precipitación promedio mensual registrada en el periodo 1984-2005, a partir de los 18 puntos discretos en el territorio, por medio del método de Interpolación; IDW, obteniendo información de forma espacial en lugares donde no se tiene información sobre la precipitación. Dada la poca cantidad de información en los observatorios con que se cuenta para medir la precipitación en el territorio nacional, es que se hace necesaria la aplicación de estas técnicas geo estadísticas.

## 2. AREA DE ESTUDIO

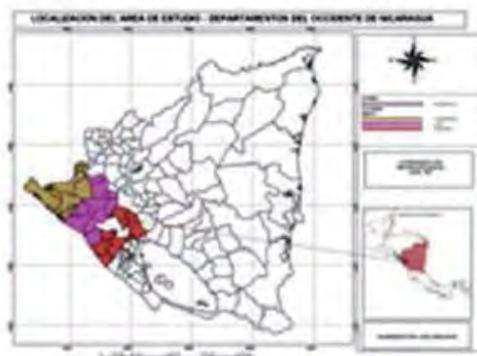


Figura 1: Mapa de Localización del área de estudio

La República de Nicaragua tiene una extensión de 130,370 km<sup>2</sup>, de los cuales el 92.0% es tierra y el restante 8.0% es agua. Es el país con mayor extensión territorial de Centroamérica y está ubicado en el centro geográfico del istmo. El 42.8% de la tierra tiene vocación agrícola, mientras el 25.9% es forestal. El país se divide en 15 departamentos y dos regiones autónomas, las que a su vez comprenden 153 municipios. Tiene fronteras con Honduras y Costa Rica, así como costas en el océano Pacífico y en el mar Caribe (BCIE, BID y Banco Mundial, 2011).

Nicaragua se encuentra la mayor parte del año, bajo la influencia de los vientos Alisios, provenientes de los anticiclones subtropicales de las Azores y Bermudas. Estos vientos son constantes, de poca variabilidad y tienen la particularidad de arrastrar masas de aire húmedo del mar Caribe hacia el interior de Nicaragua. Este viento cálido y húmedo penetra por la vertiente del Atlántico hacia la vertiente del Pacífico, ejerciendo un efecto importante sobre el estado del tiempo y el clima del país. Las temperaturas medias anuales presentan variaciones relativamente pequeñas, mientras que los valores extremos diarios muestran oscilaciones considerables. La variabilidad estacional del régimen térmico, se aprecia en las vertientes de los principales sistemas montañosos del país, en particular entre los 200 y 900 metros sobre el nivel medio del mar (INETER (2000)).

El Departamento de Chinandega, se caracteriza por presentar una fisiografía conformada por planicies, lomeríos, serranías, conos volcánicos y zonas costeras de estuarios. Las mayores elevaciones las constituyen el Volcán San Cristóbal (1,745msnm), el Casita (1,405msnm) y el Chonco (1,105msnm), presentando pen-

dientes muy escarpadas en las faldas (mayor de 50%) y ondulada a fuertemente ondulada en el pie de monte (15 a 50%). El clima del departamento de Chinandega se caracteriza por ser cálido en las zonas bajas y más frescas y agradables en las Zonas de mayor altura (conos volcánicos). De acuerdo a la clasificación climática de Köppen el departamento es definido como tropical de sabana. Presenta una marcada estación seca que va de noviembre a abril y el período lluvioso comprende de mayo a octubre. Las temperaturas medias se hallan entre los 21 y 30° C y las máximas hasta los 42° C. La precipitación anual máxima alcanza 2,000 mm y la mínima hasta 500 mm anuales en algunos municipios. De acuerdo a la clasificación realizada por el proyecto hidrológico centroamericano, el territorio del departamento de Chinandega cuenta con cuatro cuencas hidrográficas bien definidas, siendo éstas: Las cuencas Río Negro, Estero Real, ríos entre el Estero Real y el Volcán Cosigüina y ríos entre el Volcán Cosigüina y el Tamarindo, de las cuales dos de ellas (Estero Real y Ríos entre el Volcán Cosigüina y Tamarindo) comparten áreas potenciales de riego con el departamento de León (INIDE, 2012).

El departamento de León se caracteriza por presentar una fisiografía conformada por planicies, lomeríos, serranías, conos volcánicos y zonas costeras de estuarios, las cuales se describen en función de la forma y origen de todos los accidentes geográficos que caracterizan el departamento, es el tercero de mayor superficie de los siete que comprenden la Macro Región. (INIDE 2012).

El clima en el departamento de Managua se caracteriza por ser de sabana tropical con una prolongada estación seca y temperaturas que oscilan entre los 27.5° C y 28° C, la precipitación media anual varía entre los 1,000 y 1,500 mm, a excepción del municipio de El Crucero, que tiene una variación de temperatura promedio de 22°C y 28° C, siendo éste, uno de los pocos lugares de la costa del pacífico en poseer estas temperaturas. Presenta topografía inclinada hacia la costa del lago o banda norte, o una zona montañosa o de alturas que comprende: Las sierras de Managua, las sierritas de Santo Domingo y la península de Chiltepe. En cuanto a recursos hídricos se refiere, el municipio de Managua cuenta con una serie de lagunas de origen volcánico como: la laguna de Asososca, Tiscapa y Xiloá (INIDE 2012).

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

Fuente de la información estadística y geográfica: Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) 1954 al 2009.

Lugares de estudio: departamentos de Nicaragua; Chinandega, León y Managua.

Variables utilizadas: precipitación, elevación, longitud y latitud.

Modelo Digital de Elevación: Mapas de Chinandega, León y Managua:

Programa utilizados: para procesamiento y análisis estadístico; SPSS y R y ArcGIS.10 para la realización de las cartografías temáticas.

Las Bases de datos fueron proporcionadas, por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), en archivos Excel y pdf. con información; de las coordenadas de ubicación de los observatorios que miden precipitación y temperatura, de los tres departamentos incluidos en el estudio, información sobre la precipitación de 28 observatorios y de temperatura solamente para 3 estaciones ubicadas en Corinto, Chinandega y Aeropuerto Godoy en la ciudad de León, dicha información está registrada desde 1954 al 2009.

Antes de hacer todo el análisis se procedió a homogenizar la información, organizarla y depurarla en Excel, todo ese proceso generó reducción de los observatorios y años a ser analizados, debido a que en algunos observatorios había un número considerable de datos omitidos para la variable precipitación, en aquellos casos que se tenían menos datos faltantes se estimaron y en los que no se tenían registros para muchos meses y años no se tomaron en cuenta para el análisis, después de este proceso, se quedan reducida a 18 estaciones (Precipitación) y el periodo de 1984-2005. Seguidamente la base de datos se analiza desde el punto de vista estadístico en el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) y R y el análisis espacial con ArcGIS.10.

#### Análisis aplicados

En este trabajo se realizaron los Análisis Estadísticos y Análisis Espacial para la variable; Precipitación, en promedios mensuales en el periodo 1984-2005.

En el **Análisis Estadístico**; Primeramente se realizó el Análisis Exploratorio de la variable precipitación encontrándose observaciones atípicas de precipitación. Los gráficos de Dispersión de la variable Precipitación vs elevación, precipitación vs altitud y precipitación vs longitud, en ninguno de los casos se observa ninguna tendencia. De igual manera se procedió a realizar un Análisis de regresión lineal con el proceso por pasos en el programa SPSS con el fin de obtener un modelo matemático, que nos fuera útil para la realización de la técnica de interpolación global. El primer modelo de Regresión Lineal simple, incluye la variable precipitación como variable dependiente y como independiente la longitud, un segundo modelo se hace con precipitación y latitud y un tercer modelo con precipitación y elevación, observándose los resultados del análisis que existe una relación entre estas variables incluidas en el modelo con la precipitación. Se continuó haciendo los modelos de Regresión múltiple, donde se incluyen dos variables independientes, después tres variables independientes, se continuo el proceso, buscando aumentar el  $R^2$  (es el que nos da una explicación buena o mala del modelo), pero el  $R^2$  no mejoro (menos del 0.30). Por tanto, concluimos que el modelo de Regresión no es un buen predictor y es más conveniente aplicar el modelo de interpolación mediante el Kriging. Antes de aplicarlo, también se debe verificar si los datos siguen una distribución normal, encontrándose que los datos de precipitación no tienen una distribución normal, lo cual puede afectar a la estimación de la precipitación por el método de Kriging y no aplicamos este método, aplicamos el método IDW, que no requiere de estos supuestos. Villegas (2011).

Se realiza la **Interpolación espacial**, los métodos de interpolación basados en modelos de regresión simple o múltiple permiten estimar el valor de la variable climática a partir de una serie de variables independientes. Los métodos más utilizados en climatología son los basados en técnicas geo estadísticas, entre estos están: el Kriging y el Inverso de la Distancia (IDW). Las estimaciones realizadas mediante los diferentes métodos de Kriging se basan en una suma ponderada de las n observaciones más cercanas al punto de estimación. El peso de cada uno de los puntos será recogido para que la estimación no se encuentre sesgada y tenga la menor varianza posible en relación a otras posibles combinaciones lineales entre el conjunto de observaciones disponibles. El método de interpolación de Inverso de la Distancia, requiere la selección de un área o un número de puntos mínimos para la predicción, los valores estimados se obtienen con los puntos de muestreo existentes. Los puntos más cercanos tendrán un peso superior, ya que existe una ponderación en función de la distancia (Vicente y Saz, 2002).

**En el Análisis Espacial;** Para la elaboración de las cartografías temáticas se realizan los siguientes pasos: 1. Revisar Las coordenadas de las estaciones meteorológicas, en este caso están en unidades UTM, el esferoide es de WGS84 y se establece la proyección correspondiente. 2. Antes de ser usada la información en SIG, se realizó el proceso de conversión del formato con extensión .xls a formato shapefile con extensión .shp en el software de ArcGis.10 se adicionaron los puntos discretos (observatorios) en el mapa de los departamentos de Chinandega, León y Managua, obteniendo como primer resultado; el mapa de Localización de los observatorios de precipitación, ubicados en los tres departamentos. (Fig. No.1).

Se aplica la técnica espacial IDW, para valores de  $r=1$ ,  $r=2$  y  $r=4$ , dando como resultado los modelos geográficos que permiten analizar el comportamiento continuo de la variable precipitación mensual en el periodo 1984-2005, a partir de los 18 observatorios (datos discretos) en los Departamentos de Chinandega, León y Managua. Para la realización y análisis de estos modelos se consultó el tutorial (ESRI 2012), (FRANZ 2011) y (Suárez M. Astudillo C. 2011). La última parte del trabajo consiste en la edición de esos mapas para su presentación en papel o impresión.

### Interpolación a partir del método de la distancia inversa (IDW).

La interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa -inverse distance weighting, IDW-.

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot z_i$$

donde  $Z_j$  es el valor estimado para el punto  $j$ ;  $n$  es el número de puntos usados en la interpolación;  $z_i$  el valor en el punto  $i$ -ésimo y  $K_{ij}$  el peso asociado al dato  $i$  en el cálculo del nodo  $j$ . los pesos  $k$  varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad. La interpolación mediante Distancia Inversa Ponderada, determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente (Precipitación) de la ubicación.

El método de la distancia inversa (IDW) se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van

diferenciando conforme se incrementa la distancia. El uso de este algoritmo ha sido empleado en la representación de variables con continuidad espacial, como las isócronas, los mapas de pendientes y orientaciones a partir de la altitud. La distribución de la precipitación no es continua en el espacio, y no está sujeta a ninguna gradación, ecuación o parámetro que regule su disposición. La aplicación del método de interpolación permite generar resultados cartográficos y estadísticos nuevos, que son predictivos e irreales. Pero el proceso de abstracción que supone la generación de un mapa a partir de este tipo de datos puede ser válido desde el punto de vista cartográfico, aumentando la legibilidad y claridad de la variable representada. Los mapas de isolíneas son por tanto una alternativa de expresión cartográfica para la distribución de la precipitación. (Felicísimo Capítulo1).

Para presentar un ejemplo de aplicación de las Series de Tiempo, modelar y analizar el comportamiento de la variable precipitación media mensual, se escogió un observatorio ubicado en el municipio de Chinandega (el que tiene mayor información).

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Resultados Estadísticos

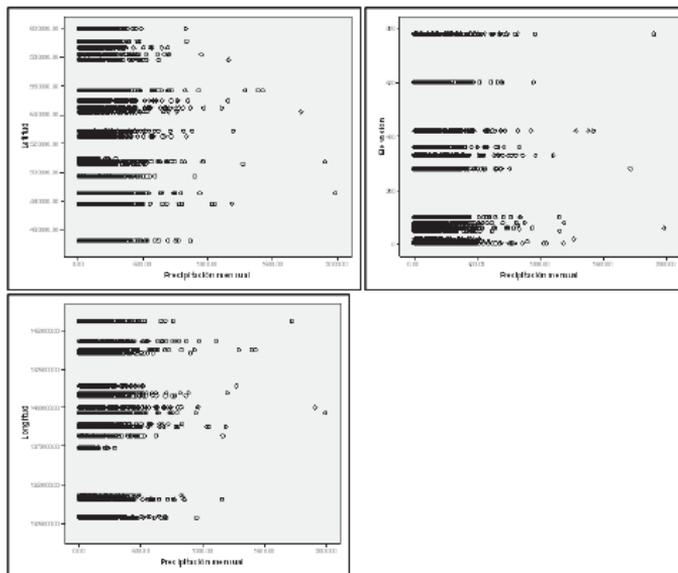


Figura 2: Gráficos de dispersión. 1) Precipitación vs latitud. 2) Precipitación vs elevación. 3) Precipitación vs longitud.

Se puede apreciar en estos gráficos de dispersión, que no existe una relación clara relación entre la variable precipitación media mensual y latitud, longitud, pero con elevación sí.

### Análisis de Series Temporales

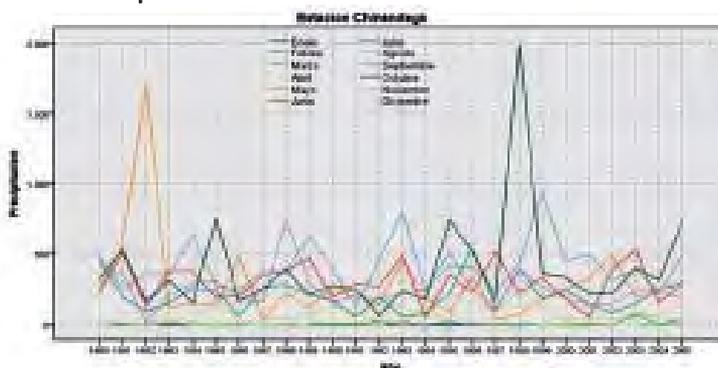
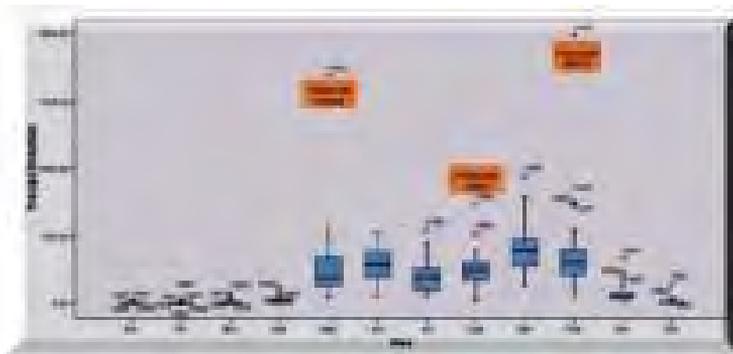


Figura. 3: Gráfico de Línea

Se ve en esta gráfica, definidas las líneas por meses, un comportamiento que no excede de los 1000 milímetros cúbicos de agua en los meses de lluvia (de mayo a octubre), a través de los años, a excepción de mayo de 1982 y octubre de 1998.



En la gráfica de caja se observa que; para mayo del 82 y octubre del 98, en estos meses y años se alcanzaron las mayores precipitaciones, valores de precipitación atípicos, no se observa simetría en la distribución.

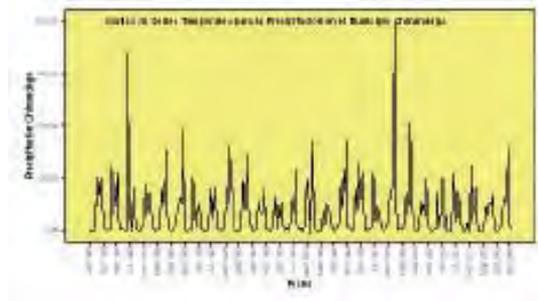


Figura 5: Grafica de Series de Tiempo

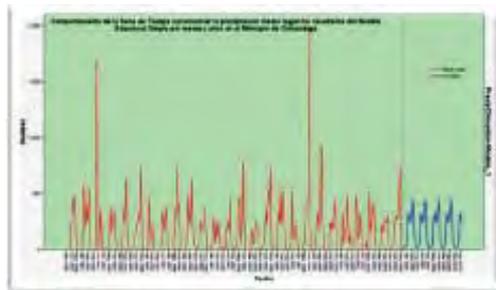


Figura 6: Modelo de predicción

Se observa en este gráfico de series de tiempo, que en los inviernos de 1982 y 1998 altas precipitaciones en el pacifico de Nicaragua. Con el Modelo Estacional Simple, al hacer el pronóstico para 5 años se observa un comportamiento estacional. Al revisar el por qué, se tiene como información adicional, que esto es debido a los huracanes que se produjeron en esos años Alleta y Mitch respectivamente, los cuales registraron precipitaciones entre los 1500 y los 2000 milímetros cúbicos de agua.



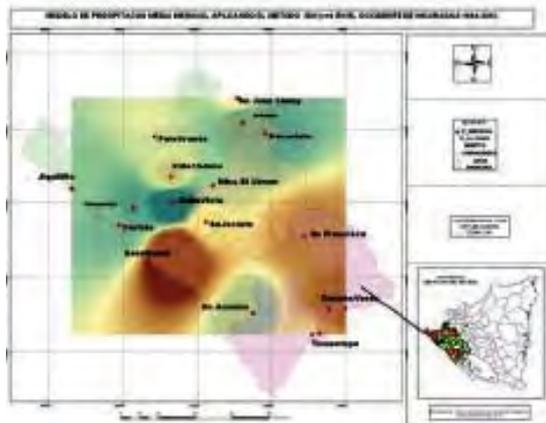


Figura 9 Mapa de Interpolación IDW para  $r=4$

Las cartografías obtenidas de los modelos de interpolación IDW para distintos valores de  $r$  aumentan la legibilidad y claridad de la variable Precipitación representada en el espacio a medida que aumenta dicho valor, los valores están considerado en tres categorías de precipitación, representada en degradación de colores que va de marron a azul, así los lugares con azul más fuertes indican territorios con altas precipitaciones y los de peores resultados se observan en marron. Por otro lado se ve la tendencia de la precipitación, que va en la dirección oeste hacia el sur este. Se observan altos valores de precipitación en las estaciones localizadas en las partes altas y con mayor vegetación.

## 5. CONCLUSIÓN

Se pudo apreciar una cantidad mayor de observatorios de precipitación y escasos estaciones de temperaturas. Lo cual dificulto la posibilidad de poder hacer la aplicación de interpolación espacial y por tanto no conseguir las cartografías para la variable temperatura. Por otro lado los grandes vacios en los observatorios y años para la variable precipitación, causo eliminación de mucha información, esto afecta para poder continuar haciendo análisis mediante otros métodos y por tanto hacer comparaciones .

Con la aplicación de los métodos estadísticos se logra obtener resultados importantes para buscar causas que pueden estar incidiendo sobre la situación de

no normalidad de los datos, la ocurrencia de dos huracanes muy intensos en ese periodo, hace que se presenten datos atípicos, los datos estén sesgados, se observe el comportamiento de la serie que presenta picos altos en esos dos momentos, estos análisis son necesarios para decidir que método geo estadísticos de análisis es más conveniente aplicar, e ir viendo como se complementan para explicar el comportamiento de la variable precipitación media mensual y reforzando sus resultados para el análisis.

Estos mapas de interpolación son por tanto una alternativa de expresión cartográfica para la distribución de la precipitación en el espacio. La elaboración de este tipo de trabajo para los Departamentos de occidentes, permiten hacer el mejor uso de las cartografías espaciales de representación, lo que servirá para mejorar la planificación de las actividades agrícolas relacionadas con el factor climático.

El uso de las técnicas estadísticas y geo estadísticas, Idw, mostraron una forma para concebir el análisis de la información espacial en zonas de difícil acceso y con pocos puntos discretos.

## BIBLIOGRAFIA

- Villegas (2011). Análisis geo estadístico con ArcGIS parte 2. Análisis exploratorio de los datos [consulta:12-03-2011]. Disponible <http://www.aguaysig.com/2011/03/analisis-geoestadistico-con-arcgis.html>
- Suárez M. Astudillo C. 2011 Desarrollo del módulo ISOLINEAS en ArcGis. Aplicación cálculo de isoyetas en el estado de Guerrero, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Mor., México. Disponibles en <http://www.ommac.org/congreso2011/document/extenso/Ext2011014.pdf>
- ESRI (2012). Geostatistical Analyst Tutorial
- FRANZ (2011). Crear un mapa de isoyetas e isotermas en ArcGIS [consulta: 03-04-2013]. Disponible en <http://www.acolita.com/wp-content/uploads/Estaciones-meteorol%C3%B3gicas-ArcGIS.png>
- BCIE (2011) Ficha Estadística de Nicaragua. disponible en <http://www.bcie.org/uploaded/content/article/1249943988.pdf> (3 BCIE, BID y Banco Mundial)

## Fichas Estadísticas de Nicaragua 04/03/13

- INIDE. Atlas Cenagro (2001) Disponible en <http://www.inide.gob.ni/atlas/caracteristicasdep/Chinandega.htm> (inide), (última visita 04/03/13)
- INIDE (2012). Sistema Nacional de Estadísticas Vitales (SINEVI). Disponible en <http://www.inide.gob.ni/estadisticas/Cifras%20municipales%20a%C3%B1o%202012%20INIDE.pdf> (última visita 04/03/13)
- Regionalización Biofísica para el Desarrollo Agropecuario Departamento de León 1999, Disponible en <http://cedoc.magfor.gob.ni/documentos/cedoc/B10-0192.pdf> (última visita 04/03/13)
- INETER (2000) Atlas Climática 1971-2000 disponible en <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/clima%20nic/caracteristicasdelclima.html> visita 18/02/13
- Alvarado Welman Rosa 2011. Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones 18(2) : 325–342 cimpa – ucr issn: 1409-2433).
- Felicísimo A. Capítulo1 . Conceptos básicos, modelos y simulación disponibles <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema1/Page32.html>). Marzo 2013

# *La ocurrencia de incendios según distintos ambientes: análisis mediante sistemas de información geográfica y aplicaciones estadísticas*

Villanueva, S. N.; Serafini, M. C.; Sione, W. F. y  
Filippini, O.S

## **Resumen:**

El territorio argentino, debido a su heterogeneidad geográfica, sufre la ocurrencia de incendios, siendo una de las principales causas de modificación de ambientes. Variables de índole natural y antrópicas inciden sobre este fenómeno. Actualmente, existen numerosos productos satelitales elaborados para cuantificar y representar la ocurrencia de incendios que integran tecnología de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar productos globales, estacionales y anuales de focos de calor a partir de imágenes MODIS. El objetivo general consiste en realizar un análisis comparativo entre un área de la llanura pampeana y otra del Parque Chaqueño para evaluar la probabilidad de ocurrencia de incendios según las variables ambientales, en un periodo de cinco años (2007-2011); en este trabajo se presentan los resultados logrados en el área del Parque Chaqueño. La metodología utilizada se basó en la generación de capas de información de las áreas bajo estudio (vegetación, temperatura, precipitaciones, distancia a las ciudades, etc.) que se interrelacionaron con los puntos de calor, obtenidos en base al producto MOD 14 extraídos del satélite Terra MODIS y AQUA, que se complementó con técnicas de análisis estadístico, basadas en el Modelo Lineal Generalizado. El uso de SIG, las técnicas estadísticas y de teledetección en conjunto contribuyen al análisis sistémico.

## **Abstract:**

The Argentine territory suffers the occurrence of fires due to its geographical heterogeneity and this fact is one of the main causes of environmental changes. Natural and anthropogenic variables have influence on this phenomenon. There are currently many satellite products developed for the quantification and representation of fire

---

occurrence. These products integrate technology of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) to make global, seasonal and annual hot spots products from MODIS images. The overall aim is to perform a comparative analysis between an area of the Pampas and an area of Parque Chaqueño over a period of five years (2007-2011) in order to assess the probability of fire occurrence according to environmental variables. We present the results for the area of Parque Chaqueño. The methodology is based on the generation of information layers of the areas under study (vegetation, temperature, rainfall, distance to cities, etc.) These layers were interrelated with the hot spots. The hot spots were obtained on the basis of the MOD 14 product provided by the Terra MODIS and AQUA satellite. Statistical techniques based on the General Linear Model were used. The use of GIS, remote sensing and statistical techniques together contribute to systemic analysis.

---

**Villanueva, S. N.** (solangevillanueva@gmail.com), Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL. **Serafini, M. C.** (proditel@unlu.edu.ar), Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL; Sione, W. F., Universidad Nacional de Luján - Dpto. de Ciencias Básicas PRODITEL, Universidad Autónoma de Entre Ríos CEREGEO; **Filippini, O.S.**, (filippin@agro.uba.ar), Universidad Nacional de Luján – Dpto. de Ciencias Básicas División Estadística.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina la ocurrencia de incendios, debido a la heterogeneidad del espacio geográfico, en conjunto con las actividades humanas, no tiene un mismo patrón; ésta se ve favorecida por la presencia de vegetación inflamable y las anomalías climáticas como altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequía, que desarrollan una elevación de la desecación de los combustibles vivos y muertos aumentando su inflamabilidad.

Los incendios constituyen fenómenos de cambio en ambientes; la evolución del fuego desde un pequeño foco, que puede extinguirse rápidamente, hasta un incendio de mayores proporciones, depende de diversas variables: cantidad (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características del combustible vegetal (fino, grueso, inflamable o no), temperatura y humedad relativa del aire, vientos, exposición, pendiente, entre otros (Defossé et al., 2004).

Uno de los principales productos generados a partir del satélite Terra MODIS, son los puntos o focos de calor; estos indican las áreas que presentan una temperatura de superficie anómala. En la mayoría de los casos se asocia la presencia de un foco a la existencia potencial de un fuego o incendio. La detección de focos de calor se basa en la capacidad de algunos sensores remotos de capturar la energía emitida por la superficie en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo medio emisor e infrarrojo lejano. De acuerdo a las temperaturas que alcanzan los incendios (entre 300 °C y 1500 °C, según el tipo de vegetación, combustible acumulado, condiciones ambientales, entre otros) se establecen los umbrales que permiten identificar los focos de calor (Giglio et al. 1999; 2006).

Un evento de incendio real, debido a sus características en cuanto a tamaño y duración, puede ser representado por más de un foco de calor. Es decir, los focos continuos en espacio y tiempo son considerados como parte de un mismo evento de incendio.

Actualmente, existen numerosos productos disponibles gratuitos que son elaborados con el objetivo de cuantificar y representar la ocurrencia de incendios: el "Fire Information for Resource Management System" (FIRMS), desarrollado por la NASA, integra tecnología de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar productos globales, estacionales, anuales y casi en tiempo

real de focos de calor a partir de imágenes MODIS, el producto de “Mapas de Focos de Calor” provisto por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), a partir de la información capturada por el sensor MODIS; los productos de focos de calor generados por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir del uso de distintos sensores y los productos de puntos de calor generados en México por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), entre otros.

En este contexto el objetivo principal de este trabajo fue integrar técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para evaluar la ocurrencia o no de incendios a partir de la base de datos histórica (2007-2011) de anomalías térmicas (FIRMS).

El análisis realizado constituye un avance preliminar de investigación del proyecto marco del anuncio de oportunidad SAC-D Aquarius “Aportes del Observatorio Aquarius para una mejor comprensión de variables ambientales”.

La finalidad de este trabajo es realizar un análisis comparativo entre un área de la llanura pampeana y otra del Parque Chaqueño para evaluar la probabilidad de ocurrencia de incendios según las variables ambientales, en un periodo de cinco años (2007-2011). En este trabajo se presenta la metodología de análisis para el área del Parque Chaqueño. Identificando a nivel regional las relaciones entre variables ambientales que inciden en el sistema de la región del Parque Chaqueño.

Para lograr la interrelación de variables ambientales que inciden en el funcionamiento de una región se optó por la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) con su correspondiente base de datos y se complementó el análisis con un paquete estadístico habilitado para llevar a cabo análisis de variables: Modelo Lineal Generalizado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se encuentra ubicada en el Norte de Santa Fe, Sur Oeste de Chaco y Noroeste de Santiago del Estero, pertenece a la Región Chaqueña argentina (Cabrera, A., 1976). Localizada entre las coordenadas: 26° 49' 49" S - 28°22' 54" S y 61°31' 29" y 61°53' 37" O (Figura 1).

El Chaco Seco, en su mayor parte, es una vasta llanura sedimentaria, modelada esencialmente por la acción de los ríos que la atraviesan en sentido Noroeste-Sudeste, principalmente el Juramento-Salado, el Bermejo y el Pilcomayo. Contiene diversidad faunística, aunque muchos de sus componentes han sufrido una fuerte reducción en sus poblaciones, provocada por la intervención antrópica.

El Chaco Oriental o Húmedo, con algunas diferencias en cuanto a su delimitación abarca la mitad oriental de Formosa y Chaco, el extremo Noroeste de Corrientes y el Norte de Santa Fe. Incluye la porción húmeda de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo, los Esteros, Cañadas y Selvas de Ribera y el Alto Agrícola Chaco Formoseño, estos dos últimos dentro de la Provincia del Chaco (Morello, J.; Adámoli, J., 1968). Posee dos gradientes: térmico y de precipitaciones, el primero, decreciente en sentido Norte Sur y el segundo decreciente en sentido oeste este, que condicionan la aparente uniformidad de la zona, que se manifiesta en diversidad en cuanto a: disponibilidad de agua del sistema hídrico superficial y subterráneo, diversificación de los suelos y en la vegetación: bosque cerrado, un paisaje abierto de parques y sabanas y un horizonte de esteros y bañados enmarcados por selvas en galería. La condición climática subtropical húmedo (Bruniard, E., 1987) implica temperaturas media anuales desde los 23° al norte hasta los 18° al sur de la región. Las lluvias son abundantes con dos picos estacionales (otoño y verano) y un balance hídrico positivo. La vegetación, con la presencia de bosques fluviales, áreas deprimidas con amplio dominio de vegetación herbácea, muchas veces compartidas con especies de palma en fisonomías de tipo sabánica, presenta la mayor diversidad del Parque Chaqueño. Las pulsaciones debidas a las inundaciones y el fuego son una importante característica de las áreas más deprimidas.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados fueron: datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); imágenes satelitales del Landsat V (área I: Path Row 228-079), obtenidas de la página del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y datos catastrales del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

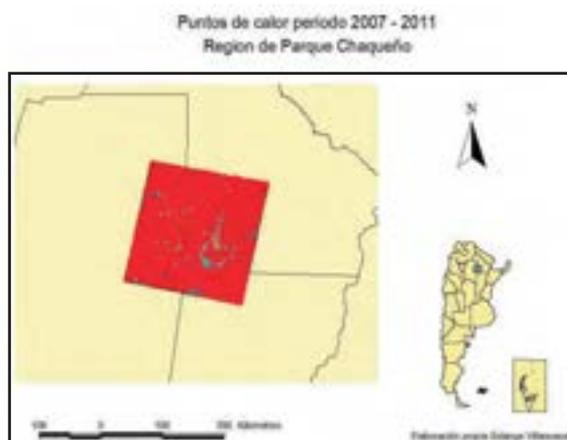
Por otro lado, los datos históricos de puntos de calor fueron obtenidos a partir de la descarga de los productos MOD 14 (producto de anomalías térmicas) del satélite Terra MODIS y AQUA de la página web de la NASA (Tabla 1).

Tabla 1. Variables de análisis y fuente de datos

Variable	Tipo	Fuentes	Resolución Espacial (m)
Anomalías Térmicas	Puntos de calor	NASA	1000
Biomasa	Vegetación	GloboCover (2005)	250
Temperatura	Clima	SMN	10000
Precipitaciones	Clima	SMN	10000
Distancia a las ciudades	Antròpica	IGN (2005)	250
Distancia a las rutas	Antròpica	IGN (2005)	250

Las series de puntos de calor fueron re proyectadas para el análisis de datos en un Sistema de Información Geográfica los cuales fueron interrelacionados al área de interés (Figura 2).

Figura 2. Serie de puntos de calor 2007 – 2011



Fuente: Elaboración propia

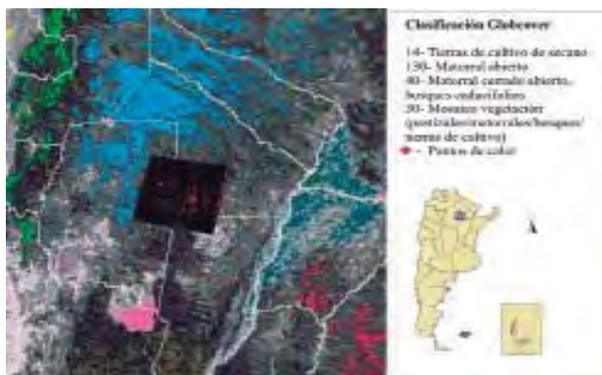
El fenómeno de incendios está relacionado con diversas variables sistemáticas (características del combustible vegetal, temperatura y humedad relativa del aire, vientos, exposición, pendiente, etc.) que inciden en la dinámica de ocurrencia de incendios, considerando esto se llevaron a cabo los siguientes pasos:

### Análisis del tipo de cobertura vegetal

Con la finalidad de identificar el tipo de vegetación asociada con los puntos de calor en cada área, se realizó la integración de la serie de puntos de calor con la

cobertura vegetal Globcover (Figura 3).

Figura 3. Integración de datos. Cobertura vegetal y puntos de calor. Área II



Fuente: Elaboración propia

## Análisis de las actividades antrópicas

El fenómeno de incendios está relacionado con las actividades antrópicas, debido a esta relación se consideraron las variables: distancia al área de influencia de caminos y poblados, consideradas como posibles variables de origen de conflictos.

La cobertura de distancias, mide la distancia Euclidiana (distancia más cercana entre dos puntos) de cada unidad de análisis a la variable analizada.

A partir del Sistema de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional del año 2005 con la cobertura de puntos de calor, se generó el mapa de distancia al área de influencia de los centros poblados y caminos (Figura 4).

## Serie histórica de puntos de calor

Con el objetivo de ampliar el análisis de los datos de anomalías térmicas detectadas satelitalmente en ambas zonas, se relevó la detección de los puntos mensual y estacional durante 10 años. Se observó la distribución espacial de las anomalías térmicas, registrando periodos de menor y mayor densidad de puntos sobre la superficie terrestre. Dicha observación dio origen al planteo del análisis estadístico de los datos:

## Variables climáticas

Se relevaron las variables climáticas de temperatura y precipitación, en base al informe del SMN, con la finalidad de analizar la correlación entre estas variables y las anomalías térmicas. Se complementó la metodología con métodos estadísticos exploratorios e inferenciales. Aplicando un Modelo Lineal Generalizado (Cayuela, L. 2009), para la variable puntos de calor como variable respuesta, considerada de conteo, adoptando por lo tanto una distribución Poisson para esta variable y una función de enlace logarítmica. Se empleó el paquete estadístico SPSS (Statistical Product and Service Solutions) versión 15.

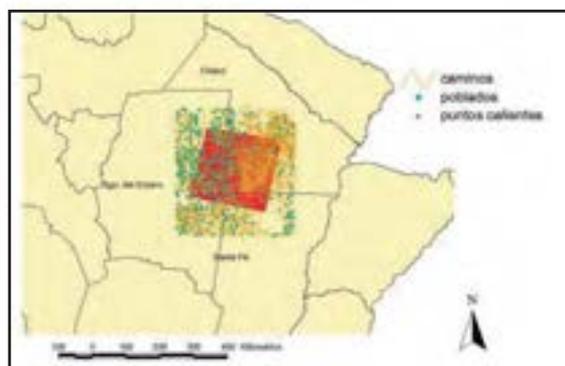
## 4. RESULTADOS

### Procesamiento digital

De acuerdo a la clasificación del Globcover, la concentración de puntos de calor en el área I, estaría asociada con las siguientes categorías: 14) Tierras de cultivo de secano, 130) Matorral abierto, 50) Matorral cerrado, 40) Matorral cerrado a abierto (mayor 15 %), bosques caducifolios de hoja ancha (mayor a 5m), 30) Mosaico vegetación (pastizales / matorrales / bosques) (50 - 70%) / tierras de cultivo (20-50%) (Figuras 3).

A partir del mapa de distancias se registró la relación entre la influencia antrópica y la localización de puntos de calor registrados en el área. La distancia más cercana hallada entre un punto de calor, caminos y poblados fue de 100 m (Figura 4).

Figura 4. Integración de datos: Relación de caminos y poblados con puntos calientes



Fuente: Elaboración propia

## Procesamiento estadístico de los datos

A partir de la base de datos generada, teniendo en cuenta la relación existente entre las variables consideradas: puntos de calor (variable dependiente); temperatura, precipitaciones, distancia a caminos y poblados (variables independientes), en el periodo de cinco años, lo que se traduce en un total 60 casos de posibles relaciones entre variables; los resultados evidenciaron que del total de casos analizados un 98.3% ha quedado incluido mientras que un 1.7% excluido por presentar datos faltantes en algunas de las variables incluidas. En la Tabla 2 se muestran los resultados:

Tabla 2: Resumen del procesamiento de los casos

	N	Porcentaje
Incluido	59	98,3%
Excluido	1	1,7%
Total	60	100,0%

En la tabla 3 se observa la distribución de cada una de las variables. La variable dependiente “puntos calientes” tiene 59 casos y presenta alta variabilidad relativa. Mientras que las dos covariables temperatura y distancia a caminos tienen un coeficiente de variación pequeño, lo que indicaría que presentan una muestra homogénea y con alta representatividad de los valores medios de temperatura y distancia: (Coeficiente Variación (%) Temperatura=24.00; y Coeficiente Variación (%) Distancia= 0.23.)

Tabla 3: Información de variable continua

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Variable dependiente Puntos calientes	59	0	76	12,54	17,887
Covariable Temperatura	59	11	28	20,92	5,023
Distancia Caminos	59	739,9	2827,2	1541,253	357,0200

Tabla 4: Bondad de ajuste(b)

	Valor	gl	Valor/gl
Desviación	934,115	56	16,681
Desviación escalada	934,115	56	
Chi-cuadrado de Pearson	1154,379	56	20,614
Chi-cuadrado de Pearson escalado	1154,379	56	
Log verosimilitud(a)	-567,396		
Criterio de información de Akaike (AIC)	1140,792		
AIC corregido para muestras finitas (AICC)	1141,228		
Criterio de información bayesiano (BIC)	1147,025		
AIC consistente (CAIC)	1150,025		

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, DistanciaCaminos

a La función de log-verosimilitud completa se muestra y se utiliza para calcular los criterios de información.

El contraste para la devianza es el test para contrastar el modelo que se toma frente a la alternativa del modelo saturado. La devianza expresa una aproximación de la variabilidad de los datos. Por ello, para obtener una medida de la variabilidad explicada por el modelo, se requiere comparar la devianza del modelo nulo (Null deviance) con la devianza residual (Residual deviance), esto es, una medida de cuanto de la variabilidad de la variable respuesta no es explicado por el modelo.

La Devianza toma valor cuando se la compara con otro modelo, en este caso podemos decir que el valor 934.115 veces explica la diferencia entre el “máximo likelihood” obtenible y el “maximum likelihood” retenido por el modelo.

La Chi cuadrado de Pearson es la clásica medida de asociación lineal conocida. Ambas medidas de asociación (Devianza y Chi cuadrado de Pearson) tienen una razón entre su valor y sus grados de libertad aproximado, en este caso, 56. Dicho valor es mayor que 1 indicando un adecuado ajuste.

El Criterio de Información de Akaike es otra medida que indica el ajuste del modelo, la idea es la de imponer una penalización por añadir regresores (variables predictoras) al modelo. Al comparar dos o más modelos, se preferirá el que tenga el menor Criterio de Información de Akaike.

Tabla 5: Contraste Omnibus(a)

Chi-cuadrado de la razón de verosimilitudes	gl	Sig.
218,994	2	,000

Gl: Grados de libertad.

Sig: Significancia

La tabla 5 y 6 muestra El Contraste Ómnibus, compara el modelo ajustado con el modelo conformado con solo la intersección. Se observa que la prueba es rechazada por lo cual es posible afirmar que el modelo es estadísticamente significativo ( $P < 0.01$ ), es decir, al menos uno de los coeficientes calculados para el modelo es estadísticamente significativo.

Tabla 6: Contrastes de los efectos del modelo

Origen	Chi-cuadrado de Wald	Tipo III	
		gl	Sig.
(Intersección)	699,023	1	,000
Temperatura	155,498	1	,000
Distancia Caminos	59,765	1	,000

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, Distancia Caminos

Tabla 7: Estimaciones de los parámetros

Parámetro	B	Error típico	Intervalo de confianza de Wald 95%		Contraste de hipótesis				
			Inferior	Superior	Chi-cuadrado de Wald	gl	Sig.	Inferior	Superior
(Intersección)	5,618	,2125	5,202	6,034	699,023	1	,000		
Temperatura	-,090	,0072	-,104	-,075	155,498	1	,000		
Distancia Caminos (Escala)	-,001	,0001	-,001	-,001	59,765	1	,000		

B: Indica las estimaciones de los coeficientes del modelo

Variable dependiente: Puntos calientes

Modelo: (Intersección), Temperatura, Distancia Caminos

En la Tabla 7 se observa que los coeficientes que acompañan a las 2 variables utilizadas son estadísticamente significativos, siendo considerado para el futuro la inclusión de otras variables como tipo de material combustible, pendiente y otras variables climáticas que podrían interactuar con la variable temperatura.

La interpretación de los resultados, cuando consideramos “distancia a los caminos”, resultó ambientalmente significativo; dado que el coeficiente que acompaña a esta variable es negativo, es decir, existe una relación inversa entre la variable puntos de calor y distancia a caminos. Dicha relación significa que a medida que aumenta la distancia a caminos disminuirán la cantidad de puntos de calor, esta relación podría corresponderse con las actividades antrópicas en el área que probablemente aumentan la probabilidad de ocurrencia de incendios.

## 6. CONCLUSIÓN

La integración de la información permitió evaluar la serie de puntos de calor y la influencia que ejercen las variables ambientales en la dinámica de estas anomalías térmicas que deben ser complementadas con el trabajo de campo, el cual permitirá definir la relación que existe entre los puntos de calor y la ocurrencia de incendios.

La intersección de la cobertura vegetal y los puntos de calor aportaron información sobre las características del área; para obtener mejor nivel de detalle se recomienda la inclusión de un mapa de cobertura vegetal a escala de mayor detalle.

Mediante el análisis estadístico se logró observar la importancia que tiene la variable antrópica, esto podría indicar que en esta área, además de las condiciones ambientales ejercen una alta presión las actividades antrópicas que inciden en la dinámica de incendios en la Región Chaqueña Argentina.

Los resultados señalan la necesidad de extender el estudio incluyendo otras variables, como contenido de humedad, velocidad del viento, índices de vegetación, etc., que pueden influir sobre la ocurrencia de los incendios, así como también extender el estudio a otras regiones para obtener un análisis comparativo y detectar las áreas de mayor riesgo de acuerdo a sus características ambientales.

---

## REFERENCIAS

- Bruniard, E. D y Alberto J, A (1987) Atlas geográfico de la Provincia del Chaco. Tomo 1: el medio natural. Instituto de Geografía. Facultad de Humanidades – UNNE. Argentina.
- Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas Argentinas. 2º ed. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME SACI, Buenos Aires.
- Cayuela, L. (2009) Modelos lineales generalizados (GLM), EcoLab, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada
- Defosse, G; Rostagno; Del Valle, H y Dentoni. (2004). El fuego en la porción austral de la región del Monte. Pp. 167-180 in: C Kunst; S Bravo & JL Panigatti (eds). Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Eastman, J.R. (2006) IDRISI - A grid based geographic analysis system. Clark University, Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts 01610-1477, USA.
- Giglio L., Kendall J.D., Justice C.O. (1999). Evaluation of global detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. International Journal of Remote Sensing 20:1947-1985.
- Giglio, L., Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S. (2006). Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. Atmospheric Chemistry and Physics 6:957-974.
- Morello J.H. y J. Adámoli (1968) Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino. Serie Fitogeografía, 10: 1-125p. Segunda parte. INTA, Buenos Aires. Paginas Web visitadas: [www.inpe.br/](http://www.inpe.br/); [www.conae.com.ar](http://www.conae.com.ar)

# *Análisis de parámetros morfométricos y su relación con condiciones de vulnerabilidad en la ecorregión de las Yungas, Argentina*

Serafini, M. C.; Fea, Maurizio; Di Franco, L. A.; Cuello, A. R.; Antes, M. A.; Villanueva, S. N.; Sione, W. F.; González, F. C.; y Redondo, F. V.

## **Resumen:**

A principios del siglo XX, el sector continental argentino (2.791.810 km<sup>2</sup>) se encontraba cubierto por, aproximadamente, 100 millones de hectáreas de bosques nativos, superficie que se redujo a 33 millones a finales del mismo; incrementándose en forma notoria la tasa anual de deforestación en los últimos 30 años. Parte de esa superficie forestal se desarrolla en las provincias de Salta y Jujuy, con alrededor de 5 millones de hectáreas que representan ecosistemas ambientalmente críticos para el mantenimiento de la biodiversidad regional. Los datos obtenidos a partir de los sensores remotos resultan un aporte significativo para la evaluación de los cambios producidos en estos ambientes. El presente trabajo se enmarca en el Proyecto denominado “Evaluación de cambios en áreas de monte nativo y su relación con situaciones de vulnerabilidad ambiental en la ecorregión de Selvas subtropicales andinas (Yungas) mediante la fusión de datos Radar – Ópticos” y tiene como principal objetivo generar insumos temáticos que serán utilizados en la elaboración de indicadores ambientales relacionados con la vulnerabilidad ambiental en esta ecorregión. La zona seleccionada corresponde al departamento Ledesma de la provincia de Jujuy, una de las dos Áreas pilotos definidas para llevar a cabo este estudio. Mediante imágenes de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibles gratuitamente en la web, fueron definidos parámetros geomorfológicos que permitieron establecer el comportamiento de determinadas variables. Los resultados obtenidos corresponden a diferentes capas temáticas relacionadas con parámetros como: Sombreado analítico, pendiente, aspecto, zona de captación, Índice de humedad, Factor LS, limitación de subcuencas y red hídrica secundaria, los que

a partir de su integración en un Sistema de Información Geográfica permitirán contribuir en la elaboración de indicadores relacionados con la vulnerabilidad ambiental en la zona bajo estudio.

**Palabras clave:** Yungas - parámetros geomorfológicos – teledetección – SIG -vulnerabilidad

### **Abstract:**

In the early twentieth century, the continental sector of Argentina (2,791,810 km<sup>2</sup>) was covered by about 100 million hectares of native forest area. This area was reduced to 33 million by the end of the century. Over the last 30 years the annual deforestation has noticeably increased. Part of the forest area is in Salta and Jujuy provinces, with about 5 million hectares representing critical environmental ecosystems for the regional biodiversity maintenance. The remote sensor data are a significant contribution for environment change evaluation. This work belongs to the Project: "Evaluation of changes in native forest areas and their relation with environmental vulnerabilities in subtropical Andean Forest ecoregion (Yungas) using radar – optical data fusion". The aim of this study was to generate thematic inputs in order to use them for the development of environmental indicators related to the environmental vulnerability in this ecoregion. The selected area belongs to Ledesma department (Jujuy province) and is one of the two selected study sites to carry out this work. Geomorphological parameters were defined using Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) images, which are freely available in the web. These parameters were useful to settle down certain variable behaviour. These results correspond to different thematic layers related to parameters such as analytical shading, slope, aspect, catchment area, moisture index, LS factor, watersheds delimitation and secondary hydric network. The integration of these parameters into a GIS system will contribute to the development of indicators related to environmental vulnerability in the under study area.

**Keywords:** Yungas - geomorphological parameters - Remote sensing - GIS-vulnerability

---

**Serafini, M. C.** (proditel@unlu.edu.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Fea, Maurizio** (maufea@gmail.com), Asociación Geofísica Italiana – AGI; **Di Franco, L. A.** (difranco\_leo@yahoo.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Cuello, A. R.** (cuello@terra.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina; **Antes, M. A.** (selperargentina@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias

Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina; **Villanueva, S. N.** (solangevillanueva@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Sione, W. F.** (wsione@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, CEREGEO - UADER – CEREGEO; **González, F. C.**, (franciscagnzlmrtn5@gmail.com), Dpto. de Geología - UNS; **Redondo, F. V.** (fredondo@fibertel.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina

## INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales que causan mayor preocupación a nivel mundial merecen citarse los que se relacionan con la degradación de las tierras. En Argentina son diversas las actividades que se desarrollan en este sentido y colocan en situación de severo riesgo a ambientes naturales, generando conflictos socio-ambientales de diversa magnitud; entre otras, la minería a cielo abierto (Donadio, et al. 2009), la introducción de especies exóticas y la incorporación de extensas áreas de monte nativo a la actividad agrícola (Paruelo, et al. 2005).

En los últimos años, la sobreexplotación de los recursos forestales muestra un acelerado incremento; esta situación se presenta en la mayor parte de los montes nativos de nuestro país donde se vienen implementando acciones tendientes a aumentar la productividad, las que han generado situaciones problemáticas de transformación de sus espacios, así como de un aprovechamiento irracional de los recursos naturales. En el caso particular de la Selva Tucumano-Oranense, también denominada Yungas, el impacto antrópico ha favorecido la fragmentación del paisaje a partir del avance de la frontera agropecuaria, afectando en forma negativa la biodiversidad de dicho ecosistema, dando origen a condiciones de vulnerabilidad ambiental.

La vulnerabilidad, en términos generales, es la relación entre una condición, susceptible de recibir daño, en referencia a otra, condición no dañada, donde se manifiesta el orden, el peligro y el riesgo (Macias, 1999). La vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida, siendo estos elementos físicos o biológicos (Gaspari, et al; 2011).

El análisis conjunto de factores que permiten definir situaciones de vulnerabilidad ambiental se ha facilitado con la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta ideal para el análisis de parámetros con un alto grado de variabilidad espacial.

Desde la puesta en órbita de los primeros satélites, hasta el presente, el desarrollo de las tecnologías espaciales ha evolucionado de manera continua; las imágenes o productos elaborados a partir de datos aportados por los satélites de observación terrestre se encuentran disponibles en diferentes servidores y suponen

una fuente de datos para los SIG (Buzai, G., 2000).

Su aplicación a los recursos hídricos y en particular al manejo de cuencas, resulta una herramienta indispensable para conocer el ambiente y de esta manera hacer un uso sustentable del mismo. Un ejemplo de ello lo configuran los parámetros geomorfológicos derivados de imágenes topográficas que permiten establecer el comportamiento de determinadas variables y ser incluidos en modelos más complejos como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), entre otros (Di Franco, et al; 2012).

Las imágenes de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibles gratuitamente en la web, favorecen la extracción de estos parámetros brindando información topográfica del área (NASA, 2005).

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto denominado “Evaluación de cambios en áreas de monte nativo y su relación con situaciones de vulnerabilidad ambiental en la ecorregión de Selvas subtropicales andinas (Yungas) mediante la fusión de datos Radar – Ópticos” y tiene como principal objetivo generar insumos temáticos que serán utilizados en la elaboración de indicadores ambientales relacionados con la vulnerabilidad ambiental en esta ecorregión.

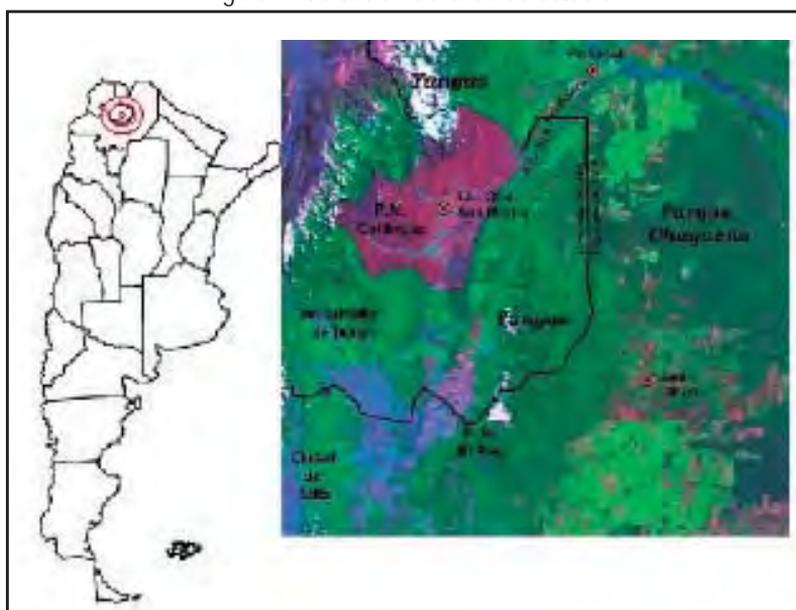
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona seleccionada para llevar a cabo este estudio comprende el departamento Ledesma, uno de los 16 departamentos de la provincia de Jujuy; corresponde a una de las dos Áreas Pilotos definidas para llevar a cabo el Proyecto marco. Este departamento se encuentra situado al este de la provincia de Jujuy, sus coordenadas geográficas lo ubican entre los 63°30' y los 65°20' de longitud oeste y los 23°45' y 24°00' de latitud sur. Posee una superficie de 3.249 km<sup>2</sup>, limita al norte con la provincia de Salta, los departamentos Tilcara y Valle Grande, al este con el departamento Santa Bárbara, al sur con el departamento San Pedro y al oeste con los departamentos Doctor Manuel Belgrano y Tumbaya. Pertenece a la ecorregión de las Yungas, también llamadas Selvas Subtropicales de Montaña o Selva Tucumano-oranense; está definida por una franja de aproximadamente 700 km de longitud norte-sur y 50 km de ancho, que se extiende a lo largo de las lade-

ras orientales de las montañas del norte del país, en las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Catamarca (Figura 1). Abarcan las laderas y valles, con alturas que van de 400 msnm, al este hasta los 3.000 msnm, al oeste. Aunque sólo representan el 2% del territorio nacional, junto con la Selva Misionera constituyen los ambientes de mayor riqueza de especies y recursos naturales de nuestro país. En conjunto, albergan alrededor del 50% de la biodiversidad de Argentina. Las serranías que la circundan son: Calilegua y Santa Bárbara. El clima, subtropical con estación seca, está caracterizado por un régimen térmico altamente influenciado por el relieve, afectándolo fundamentalmente, la latitud y altitud; la temperatura media anual es de 21,5° C, siendo enero el mes más cálido, con temperatura máxima de 28,2 °C y julio el mes más frío con 13,5 °C.

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

## Materiales y Métodos

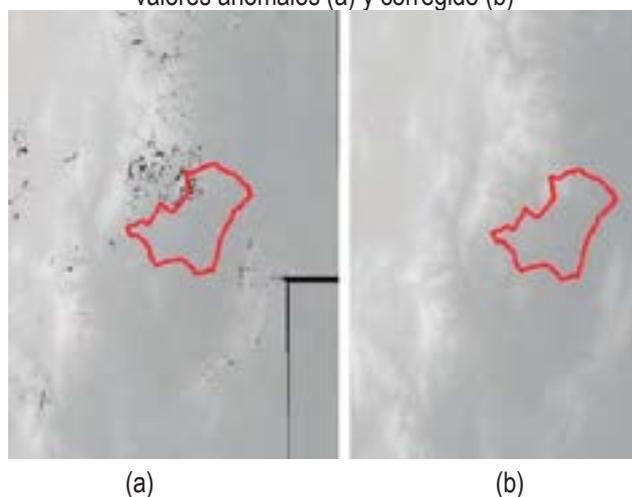
Para la realización de este trabajo se utilizaron dos imágenes correspondientes a la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Path and Row 231/076 y 231/077 de fecha febrero de 2000. Estas imágenes son generadas a partir de datos radar en banda C con una longitud de onda de 5,6 cm. La descarga de los datos se realizó a partir de la web de la Universidad de Maryland; el tipo de SRTM

correspondió al Unfilledfinished\_B, que presentaba algunos valores anómalos que fueron corregidos mediante el proceso de interpolación (Sanders, 2007; Verdin, et al, 2007). El SRTM tiene una resolución espacial de 90 metros, radiométrica de 16 bit y formato geotiff (Farr, 2007).

Para poder realizar la delimitación de la cuenca del río San Francisco, principal curso del departamento de Ledesma, que recibe varios afluentes por su margen izquierda, entre otros el Negro, el Ledesma, el San Lorenzo y el de Las Piedras y por su margen derecha, los ríos del Medio, de las Conchas y Santa Rita, fue necesario generar un mosaico a partir de las dos escenas adquiridas ya que el área comprendida por la misma excedía las imágenes individuales; este mosaico fue generado mediante el empleo de la herramienta Mosaic Tools, del ERDAS.

Una vez obtenido el mosaico satelital se procedió a la delimitación de la cuenca mediante el empleo de la herramienta de Hidrología con el software ARCGIS 10.1. El procedimiento para la delimitación incluyó la corrección de los valores anómalos presentes en el SRTM, identificados con el valor -32768. Este procedimiento se realizó con la herramienta Fill Skins. Además de corregir estos valores permite completar aquellos lugares denominados sumideros en donde el escurrimiento presenta incongruencias. En la Figura 2 se puede observar el mosaico generado, con valores anómalos (a) y el mosaico obtenido luego de la interpolación y corrección a través de la herramienta Fill skins (b).

Figura 2: Mosaico SRTM con huecos, presencia de valores anómalos (a) y corregido (b)

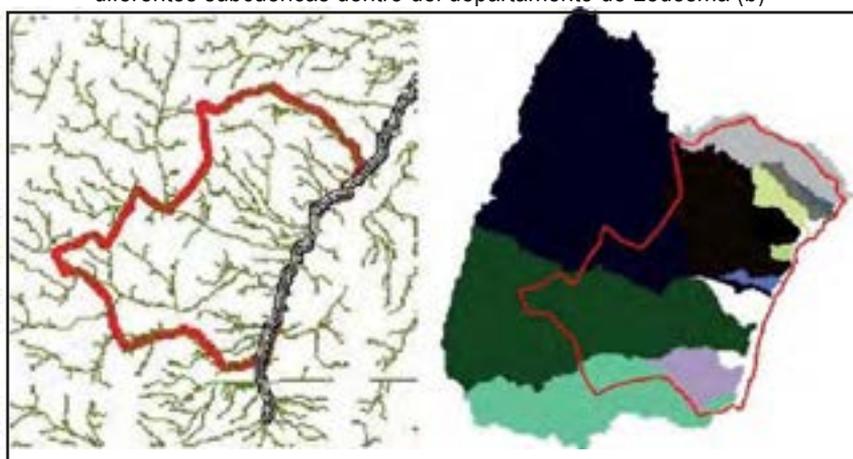


Fuente: Elaboración propia

El paso siguiente consistió en la obtención de la capa temática denominada Flow direction que crea un raster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina. En esta nueva capa raster el valor asignado a la celda puede contener ocho valores que corresponden a la dirección de flujo. La capa Flow accumulation, que crea un raster de flujo acumulado a partir de la cantidad de celdas que aportan a ella, en conjunto con la capa Flow direction, configuran los principales insumos para calcular los parámetros.

Para definir los límites topográficos de la cuenca bajo estudio se utilizó la herramienta Cuenca hidrográfica, ésta genera una capa raster que posteriormente se convierte a formato vectorial. Mediante la utilización de estas capas raster se extrajo la red hídrica principal y secundaria. Una vez identificada la cuenca principal se procedió a la delimitación de las diferentes subcuencas utilizando como punto de afogue la unión de los diferentes tributarios con el cauce principal. En la Figura 3 se puede observar la red hídrica principal y secundaria (a) y la delimitación de las diferentes subcuencas dentro del departamento de Ledesma (b).

Figura 3: Red hídrica principal y secundaria (a) y delimitación de las diferentes subcuencas dentro del departamento de Ledesma (b)



(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

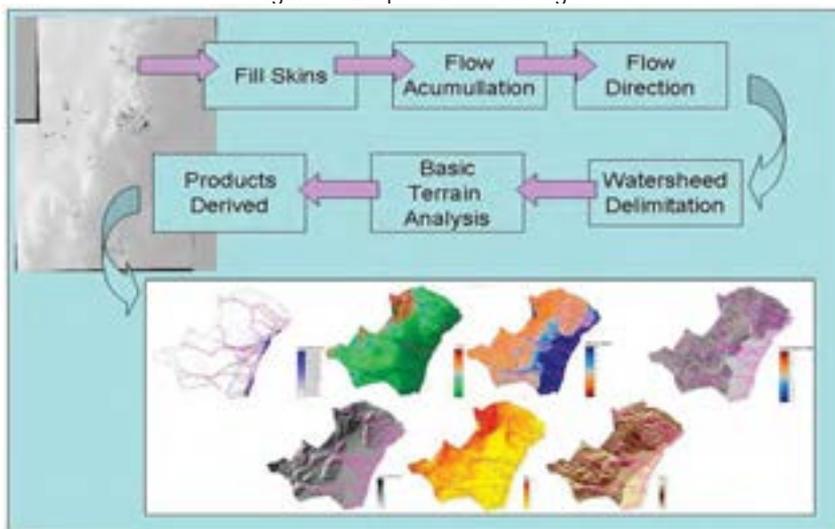
Una vez completados los pasos metodológicos tendientes a delimitar las cuencas y subcuencas del área de estudio, se procedió con la segunda etapa del trabajo que consistió en seleccionar los parámetros morfológicos para describirla, utilizando los criterios de la hidrología superficial. Esta etapa se realizó con el pro-

grama SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) un software enmarcado en Free Open Source Software (FOSS), desarrollado por el Departamento de Geografía Física de Gottingen, Alemania. La herramienta seleccionada fue Basics Terrain Analysis que permitió escoger siete entre los once parámetros morfométricos disponibles. Los parámetros seleccionados fueron:

- Factor LS: factor de inclinación de la pendiente (S) y de su longitud (L), muy utilizado en la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) y en la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada (RUSLE). Es un parámetro adecuado para evaluar el riesgo de erosión a escala de cuenca.
- Índice de humedad topográfica: se utiliza para describir patrones espaciales de humedad en una región. Se calcula a partir de la pendiente, siendo húmedas aquellas zonas donde las pendientes son bajas y sus áreas de contribución grandes, y las secas corresponden a mayor pendiente y menor área de contribución.
- Índice de convergencia: Es un indicador de la configuración o forma del terreno siendo las áreas cóncavas las que concentran el drenaje superficial mientras que las convexas diluyen el drenaje hacia celdas vecinas.
- Zona de captación: es el área geográfica donde el agua superficial drena hacia un punto determinado.
- Sombreado analítico: es una simulación de sombreado basada en valores de iluminación solar sobre la superficie terrestre con propósitos cartográficos. El efecto visual está dado por la diferenciación en los tonos de la imagen resultado.
- Pendiente: definida como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical.
- Aspecto: se puede definir como la dirección de la pendiente y se mide en grados ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ) en tanto que las zonas planas poseen un valor de -1.

En la Figura 4 se plantea el esquema metodológico que incluye los principales pasos realizados para la obtención de los parámetros definidos para este estudio, los que posteriormente serán integrados en un SIG desarrollado *ad hoc*.

Figura 4: Esquema metodológico



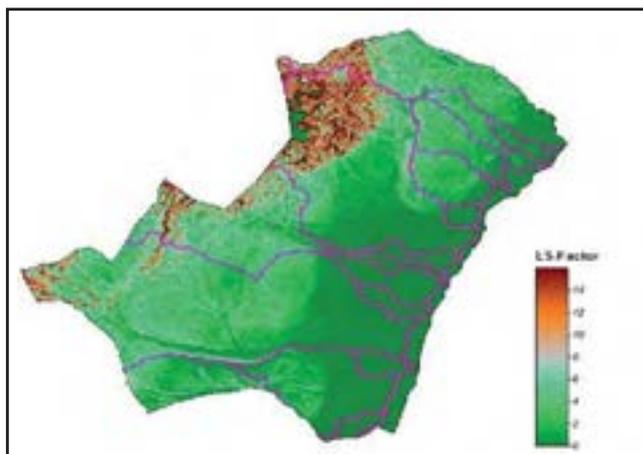
Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

La metodología aplicada para evaluar los parámetros morfométricos en el área bajo estudio proporcionó como resultados la siguiente caracterización:

**Factor LS:** Este factor topográfico muestra las zonas con mayor potencial de erosión hídrica, que en la imagen aparecen en colores marrones oscuros mientras que las zonas donde se realiza la deposición del material extraído corresponden a colores verdes oscuros. En función de este parámetro se pueden determinar, en las diferentes subcuencas, las áreas con mayor riesgo de deslizamiento. En estas zonas resulta elemental conservar la cobertura boscosa para minimizar las consecuencias de este tipo de fenómenos (Figura 5).

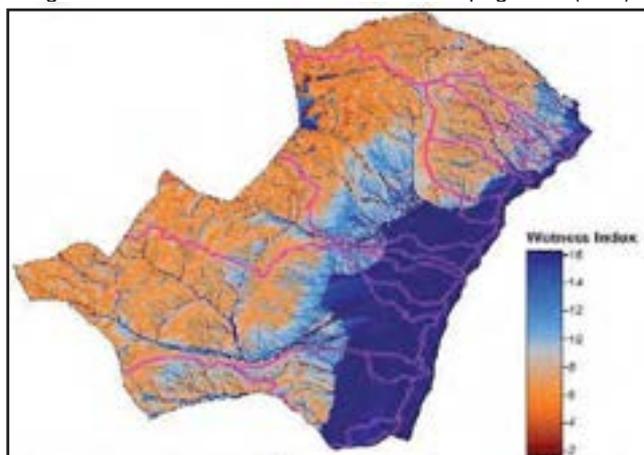
Figura 5: Niveles del Factor topográfico LS



Fuente: Elaboración propia

Índice de humedad topográfica (TWI): Este índice resulta útil para cuantificar el control de la topografía en los procesos hidrológicos e indicar la espacialidad de la humedad del suelo y la saturación de la superficie. En el oeste del departamento, lugar donde las pendientes son máximas, indicadas en colores ocres, el índice presenta los valores de menor potencial de retención de humedad de suelo, mientras que aquellas zonas correspondientes a las áreas planas, indicadas en colores azules, presentan mayores potenciales de retención y saturación (Figura 6).

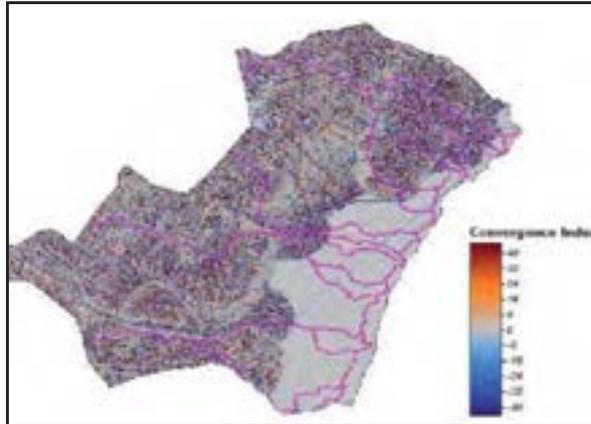
Figura 6: Niveles de Índice de humedad topográfica (TWI)



Fuente: Elaboración propia

Índice de convergencia: Este factor se calculó teniendo en cuenta las celdas adyacentes, su aspecto y su relación con la celda central. Determinó como decrece o crece la celda circundante en relación a la central. La imagen resultante del análisis de este factor permite establecer, para cada subcuenca, las áreas neutras en relación al drenaje superficial (tonos grises) (Figura 7).

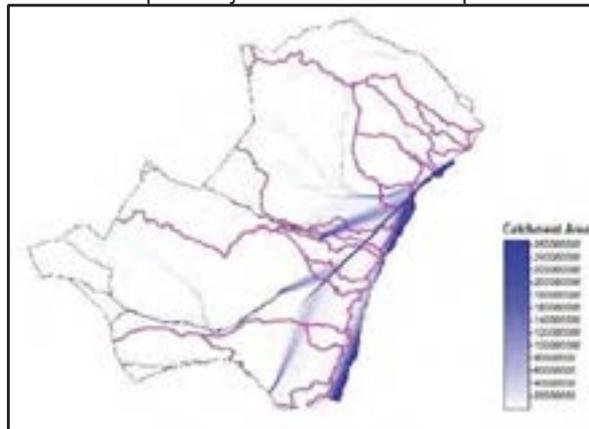
Figura 7: Niveles de Índice de Convergencia



Fuente: Elaboración propia

Zona de captación: En este factor se determina el tamaño del área de aporte en cada subcuenca. Las zonas de color blanco representan el área de captación mientras que las de color azul representan la red hídrica por donde el agua escurre transportando sedimentos (Figura 8).

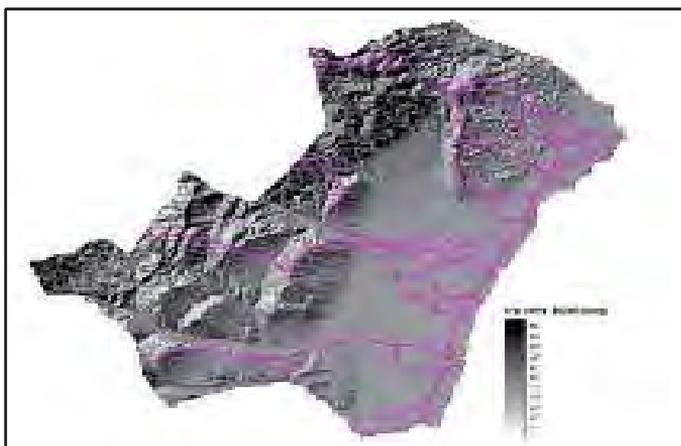
Figura 8: Zona de captación y red hídrica con transporte de sedimentos



Fuente: Elaboración propia

Sombreado analítico: este tipo de raster permite crear mapas que favorecen la interpretación al facilitar la comprensión del relieve, ya que tienen en cuenta como la luz del sol iluminaría la superficie en un punto dado para una posición particular. En este producto se observa que aquellas laderas que resultaron con menor iluminación aparecen en tonos oscuros mientras que las mayores iluminaciones se observan en tonos claros (Figura 9).

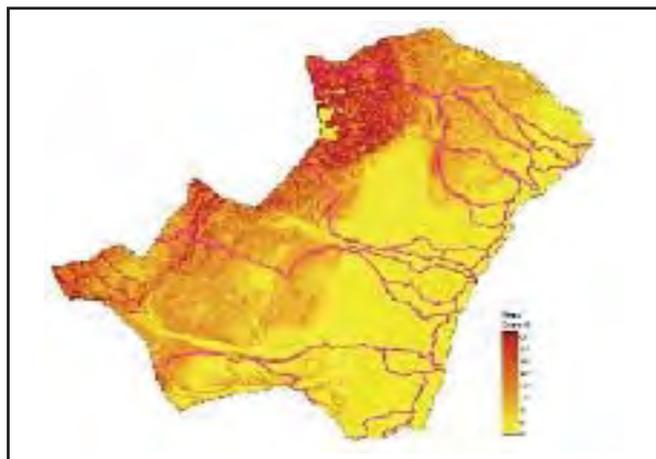
Figura 9: Sombreado analítico



Fuente: Elaboración propia

Pendiente: muestra las áreas de fuerte pendientes en tonos rojizos que indican, en este caso, aquellas zonas críticas con respecto a la pérdida de suelo por erosión hídrica. Como medida de conservación se debe proteger la cubierta boscosa dado que el riesgo de erosión es elevado. Mientras que las zonas de tonos amarillos representan las áreas con menor pendiente y por lo tanto menor factor de erosión (Figura 10).

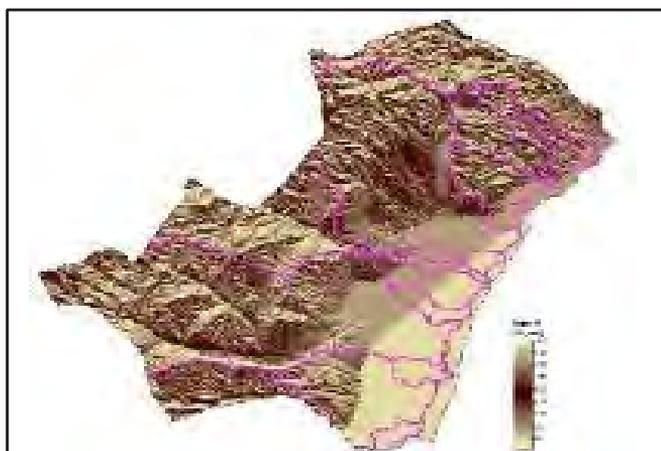
Figura 10: Pendiente



Fuente: Elaboración propia

Aspecto: La dirección de la pendiente muestra la forma de exposición de la superficie. En general las laderas de exposición norte (tonos claros) presentan suelos con menor contenido de humedad que las laderas de exposición sur (tonos oscuros) y por lo tanto menor cobertura vegetal y más bajo contenido de materia orgánica representando suelos más erodables (Figura 11).

Figura 11: Aspecto



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Los parámetros de sombreado analítico, pendiente y aspecto describen características del relieve de la cuenca que permiten una mejor visualización de la misma; tanto la pendiente como el aspecto presentan relación con las características morfométricas lineales y el relieve de las diferentes subcuencas.

En base al análisis de los diferentes parámetros seleccionados se pudo establecer el comportamiento hidrológico de la cuenca. El mismo se encuentra íntimamente relacionado con la topografía y con las características fisiográficas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio aportan información temática en formato raster; la integración de estas capas en un SIG permitirán realizar un análisis espacial más complejo que conducirá a una adecuada evaluación y diagnóstico de las condiciones que afectan la vulnerabilidad ambiental, estableciendo mejores estrategias de gestión y planificación sustentables en ambientes amenazados.

Una etapa posterior debería incluir información de uso y cobertura de la tierra basándose en datos satelitales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G., (2000): La exploración geodigital. Lugar Editorial S.A., Buenos Aires, Argentina
- Di Franco, L.; Cuello, A. y Serafini, M. C. (2012): "Parametrización de la cuenca hidrográfica del río Luján, Argentina, basada en Geomática", Proceedings XV Simposio SELPER Internacional; Cayena, Guyana Francesa
- Donadío, E. (2009): "Ecólogos y mega-minería, reflexiones sobre por qué y cómo involucrarse en el conflicto minero-ambiental"; Ecología Austral, 19(3), págs. 247-254
- Farr, T. G. (2007): "The Shuttle Radar Topography Mission"; Geophys, 45, RG2004, DOI:10.1029/2005 RG000183, págs. 21- 22.

- Gaspari, F. J.; Rodriguez Vagaría, A. M.; Delgado, M. I.; Senisterra, G.E y G.A. Denegri (2011): “Environmental vulnerability in rangeland watersheds, using a GIS Multequina, ISSN 0327-9375, 20, págs. 3-13
- Macias, J. M. (1999): “Desastres y protección civil. Problemas sociales, políticos y organizacionales”. Centro de Investigaciones y Estudios Sociales en Antropología Social”. Dirección General de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal, México. pág. 101
- NASA (2005): Shuttle Radar Topography Mission: Instruments. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm> (Version 06 August 2008)
- Paruelo, J.M.; Guerschman, J. P. y S. Verón (2005): “Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo”; Ciencia Hoy 15, págs. 14-23
- Sanders, B. F. (2007): “Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling”; Advances in Water Resources; V. 30, págs. 1831 – 1843
- Verdin, K.L.; Godt, J.W.; Funk, C.; Pedreros, D.; Worstell, B. y J. Verdin (2007): “Development of a global slope dataset for estimation of landslide occurrence resulting from earthquakes”; Colorado, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1188, pág. 25

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por el aporte recibido para el desarrollo del presente trabajo.

# *Análisis temporal de biomasa y stocks de carbono en un ecosistema de dehesa mediante imágenes Landsat, y su relación con factores climáticos*

José Cáceres, M. Pilar Martín, y Javier Salas

## **Resumen:**

Según la guía de buenas prácticas del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), las técnicas de teledetección son adecuadas para la estimación de los sumideros de carbono a partir de la estimación de la biomasa. En este trabajo se ha utilizado una serie temporal de imágenes Landsat para estimar la cantidad de biomasa del pasto en una zona de dehesa al NE de la provincia de Cáceres (España) en el período 1985-2010. A partir de las imágenes de biomasa obtenidas se ha analizado la evolución de los stocks de carbono en la cubierta herbácea. Se realizaron muestreos de campo de biomasa, así como de radiometría, en cuatro parcelas ubicadas dentro de la zona de estudio para la calibración del modelo. Se aplicó un modelo de regresión lineal entre los datos de campo e índices espectrales para la estimación de biomasa a partir de las imágenes Landsat. El índice EVI obtuvo los mejores ajustes ( $R^2=0.79$ ). Se aplicó un factor de carbono de 50% de la biomasa para la estimación de los stocks de carbono en la cubierta herbácea. Los valores promedios de biomasa mostraron sensibilidad a los cambios extremos de las series temporales de precipitación y temperatura.

**Palabras clave:** Landsat; dehesa; índices espectrales; biomasa; stocks de carbono; variables climáticas

## **Abstract:**

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance (IPCC GPG), remote sensing techniques are suitable for the estimation of carbon sinks, through the estimation of above ground biomass. In this work we used a Landsat time series to estimate grass biomass in a wooded grassland ecosystem

---

located Northeast Cáceres (Spain) from 1985 to 2010. From the results of the estimation of biomass, we analyzed the evolution of carbon stocks in grasslands. Field sampling of biomass were performed, as well as field spectroscopy, in four plots located within the study site for model calibration. Linear regression models between field data and spectral indices were applied for estimating biomass from Landsat data. EVI was the best index for biomass estimation ( $R^2=0.79$ ). A carbon fraction of 50% of the biomass was applied for the carbon stock estimation. The average values of biomass were found to be sensitive to extreme changes in time series of precipitation and temperature.

**Keywords:** Landsat; spectral indices; biophysical variables; carbon stocks; climatic variables

---

**José Cáceres** ( josedavid.caceres@gmail.com), Facultad de Ciencias Espaciales (FACES), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Edificio K2, Ciudad Universitaria, Tegucigalpa M.D.C.; **M. Pilar Martín**, Instituto de Economía, Geografía y Demografía (IEGD), Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); Unidad Asociada Geolab; Javier Salas, Departamento de Geografía y Geología, Universidad de Alcalá (UAH); Unidad Asociada Geolab

## 1. INTRODUCCIÓN

Las masas forestales juegan un papel fundamental en el ciclo del carbono, fijándolo de la atmósfera y almacenándolo en su biomasa, y constituyen, por ende, uno de los más importantes sumideros de carbono. Ante los compromisos suscritos por los países, incluido España, para la mitigación del cambio climático en la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cuantificación del balance de carbono se presenta como uno de los principales desafíos al permitir considerar la fijación de carbono como un objetivo más de la gestión forestal. Esto conlleva la estimación del carbono almacenado en la biomasa, así como el seguimiento de la evolución de estos stocks a diferentes escalas temporales.

La estimación de los stocks de carbono en zonas heterogéneas, como las dehesas, sabanas o bosques abiertos, utilizando sensores remotos, representa desafíos únicos debido a la presencia de dos estratos de vegetación con un comportamiento muy diferenciado, el pasto y las encinas (Todd et al. 1998).

Este estudio se basó en el uso de índices espectrales, derivados de imágenes Landsat, para estimar biomasa en una zona de dehesa en el momento de máxima actividad vegetativa, que corresponde con la época de primavera (marzo-mayo). A partir de una serie temporal de mediciones de campo e imágenes Landsat se ha generado un modelo empírico para la estimación de biomasa infiriendo, a continuación, la capacidad de fijación de carbono. Se ha puesto en relación la evolución temporal de esta variable con los cambios observados en los datos climáticos de estaciones meteorológicas localizadas en nuestra zona de estudio.

## 2. ANTECEDENTES

En la última década, la teledetección ha brindado información esencial sobre la variación espacial y temporal de las cubiertas vegetales, contribuyendo a la estimación de importantes variables biofísicas y bioquímicas. Hasta el momento se han aplicado con éxito enfoques empíricos basados en índices de vegetación que han obtenido un nivel de precisión satisfactorio para estimar importantes parámetros biofísicos de la vegetación como el contenido en clorofila (Blackburn 1998; Broge y Mortensen 2002) y nitrógeno (Hansen y Schjoerring 2003; Martin et al.

2008). Otras aproximaciones basadas en el uso de modelos físicos de transferencia radiativa han demostrado igualmente su utilidad para la estimación de variables de interés como el contenido de agua de la vegetación (Trombetti et al. 2008; Yebra y Chuvieco 2009).

En este contexto se inscriben las actividades del proyecto Biospec (<http://www.lineas.cchs.csic.es/biospec/>), que explora el uso de la teledetección próxima y remota para estimar diversos parámetros biofísicos de la vegetación en una zona de dehesa localizada al Noreste de la provincia de Cáceres (España). Para ello se ha realizado una intensa campaña de campo que ha permitido recopilar un conjunto muy importante de datos sobre el estado de la vegetación y sobre su comportamiento espectral, los cuales están siendo utilizados para calibrar y validar modelos empíricos y físicos para la estimación de variables biofísicas a partir de datos de teledetección obtenidos a diversas escalas espaciales y temporales.

En las últimas décadas la teledetección ha sido utilizada ampliamente para la estimación de biomasa en pasto (Azong Cho et al. 2007; Edirisinghe et al. 2012; Kogan et al. 2004; Malmstrom et al. 2009; Todd et al. 1998). A escala continental, sensores de baja resolución espacial, tales como NOAA AVHRR (Kogan et al. 2004) y MODIS (Muukkonen y Heiskanen 2007), han sido muy utilizados debido a su adecuada cobertura espacial y frecuencia de adquisición. Sin embargo, para cuantificar biomasa a escalas locales, es necesario contar con información obtenida por sensores con una resolución espacial más fina, como la obtenida por Landsat TM y ETM+ (Malmstrom et al. 2009; Meng et al. 2007; Todd et al. 1998). En este caso, el enfoque más frecuente consiste en relacionar índices de vegetación con datos de biomasa tomados en campo a través de modelos estadísticos (Azong Cho et al. 2007; Edirisinghe et al. 2012; Malmstrom et al. 2009; Meng et al. 2007; Muukkonen y Heiskanen 2007; Todd et al. 1998).

Para la estimación de los stocks de carbono a partir de la biomasa, la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) propone aplicar una fracción de carbono (Marklund y Schoene 2006) cuyo valor varía entre el 45% y 53%, utilizándose por defecto, generalmente, un valor de 50%. Cuando se tiene información de la especie sobre la que se quiere estimar el contenido de carbono se pueden aplicar fracciones más acordes a la mismas (García et al. 2010).

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada en una zona de dehesa situada al NE de la provincia de Cáceres (Centro-Oeste de la Península Ibérica). El área propuesta cubre una extensión de 40.280,18 ha e incluye parte del territorio de 12 municipios (Figura 1). La definición del área se realizó utilizando como base la cartografía generada por el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), identificando y seleccionando la zona correspondiente a la cobertura de dehesa.

Figura 1. Mapa de Localización del Área de Estudio



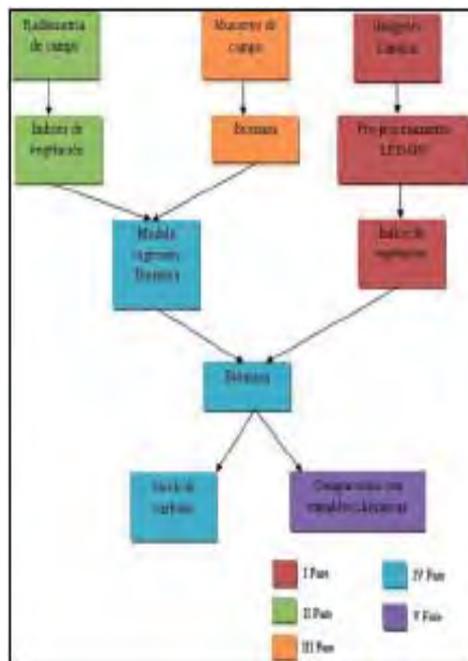
El relieve de la zona es poco accidentado, con una altitud media de 258 m. La zona presenta una precipitación promedio anual de 645 mm y una temperatura media anual de 16.8 °C. Los meses más lluviosos son febrero y marzo, y los más secos, julio y agosto. Las temperaturas máximas se registran durante julio y agosto, y las mínimas en enero y febrero. Predominan los Lixisoles (sustratos no calizos del Mioceno) y la profundidad del suelo es mayor a 80 cm. El tipo de vegetación natural corresponde a las series meso-mediterráneas de *Pyro bourgeanae* – *Querceto rotundifoliae quercetum*, que ha sido transformada en praderas arboladas (encinas y especies herbáceas), incluidas algunas especies arbustivas (*Cistus landanifer*, *Lavandula pedunculata* y *Ulex europaeus*). El manejo de la tierra se centra en el pastoreo intensivo de vacuno. La densidad de árboles es de aproximadamente 20 árboles por hectárea, con una altura promedio de 8 m y un diámetro a la altura del

pecho (DAP) promedio de 40 cm.

#### 4. METODOLOGÍA

Para la consecución de los objetivos planteados, se definió un esquema metodológico en 5 fases (Figura 2). En primer lugar, aunque en paralelo con las dos siguientes fases, se procedió a la selección y pre-procesamiento de las imágenes Landsat, así como al cálculo de diversos índices espectrales. La segunda y tercera fases incluyen el trabajo de campo en el que se realizaron mediciones de la variable biofísica de interés (biomasa), así como de la radiometría de la cubierta de pastizal. En la cuarta fase se generaron modelos empíricos para la estimación de la biomasa a partir de ajustes de regresión lineal entre índices espectrales obtenidos de la radiometría de campo y los valores de biomasa medidos en terreno en las mismas fechas. Utilizando estos modelos empíricos, se estimó la cantidad de biomasa a partir de los índices espectrales obtenidos con las imágenes Landsat. Esta cuarta fase se concluye con la estimación de los stocks de carbono a partir de los valores de biomasa. En la última fase se compara la evolución temporal de las variables estimadas con la de dos variables meteorológicas, la precipitación y la temperatura.

Figura 2. Descripción general del proceso de estimación de biomasa y carbono.



#### 4.1. Selección y pre-procesamiento de Imágenes Landsat

Para este estudio se utilizó una serie histórica de la escena 202-032 adquirida por los sensores Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) y Thematic Mapper (TM) a bordo del satélite Landsat. Las escenas fueron descargadas del servidor gratuito de imágenes del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov/>).

Para el presente trabajo se han utilizado sólo las escenas libres de nubes de nuestra zona de interés disponibles en el catálogo de Glovis para los meses de primavera (marzo a mayo) desde la década de los 80 hasta la actualidad. Con el propósito de obtener la serie más completa posible se seleccionaron escenas tanto de Landsat 7 ETM+ como de Landsat 5 TM. Teniendo en cuenta las limitaciones mencionadas, finalmente se seleccionaron un total de 13 escenas desde 1985 a 2010 (Tabla 1).

**Tabla 1. Listado de escenas Landsat**

Sensor	Fecha de Adquisición
TM	25 marzo 1985
TM	12 abril 1987
ETM+	25 mayo 2000
ETM+	10 abril 2001
ETM+	29 abril 2002
ETM+	18 mayo 2003
ETM+	1 marzo 2004
ETM+	7 mayo 2005
ETM+	24 abril 2006
ETM+	10 marzo 2007
ETM+	9 febrero 2008
ETM+	15 marzo 2009
TM	11 abril 2010

Una vez obtenidas las escenas a utilizar se procedió a realizar el pre-procesamiento de las imágenes, esto incluye la transformación de los niveles digitales (ND) originalmente captados por el sensor a valores de radiancia y reflectividad, incluyendo las oportunas correcciones del efecto atmosférico. Para este fin se utilizó la herramienta desarrollada por el Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS) (<http://ledaps.nascom.nasa.gov/>).

LEDAPS es un proyecto de la NASA cuyo objetivo es cartografiar las perturbaciones, la regeneración y la conversión forestal permanente en Norteamérica (Masek et al. 2006). Entre las herramientas desarrolladas en el proyecto para el tratamiento y análisis de imágenes de satélite se encuentra el software LEDAPS preprocessing (<http://ledaps.nascom.nasa.gov/tools/tools.html>), originalmente desarrollado en la NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) por Eric Vermote, Saleous Nazmi, Kutler Jonathan y Robert Wolfe. Esta herramienta se ha utilizado para el pre-procesamiento de todas las imágenes Landsat utilizadas en este trabajo.

El proceso llevado a cabo por la herramienta LEDAPS consiste en una línea de comandos, ejecutados secuencialmente, que constan de 4 pasos:

- Extracción de los metadatos del producto Landsat estándar y generación de los archivos de configuración para el resto del proceso. También genera la cabecera de los archivos para el programa de tratamiento digital ENVI (<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx>).
- Calibración radiométrica de Landsat-5 TM y Landsat-7 ETM+.
- Generación de una máscara de nubes utilizando el algoritmo Automated Cloud Cover Assesment (ACCA) (Irish et al. 2006).
- Corrección atmosférica.

En este trabajo la calidad de la corrección efectuada por la herramienta LEDAPS fue contrastada con datos de radiometría de campo obtenidos simultáneamente a la adquisición de una de las imágenes analizadas correspondiente al 30 de junio de 2010.

#### *4.2. Mediciones de Campo de Variables Biofísicas.*

Con el propósito de calibrar un modelo empírico para la estimación del contenido en biomasa del pasto a partir de las imágenes Landsat, se utilizaron los datos de terreno recopilados en el ámbito del proyecto BIOSPEC. Estos datos se refieren a un total de 12 parcelas de 25x25 m localizadas en la dehesa objeto de estudio. Estas parcelas fueron muestreadas cada 16 días haciendo coincidir el muestreo con el paso del satélite Landsat 5 desde marzo de 2009 hasta abril de 2011. De las

12 parcelas disponibles se seleccionaron para este estudio las 4 que presentaban mayor densidad de vegetación, y de las fechas disponibles se utilizaron sólo las correspondientes a los meses de marzo y abril, que corresponden con el pico de verdor de la cubierta herbácea en esta zona. El objetivo de esta selección fue el de obtener datos de biomasa en parcelas/periodos con escasa o nula presencia de material senescente y suelo descubierto que pudieran interferir en la relación entre el dato de biomasa medido en terreno y la respuesta espectral de la vegetación captada por el sensor (Malmstrom et al. 2009).

Las medidas de biomasa se realizaron mediante muestreo destructivo. Se muestrearon 3 cuadrantes de 25x25 cm distribuidos aleatoriamente en cada parcela. En cada cuadrante se recogió toda la vegetación cortándola a ras de suelo y se introdujo en una bolsa con cierre hermético, que fue pesada en el campo con una balanza de dos dígitos de precisión. Las muestras fueron transportadas al laboratorio donde se secaron en estufa a 60 grados centígrados durante 48 horas, después fueron pesadas de nuevo utilizando la misma báscula de campo. El contenido de biomasa del pasto se calculó como peso seco de la muestra dividido por el área del cuadrante.

#### *4.3. Mediciones de radiometría de campo*

En cada una de las parcelas en las que se tomaron muestras de biomasa de la vegetación, se realizaron también mediciones de radiometría sobre el terreno utilizando un espectro-radiómetro ASD FieldspecFR3 que recoge información entre 400 y 2500 nanómetros. Se realizaron dos transectos por parcela, uno NW-SE y otro NE-SW. Estas mediciones se realizaron en una franja horaria de  $\pm 2$  horas respecto al mediodía solar, utilizando una óptica de 25° y a una distancia aproximada de 1 metro sobre el dosel vegetal. Por cada transecto se tomaron una media de 10 mediciones, por lo que se contó finalmente con unos 20 espectros por parcela.

Los valores de reflectividad obtenidos con el ASD Fieldspec FR3, disponibles en intervalos de 1 nm, fueron remuestreados a las bandas Landsat-TM utilizando el software ENVI que considera la función de respuesta espectral de cada banda. Con esta información se calcularon diversos índices espectrales propuestos en la literatura para estimar el contenido en biomasa de la vegetación.

#### 4.4. Calibración de los modelos para la predicción de biomasa.

Para la estimación de biomasa a partir de los datos de radiometría de campo y de las imágenes Landsat se emplearon en este trabajo los siguientes índices espectrales: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), cociente simple (SR), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) e Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Los índices se calcularon utilizando las siguientes expresiones (Marklund y Schoene 2006):

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (1)$$

$$SR = \frac{TM4}{TM3} \quad (2)$$

$$SAVI = \left( \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3 + 0.5} \right) \times (1 + 0.5) \quad (3)$$

$$EVI = 2.5 \times \left( \frac{TM4 - TM3}{TM4 + 68TM3 - 7.58TM1 + 1} \right) \quad (4)$$

Una vez calculados los índices a partir de los datos de radiometría de campo se realizó un análisis de correlación entre éstos y los datos de biomasa medidos en las 4 parcelas seleccionadas para las siguientes fechas: 23 de marzo, 7 y 24 de abril de 2009, 11 de abril de 2010, 30 de marzo y 14 de abril de 2011. El dato de campo para cada parcela fue un promedio de los 3 cuadrantes muestreados en cada una de ellas.

A partir del dato de la medición de biomasa en campo y del valor del índice de vegetación seleccionado se procedió a realizar un análisis de regresión lineal para obtener la ecuación de ajuste del modelo para la estimación de la biomasa. El modelo resultante se aplicó a las escenas Landsat seleccionadas para obtener los valores de biomasa para la serie temporal. Con este valor de biomasa se procedió a estimar el contenido de carbono aplicando una fracción de carbono del 50% del total de la biomasa.

#### 4.5. Información Climatológica

Con el objetivo de analizar la posible relación existente entre la evolución anual de la biomasa con variables climatológicas, como precipitación y temperatura, se procedió a identificar las estaciones meteorológicas más cercanas al área de

estudio. Se seleccionaron cinco estaciones próximas o incluidas en el área de estudio (Figura 1). Estos datos fueron solicitados a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para obtener las series históricas existentes.

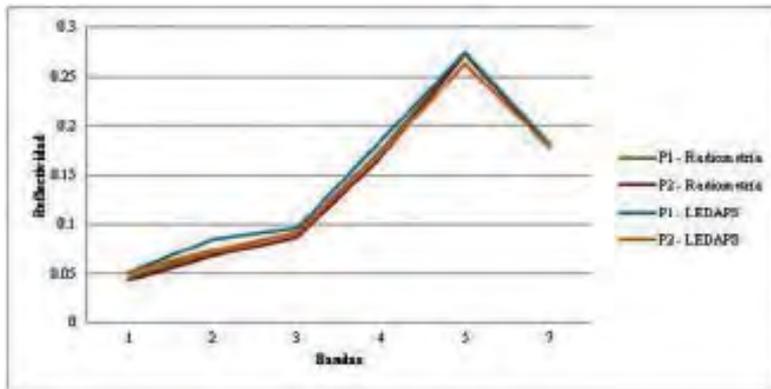
Una vez obtenida la serie temporal de datos a utilizar, a partir de la fecha de adquisición de las escenas, se calculó la precipitación acumulada para dos meses (mes anterior y el propio mes de la toma de la imagen), así como también la temperatura máxima promedio para esos dos meses. Con estos datos, se realizó una comparación de la distribución temporal existente entre la precipitación y temperatura con la biomasa, de cara a identificar la posible influencia de las condiciones climáticas sobre las variables biofísicas analizadas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. *Pre-procesamiento de imágenes Landsat*

Tal y como se ha descrito en el apartado de metodología, para comprobar la fiabilidad de la corrección radiométrica y atmosférica realizada por la herramienta LEDAPS se contó con datos de radiometría de campo para dos parcelas de calibración definidas por el proyecto BIOSPEC. Los valores de reflectividad medidos en el campo se compararon con los obtenidos utilizando la herramienta LEDAPS para la imagen Landsat 5 TM del 30 de junio de 2010. En la figura 3 se presentan las curvas espectrales obtenidas con los datos de campo y las extraídas de la imagen para las dos parcelas de calibración. Como se puede observar, las diferencias son mínimas entre ambos conjuntos de datos. De hecho, al realizar un análisis más cuantitativo de la información, se obtuvo que no existía una diferencia estadística significativa, existiendo una correlación fuerte entre los datos de campo y los de la imagen ( $R^2 = 0.99$ ), lo que indica que la herramienta LEDAPS resulta adecuada para el pre-procesamiento semi-automático de series temporales de imágenes Landsat.

Figura 3. Comparación de espectros para las parcelas de calibración



En general, se obtuvo una diferencia media entre los valores de reflectividad medidos en campo y los de satélite de 0.0061 para la parcela 1 y 0.0021 para la parcela 2. En la tabla 2 se presentan las diferencias porcentuales de variación observadas en cada banda del sensor para las dos parcelas de calibración. Los valores obtenidos mediante el uso de la herramienta LEDAPS fueron generalmente mayores que los obtenidos por radiometría de campo, si bien hubiera sido deseable realizar una validación más completa, que incluyera otras fechas/imágenes.

### 5.2. Estimación de biomasa y carbono

Los cuatro índices de vegetación utilizados para la estimación de la biomasa ofrecieron buenas correlaciones con la variable dependiente (biomasa medida en campo), con valores superiores a 0.73 (Tabla 3) y con un p-valor <0.0001. La mejor correlación se obtuvo con el EVI, con un  $R^2 = 0.79$ , por lo cual fue éste el seleccionado para la estimación de la biomasa a partir de imágenes Landsat.

Tabla 2. Diferencias relativas para cada banda entre reflectividad medida con radiometría de campo y reflectividad obtenida de Landsat después de aplicar

Bandas	Longitud de Onda Central	% de Variación Parcela 1	% de Variación Parcela 2
1	0,486572	10,14	10,71
2	0,570932	17,98	9,53
3	0,660975	5,95	4,97
4	0,836878	5,63	2,30
5	1,676651	0,12	-3,70
7	2,215476	-1,79	0,53

Tabla 3. Coeficientes de Correlación entre los valores de biomasa medidos en terreno y los índices espectrales calculados a partir de radiometría de campo

Índice	R <sup>2</sup>
NDVI	0,7399
SR	0,7444
SAVI	0,7899
EVI	0,7939

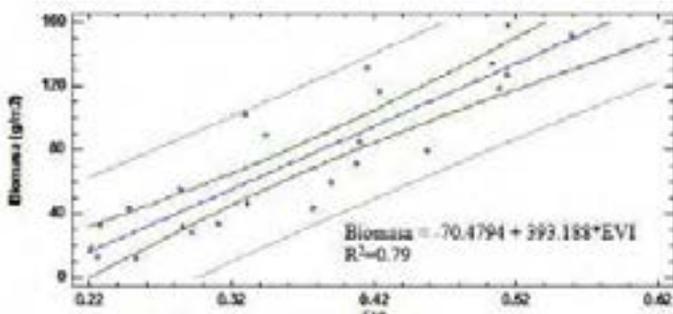
Los resultados obtenidos en nuestro estudio son similares a los obtenidos por Malmstrom *et al.* (2009) para la estimación de biomasa en una zona de pastizales en el valle de Sacramento, California. Los autores obtuvieron un  $R^2= 0.79$  y  $0.83$  para el SR y el NDVI respectivamente, realizando las mediciones durante marzo y abril. Todd *et al.* (1998) obtuvieron correlaciones algo inferiores utilizando modelos de regresión para zonas de pastoreo en un centro experimental en Colorado, estimando la biomasa mediante la aplicación de cuatro índices: GVI ( $R^2=0.67$ ), NDVI ( $R^2=0.66$ ), RED ( $R^2=0.64$ ) y WI ( $R^2=0.62$ ). Kogan et al. (2004) también obtuvieron correlaciones inferiores ( $R^2=0.658$ ) al utilizar el *vegetation health* (VH), índice derivado del NDVI y la temperatura de brillo, para imágenes NOAA-AVHRR.

La ecuación de ajuste del modelo para la estimación de la biomasa a partir de los valores del EVI aparece en la figura 4. Esta función fue aplicada a las imágenes EVI calculadas a partir de la serie temporal Landsat, obteniéndose el valor de biomasa de la cubierta herbácea para cada uno de los años de estudio (Figura 5).

Los valores de biomasa obtenidos a nivel de píxel para la serie temporal presentaron rangos desde valores muy cercanos a cero hasta 2,839.92 Kg/ha, este valor máximo de la serie se registró en el año 2004. En general el valor medio de biomasa para cada píxel en toda la serie temporal fue de 772.30 Kg/ha.

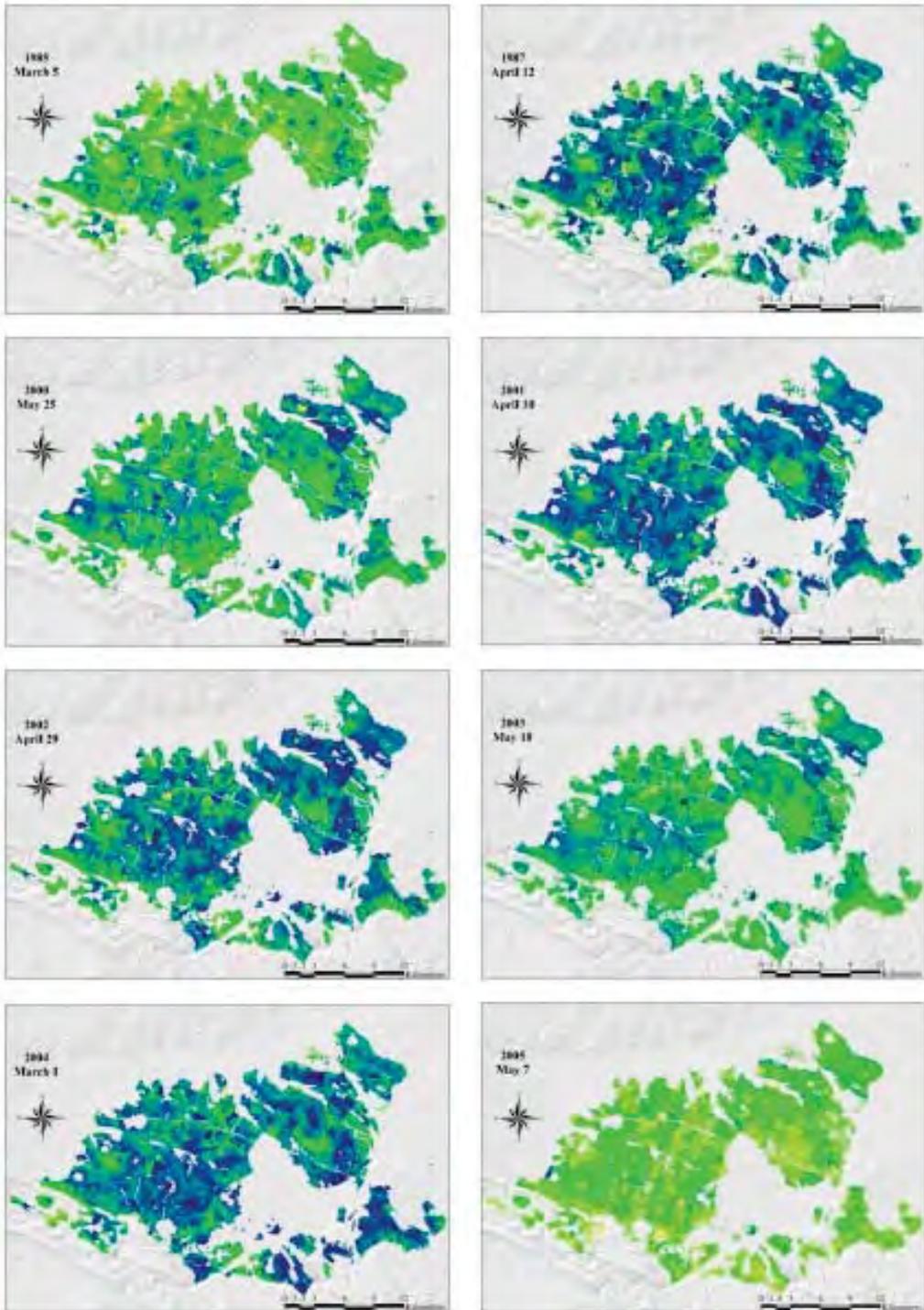
Malmstrom *et al.* (2009) obtuvieron valores un poco más elevados, registrando valores de hasta 3,640 Kg/ha para su zona de estudio y Kogan *et al.* (2004) obtuvieron un valor medio anual de 1,400 Kg/ha. En cambio Todd *et al.* (1998) obtuvieron valores inferiores, registrando un valor máximo de 1,600 Kg/ha.

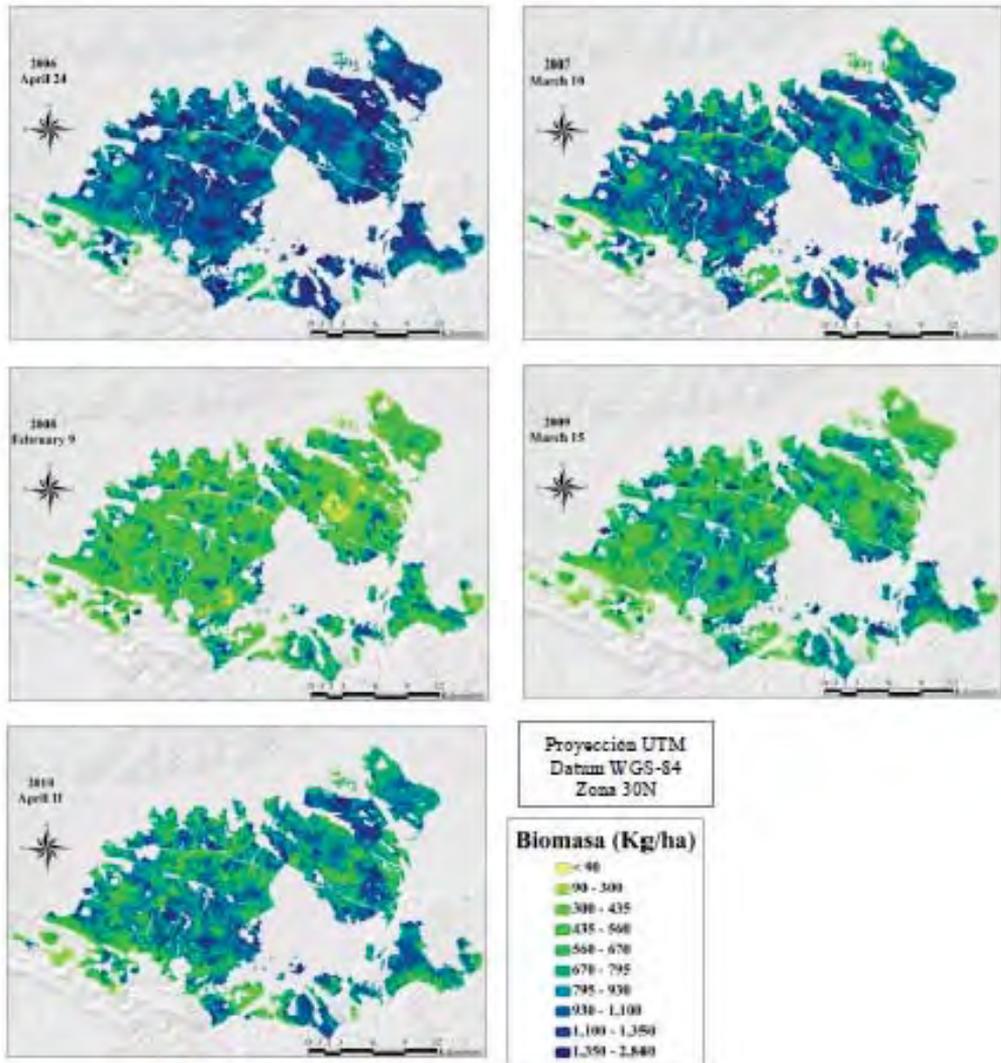
Figura 4. Gráfico del Modelo Ajustado para la Estimación de Biomasa



En general se observa una distribución espacial bastante uniforme de la biomasa en la zona de estudio, aunque aparece un sector al noreste en el que se registran valores más altos a lo largo de toda la serie. En el ámbito temporal se observa una mayor variabilidad con algunos años extremos como 2005, que presenta una disminución en la biomasa estimadas del 53% respecto del promedio y el 2006, con un aumento del 38% con respecto al promedio.

Figura 5. Estimaciones de Biomasa del pasto obtenida a partir de imágenes Landsat para la zona de estudio, 1985-2010.





A partir de los valores de biomasa medios anuales calculados anteriormente, se procedió a aplicar la fracción de carbono del 50% del total de biomasa, para estimar el comportamiento de los stocks de carbono en el pasto en la zona de estudio. Los resultados se muestran en la tabla 4, teniendo en cuenta que la relación es directa entre la biomasa y el contenido de carbono, la tendencia en el comportamiento anual de las dos variables es exactamente la misma.

Para el período de estudio, el contenido de carbono en el pasto osciló entre 180 Kg/ha para el año 2005 y 536.09 Kg/ha para el 2006. El valor medio de contenido de carbono para toda la serie temporal fue de 386.15 Kg/ha.

La mayoría de los estudios realizados en la estimación de los stocks de carbono se realizan sobre masas forestales ya que son sumideros con mayor capacidad y mayor estabilidad temporal que las zonas de pastos, por lo cual resulta difícil comparar los valores obtenidos del contenido de carbono en nuestro ecosistema ya que serán inferiores a las cantidades presentes en masas boscosas.

Tabla 4. Cantidad promedio de biomasa y carbono estimado para la temporada de primavera en cada uno de los años analizados

Año	Biomasa Promedio (Kg/ha)	Contenido Carbono (Kg/ha)
1985	545.54	272.77
1987	850.45	425.23
2000	704.12	352.06
2001	935.32	467.66
2002	885.86	442.93
2003	679.51	339.76
2004	925.01	462.50
2005	360.01	180.00
2006	1072.17	536.09
2007	971.05	485.52
2008	589.89	294.94
2009	693.81	346.90
2010	827.12	413.56

### 5.3. Relación con variables climáticas

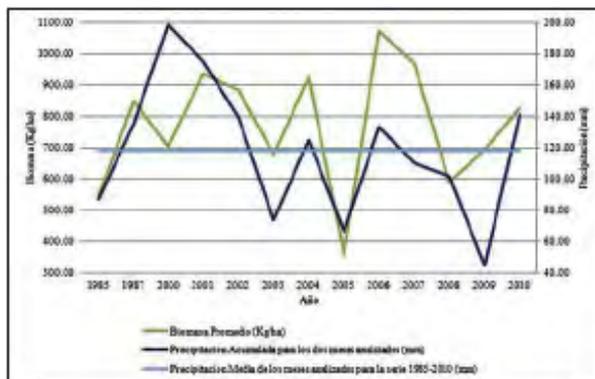
Los análisis realizados de comparación de muestras indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los datos obtenidos para las cinco estaciones meteorológicas, registrando un  $R^2 = 0.95$  para las precipitaciones y un  $R^2 = 0.99$  para las temperaturas.

Teniendo en cuenta la coincidencia existente para la serie histórica de datos entre las cinco estaciones analizadas, y para evitar el uso de estaciones que presentaban algunas lagunas en la serie temporal de los datos, se decidió tomar como referencia únicamente los datos de la estación de Navalmoral de la Mata, al presentar la serie más completa y estar ubicada dentro de nuestra zona de estudio (Figura 1).

Durante la serie temporal analizada (1985-2010) se observaron algunos años con comportamientos extremos. Así la precipitación fue muy inferior a la media en 2005 (43%), coincidiendo con el año con menor valor promedio de biomasa

(360.01 Kg/ha), y muy superior en el 2001, 48% por encima de la media, año en el que se registró uno de los valores más altos de biomasa promedio (935.32 Kg/ha). El resto de los años muestran valores más cercanos a la media (Figura 6).

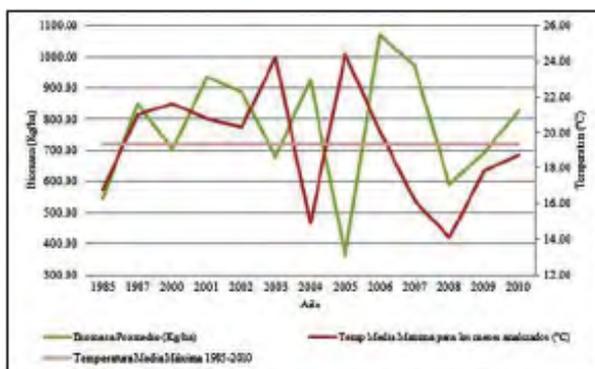
Figura 6. Serie temporal de precipitación y valor medio de biomasa estimada para primavera en la zona de estudio



La biomasa mostró correlaciones bajas con las precipitaciones, aunque puede observarse una evolución temporal similar, con incrementos y descensos en los mismos años, a excepción de los años 2000 y 2009, en los que estas variables experimentan comportamientos opuestos. El 2009 fue un año especialmente seco, pero la imagen se adquirió poco después de registrarse precipitación en la zona de estudio, aunque en el conjunto de los dos meses utilizados en la comparación la cantidad de precipitación registrada fue muy baja. La divergencia en el año 2000 parece estar relacionada con la fecha de adquisición de la imagen (25 de mayo), en la que probablemente el pasto estaría notablemente seco.

Como en el caso de las precipitaciones, la temperatura también ofreció bajos valores de correlación con el contenido de biomasa. No obstante, salvo alguna excepción, se observa una clara tendencia inversa entre ambas variables, de manera que de acuerdo a lo observado, temperaturas más altas conllevan menores contenidos de biomasa (Figura 7).

Figura 7. Serie temporal de temperatura máxima y valor medio de biomasa estimada para primavera en la zona de estudio



## 6. CONCLUSIONES

En este estudio hemos investigado el uso de índices espectrales derivados de los sensores TM y ETM+ a bordo del satélite Landsat para la estimación de biomasa y stocks de carbono del pasto en una zona de dehesa, así como la importancia de contar con información medida en campo para calibrar los modelos de estimación a partir de regresiones simples. Las imágenes Landsat fueron corregidas radiométricamente de forma automática utilizando la herramienta LEDAPS antes del cálculo de los índices espectrales y se obtuvo que, para la predicción de biomasa en pastos, la utilización de un índice como el EVI brinda un modelo más robusto ( $R^2=0.79$ ) frente a otros índices más tradicionales como el NDVI, siendo este valor comparable con resultados obtenidos por otros autores que han empleado una metodología similar (Malmstrom et al. 2009; Todd et al. 1998). Estos datos ponen de manifiesto el interés de utilizar imágenes de satélite para la estimación de variables biofísicas, que de otra manera requerirían de costosos muestreos de campo, inabordables para territorios extensos.

Resalta el hecho de que la variable analizada es sensible a los cambios extremos en las condiciones climáticas, presentando sus valores más bajos en el año en que se registró la menor cantidad de precipitación y a su vez la mayor temperatura máxima (2005) en la zona, lo cual tuvo un impacto directo en la cantidad de biomasa.

Aunque la serie temporal analizada registra importantes lagunas debidas a la inexistencia de imágenes Landsat en el catálogo Glovis, parece registrarse una ligera tendencia de disminución del contenido de biomasa en la serie temporal analizada, que se corresponde con una tendencia Figura 7. Serie temporal de temperatura máxima y valor medio de biomasa estimada para primavera en la zona de estudio similar en el registro de precipitaciones. La tendencia hacia una menor cantidad de lluvia limitaría en gran medida la biomasa del pasto y, por ende, reduciría su capacidad de fijar carbono, tal y como se observó en el año con menor cantidad de precipitación dentro de la serie temporal.

## Agradecimientos

Agradezco a la Fundación Carolina por la beca otorgada para desarrollar el Máster en Tecnologías de la Información Geográfica en la Universidad de Alcalá, del cual se desprende este trabajo. Al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) por la disponibilidad de las imágenes Landsat. A Jeffrey Masek por facilitar el acceso a la herramienta de pre-procesamiento de LEDAPS y a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por la cesión de los datos meteorológicos. Este trabajo se ha realizado en el contexto de las actividades del proyecto BIOSPEC (CGL2008-02301/CLI) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación español.

## BIBLIOGRAFÍA

- Azong Cho, M., Skidmore, A., Corsi, F., van Wieren, S., & Sobhan, I. (2007). Estimation of green/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, 414-424
- Blackburn, G.A. (1998). Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales; an evaluation of some hyperspectral approaches. *Remote Sensing of Environment*, 6, 273-285
- Broge, N.H., & Mortensen, J.V. (2002). Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 81, 45-57

- Edirisinghe, A., Clark, D., & Waugh, D. (2012). Spatio-temporal modelling of biomass of intensively grazed perennial dairy pastures using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 16, 5-16
- García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., & Danson, F.M. (2010). Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment*, 114, 816-830
- Hansen, P.M., & Schjoerring, J.K. (2003). Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing of Environment*, 86, 542-553
- Irish, R., Barker, J., Goward, S., & Arvidson, T. (2006). Characterization of the Landsat-7 ETM+ Automated Cloud Cover Assessment (ACCA) Algorithm. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 1179-1188
- Kogan, F., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C., & Tsooj, S. (2004). Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Remote Sensing of Environment*, 25, 2889-2896
- Marklund, L.G., & Schoene, D. (2006). Global assessment of growing stock, biomass and carbon stock. In FAO (Ed.), *Forest resources assessment programme 2005. Working paper 106*. Rome (Italy): *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*
- Martin, M.E., Plourde, L.C., Ollinger, S.V., Smith, M.L., & McNeil, B. (2008). A generalizable method for remote sensing of canopy nitrogen across a wide range of forest ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3511-3519
- Masek, J.G., Vermote, E., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F., Huemmrich, K., Gao, F., Kutler, J., & Lim, T.-K. (2006). A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990-2000. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, 68-72
- Meng, Q., Cieszewski, C., Madden, M., & Borders, B. (2007). A linear mixed-effects model of biomass and volume of trees using Landsat ETM+ images. *Forest Ecology and Management*, 244, 93-101

- 
- Muukkonen, P., & Heiskanen, J. (2007). Biomass estimation over a large area based on standwise forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: A possibility to verify carbon inventories. *Remote Sensing of Environment*, 107, 617-624
  - Todd, S.W., Hoffer, R.M., & Milchunas, D.G. (1998). Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 427-438
  - Trombetti, M., Riaño, D., Rubio, M.A., Cheng, Y.B., & Ustin, S.L. (2008). Multitemporal vegetation canopy water content retrieval using Artificial Neural Networks for the USA. *Remote Sensing of Environment*, 112, 203–215
  - Yebra, M., & Chuvieco, E. (2009). Linking ecological information and radiative transfer models to estimate fuel moisture content in the Mediterranean region of Spain : Solving the ill-posed inverse problem. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2403–2411

# *La planificación ecológica del territorio a través del análisis multitemporal en San Ignacio, Misiones, República Argentina*

Sandra Cavallaro y Catalina Fratolocchi

## **Resumen:**

El desarrollo económico y el crecimiento poblacional producen no sólo una demanda constante de territorio sino una creciente presión sobre el medio biofísico. La provincia de Misiones representa en la Argentina uno de los sitios con mayor biodiversidad. Sin embargo, en el sur de esta provincia, en el municipio de San Ignacio, la gran superficie ocupada por emprendimientos agroforestales está provocando la reducción y alarmante fragmentación de la selva, con la consecuente pérdida de biodiversidad. El proceso de deforestación y siembra de especies comerciales, que si bien señala un incremento positivo en la economía, también presenta indicadores sociales que muestran su escasa relevancia en el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. Frente a esta situación, el análisis multitemporal a lo largo de los últimos 17 años ha logrado cuantificar la pérdida de ambientes naturales y el crecimiento de las actividades agroforestales. Entendemos que frente a esta realidad, la planificación ecológica del territorio constituye una herramienta que brinda un diagnóstico integral del uso territorial y ofrece los elementos necesarios para definir criterios ambientales en la toma de decisiones. La planificación ecológica se erige como un instrumento de la política ambiental cuyo objeto es regular las actividades productivas, con el fin de lograr un aprovechamiento ambiental racional, promoviendo las estrategias de desarrollo sustentable y evitando la irreversible destrucción de los ecosistemas.

**Palabras clave:** Planificación ecológica/ estudios multitemporales/ biodiversidad/.

## **Abstract:**

The economic development and population growth does not only produce a constant demand for territory but also an increasing pressure on the biophysical environment. The province of Misiones in Argentina is one of the sites of greater biological diver-

sification. Nevertheless on the south of this province, in the town of San Ignacio, a large area occupied by agroforestry enterprises is causing an alarming reduction and fragmentation of the forest, with the consequent loss of biodiversity. Even though the processes of deforestation and sowing of commercial species can provide to a positive economical growth, they also carry social indicators that show their small relevance at improving the inhabitants' life conditions. Taking this situation into account, a multitemporal analysis carried out over the past 17 years has managed to quantify the loss of natural environments and the growth of agroforestry. We understand that, confronting this reality, ecological land planning is a tool that provides a comprehensive assessment of land use providing the necessary elements to define environmental criteria in decision-making. Ecological planning stands as an instrument of environmental policy aimed to the regulation of productive activities in order to achieve a rational environmental use by promoting sustainable development strategies and preventing the irreversible destruction of ecosystems.

**Keywords:** Ecological Planning / multitemporal studies / biodiversity /.

---

**Sandra Cavallaro y Catalina Fratalocchi** (scavall@gmail.com). Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)- CONICET.

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones es una de las regiones con mayor riqueza florística de la República Argentina (Zuloaga et al., 1999, Ponce et al., 2002). Cuenta con 3143 especies de plantas vasculares con numerosos endemismos. La vegetación característica de esta provincia son las selvas subtropicales y las sabanas (Martínez Crovetto, 1963; Cabrera, 1976). En la actualidad, más del 50% de la vegetación natural fue reemplazada por actividades forestales y agropecuarias, con plantaciones de Pinos, Araucarias, Eucalyptus, yerba mate, té, tabaco y distintos tipos de ganadería (Biganzoli et al; 2004). A pesar de su enorme importancia, los bosques tropicales y subtropicales, tanto a nivel nacional como regional en latinoamérica, sufren una permanente retracción.

Si bien las actividades extractivas en la selva misionera datan desde la época de los Jesuitas, la tasa de deterioro por extracción de especies leñosas de valor comercial o el total reemplazo de los ecosistemas naturales por sistemas de producción forestal, se ha incrementado enormemente en las últimas 5 décadas. Algunas estimaciones informan que entre 1960 y 1985 se talaron 500.000 ha de bosques nativos (Cammarata, E., 1999). Esta situación de deterioro progresivo de los ambientes naturales ha estado íntimamente ligada a legislaciones que involucraban promociones y subsidios a las actividades forestales (Ley Nacional 25080, promulgada en enero de 1999). En el periodo 1998/2002 se registró una disminución de 67.233ha en los bosques nativos de la provincia de Misiones, que ocupaban 1.212.460 ha en el año 2002. En el periodo 2002/2006 se perdieron 62.412 ha más (Cammarata, E., 1999).

Ante este panorama se requieren estudios que permitan no solo cuantificar sino analizar la evolución ambiental regional con el objetivo de una planificación con criterios sustentables. En este contexto, como disciplina de integración, la ecología del paisaje ofrece un marco interpretativo que nos permite analizar tanto la estructura como la dinámica de los distintos mosaicos terrestres en función de los fenómenos sociales y naturales, lo que permite abordar a una planificación ecológica del territorio. Reuniendo las bases metodológicas de la ecología a través del estudio de la dinámica de los ecosistemas y los principios geográficos del paisaje, la ecología del paisaje es capaz de abordar el análisis territorial desde una perspectiva sistémica que integra las actividades económicas con el ambiente natural.

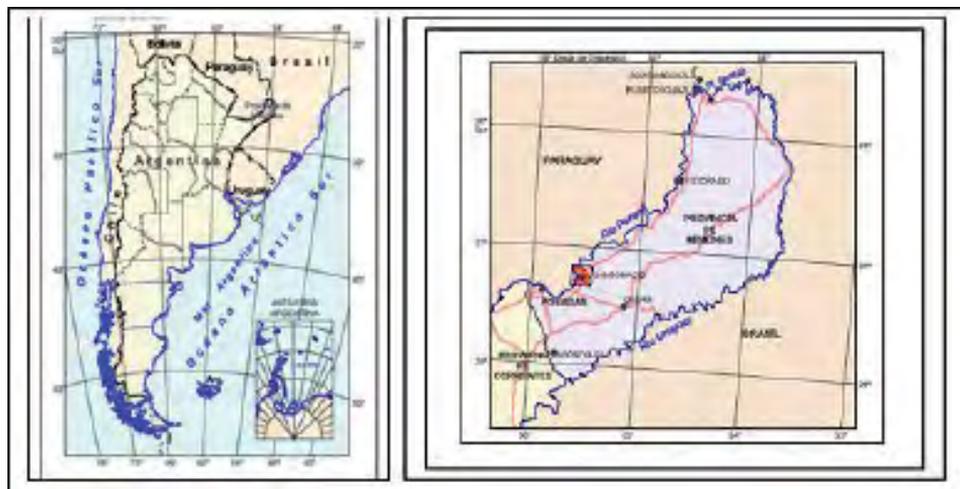
Asimismo, los mapas de vegetación constituyen un eje fundamental para la planificación territorial. La vegetación suele ser uno de los principales elementos del paisaje, indicador, a su vez, de ciertas condiciones del medio físico.

Podemos decir que la vegetación influye en los procesos morfogenéticos (Ibarra Benloch, 1989), siendo al mismo tiempo, el elemento esencial para la identificación de los ecosistemas presentes, su estado de conservación y su dinámica. Por otra parte, los mapas de uso del suelo aportan información sobre la distribución de actividades en un área dada y su ubicación en referencia a sitios naturales. Como el uso del suelo constituye un factor dinámico esta cartografía específica nos permite contemplar la realidad actual de un territorio. El análisis de estas variables y la dinámica de los cambios pueden aportar diagnósticos territoriales adecuados a planes de ordenamiento territorial.

En la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino) se desarrollan cartas de línea de base con aplicación, entre otros, en estudios de ordenamiento territorial. Uno de estos trabajos, realizado en la Localidad de San Ignacio, Misiones, es el que se utilizó como base para la presente evaluación multitemporal (Tchilinguirián, P., *et al*, 2005). Es importante destacar que si bien las comunidades vegetales naturales varían con el tiempo estructural y funcionalmente, atravesando diversos estados sucesionales, las interacciones antrópicas suelen modificarlas de un modo más abrupto y definitivo. Estas alteraciones pueden eliminar individuos, poblaciones o ecosistemas completos en función de la implementación de usos comerciales. Estas acciones suelen determinar una fuerte simplificación en la forma y estructura de los parches naturales, eliminando las superficies irregulares a través de recortes lineales que facilitan, por ejemplo, las tareas agroforestales.

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el sector occidental de la provincia de Misiones, Argentina, a 60 Km de la Ciudad de Posadas, capital de la provincia. La Localidad de San Ignacio constituye el asentamiento poblacional más importante del área (Mapa 1).



## El medio biofísico y social

La vegetación de la Provincia de Misiones pertenece al dominio amazónico de la región fitogeográfica neotropical (Cabrera, 1976), que abarca un inmenso territorio desde el Sur de Brasil, Paraguay y NE de Argentina, caracterizado en su mayor parte por selvas tropicales y subtropicales. Los condicionamientos hídricos y edáficos determinan la distribución de las comunidades vegetales del área, donde es posible encontrar una gran diversidad de ambientes. Se desarrollan selvas hidrófilas en las riberas del río Paraná, selvas y bosques abiertos con urunday (*Astronium balansae*) y sabanas con pajonales de “paja azul” y la palmerita enana (*Allagoptera campestre*). Todas estas unidades se encuentran alteradas con respecto a su estructura original.

El mapa de Unidades Fisonómico Estructurales de vegetación actual confeccionado en el año 2000 fue utilizado como mapa base del presente estudio. El mismo fue simplificado en unidades de síntesis para facilitar la interpretación. (Mapa 1, Tabla 1).

Figura 2. Mapa 1: A: unidades fisonómico estructurales de

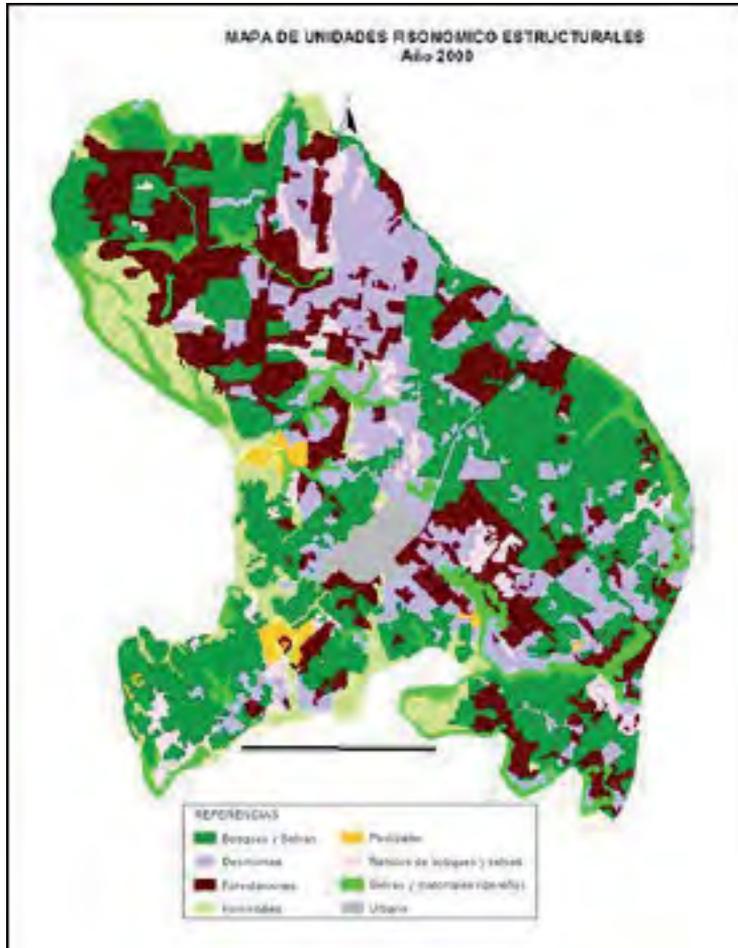


Tabla 1: Descripción de las unidades de síntesis del mapa de fisonómico estructural de vegetación actual.

Unidades de síntesis	Breve caracterización	Unidades de síntesis	Breve caracterización
1. Bosques y selvas	Bioma multiestratificado, se establece sobre lomadas suaves. Originalmente con muy alta biodiversidad, pero con diferentes grados de deterioro al momento del muestreo. Por este motivo se dividió en 4 subunidades según su estado de conservación. Se tomaron como unidades de síntesis las subunidades I, II y III, considerando características como la cobertura específica y la estratificación.	2. Selvas y matorrales ribereños	Incluye las selvas en galería y bosquillos uni o biestratificados que ocupan los albardones del río Paraná y arroyos.
3. Humedales	Ocupados por comunidades hidrófilas, se desarrollan en valles inundables. La vegetación predominante son los pajonales con ciperáceas, juncáceas y cañaverales. Pueden presentar un estrato arbustivo en los sectores más altos.	4. Pastizales	Corresponde a los pajonales de paja dura y la palmera enana. Es característico del área de San Ignacio, presenta una especie arbórea, el urunday blanco en asociaciones formando pequeños bosquillos o creciendo en forma aislada.
5. Relictos	Constituyen espacios relictuales de bosques y selvas, con coberturas menores al 30%, cuya vegetación original ha sido evidentemente alterada. Las capueras de la unidad original representan sitios con suelo desnudo, sin actividad antrópica actual.	6. Desmontes	En el mapa original fueron diferenciadas zonas desmontadas para uso forestal de las zonas desmontadas para otros usos agronómicos. El mapa de síntesis unifica estos ambientes con objetivos productivos múltiples.
7. Forestaciones	Son sectores dedicados a cultivos forestales, generalmente pinos y en mucha menor proporción a eucaliptos.	8. Urbano	Representa sectores ocupados por viviendas, tanto de tipo urbano como suburbano.

El patrón del uso del suelo muestra cultivos de Yerba mate, té, mandioca y forestaciones de pinos, dejando espacios selváticos relictuales. En el área se encuentra la reserva natural del Teyú Cuaré y las Ruinas de San Ignacio, zona de patrimonio histórico, además de otros puntos de singular interés desde el punto de vista paisajístico, ecosistémico y cultural.

Dentro de los aspectos demográficos y socioeconómicos más sobresalientes, se puede mencionar que el departamento de San Ignacio posee una superficie de 1.607 Km<sup>2</sup> y 54.830 habitantes (Censo 2001). Está compuesto por ocho municipios entre los que se encuentra el de San Ignacio, el segundo en importancia en cantidad de habitantes. Esta localidad, que cuenta con 6.263 habitantes, concentra el 60% de la población urbana del municipio y constituye un centro de atracción de población. La dinámica del crecimiento poblacional de la localidad de San Ignacio no

se halla vinculada a un incremento en la actividad productiva o comercial sino más bien a una depresión económica en las poblaciones circundantes y en las zonas rurales. Esta situación probablemente trajo como consecuencia la expulsión de población, que se asentó en la localidad de San Ignacio (Tchilinguirían, P. et al, 2005).

## OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Utilizando como base el mapa de unidades fisonómicas de vegetación actual y usos del suelo confeccionado a partir de la Imagen Aster, en el año 2000, se elaboraron los mapas respectivos de los años 1989 y 2006 (con imágenes Landsat). Tomando la definición de vegetación potencial (Rivas-Martínez, 1987) se establecieron, a través de la interpretación de las respectivas imágenes, las fisonomías vegetales presentes en cada momento. El objetivo de este estudio multitemporal fue el de identificar y cuantificar los cambios en la vegetación natural y los ambientes más impactados en este período de tiempo, que representan 17 años. Con el propósito de evaluar multitemporalmente el paisaje y de esta forma intentar analizar los patrones evolutivos específicos en cuanto a la relación usos del suelo/vegetación natural, se utilizaron los índices de uso común en estudios de ecología de paisaje (Mac Garigal & Marks, 1994; Forman, 1995), que permiten analizar de manera cuali y cuantitativa los cambios producidos. Los índices seleccionados fueron el área total de la clase, el número de parches, la media del tamaño de parche y la densidad de bordes. Es importante destacar que esta selección de años responde principalmente a un criterio vinculado a variables económicas. De hecho, las promociones para las actividades forestales fueron fuertemente impulsadas en los principios de la década del 2000, con lo cual se intenta correlacionar esta variable con su consecuencia en los ambientes naturales.

Para poder responder a las preguntas básicas ¿qué ambientes fueron modificados? O ¿cuáles fueron las transformaciones más frecuentes? y al mismo tiempo cuantificar estos cambios, se procedió al análisis comparado de las tres imágenes a través del módulo Patch análisis del Software ArcGis 9.0. Finalmente se realizó un mapa de conectividad de ambientes naturales implementando un área buffer de 100m, entre las siguientes unidades: bosque y selvas; humedales; selvas y matorrales ribereños.

## RESULTADOS

Los cambios en las unidades de vegetación natural se hacen evidentes ya desde la simple visualización de las imágenes satelitales. En un análisis preliminar es posible apreciar una mayor afectación de los ambientes de bosques y selvas, mientras que los sectores de humedales o selvas ribereñas no parecen sufrir grandes modificaciones con respecto al área ocupada.

### Determinación de los patrones de cambio de la vegetación entre los años 1989 y 2006.

Confirmando las observaciones preliminares encontramos que las mayores pérdidas de área se produjeron en la unidad identificada como bosques y selvas, que disminuyeron su superficie de ocupación del 43.75% en 1989 a 27.74% en 2006, lo que representa prácticamente la reducción de 1/3 del área original. Asimismo, como también observáramos anteriormente, los humedales y selvas y matorrales ribereños mantuvieron su porcentaje de ocupación casi sin modificaciones en el período analizado (Tabla 2).

Tabla 2: Indica las áreas correspondientes a las distintas unidades fisonómicas en cada año analizado. La columna % indica el porcentaje de área ocupada por la unidad fisonómica, en relación al área de estudio

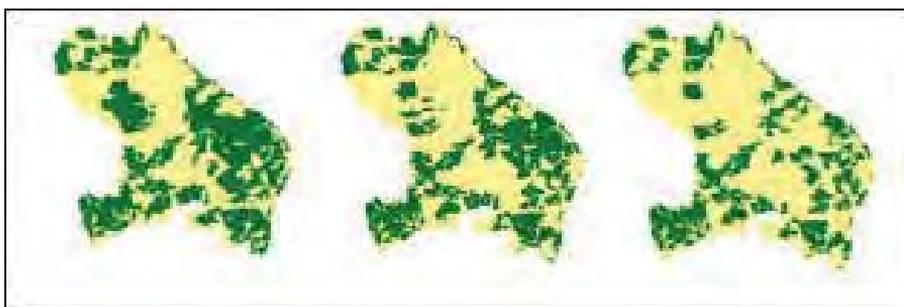
	AÑO 1989		AÑO 2000		AÑO 2006	
	ha	%	ha	%	ha	%
Bosques y selvas	6627.30	43,75	5351.66	35,33	4201.20	27,74
Desmontes	2705.98	17,87	2973.13	19,63	4225.31	27,90
Forestaciones	2262.58	14,94	3315.68	21,89	2773.81	18,31
Selvas y matorrales ribereños	1085.57	7,17	1077.94	7,12	1077.93	7,12
Humedales	1342.79	8,87	1251.26	8,26	1248.68	8,24
Pastizales	183.16	1,21	160.02	1,06	156.01	1,03
Relictos de bosques y selvas (á. degradadas)	674.80	4,46	727.12	4,80	1173.82	7,75
Sector urbano	264.20	1,74	289.56	1,91	289.56	1,91

Los desmontes y forestaciones fueron ganando superficie, al igual que los relictos de bosques y selvas que corresponden a sectores degradados del bosque original. Pero este análisis no ofrece detalles sobre la dinámica de cambio que se produce en este ambiente, por lo que se realizó un examen de los cambios netos en cada unidad fisonómica y de los intercambios entre éstas, para poder detectar las transiciones más significativas.

### Cambios en bosques y selvas

Esta unidad fisonómica (Mapa 2) pierde 2426.10 ha en el período estudiado. La causa fue, fundamentalmente, las actividades forestales y desmontes, como así también la degradación de la unidad original, que se transforma en relictos.

Figura 3. Mapa 2: Las figuras representan la superficie ocupada por bosques y selvas. De izquierda a derecha se observan los mapas correspondientes a los años 1989, 2000 y 2006.



Por otra parte, también se observa una disminución en el número de parches, que pasaron de 158 en el periodo inicial a 79 en el año 2000 y continuaron su reducción hasta llegar a 60 en el año 2006. Al mismo tiempo se puede observar un aumento en el tamaño medio del parche, que pasó de 41.9 ha a 67,7ha entre el año 1989 y 2000, hasta alcanzar las 70ha en el año 2006. Si evaluamos este dato junto con la densidad de bordes, que pasó de 41.56 a 30.57 y 22.74 en el año 2006, podemos asumir que los parches iniciales de bosques y selvas fueron simplificando su mosaico original, al ser eliminados los parches pequeños. Para el año 2006 permanecían los segmentos más grandes, con menor proporción de bordes.

### Cambios en selvas y matorrales ribereños

Esta unidad presentó un bajo porcentaje de cambio en el periodo 1989-

2006, disminuyendo levemente su superficie total. Aunque de poca extensión, se observan sectores con desmontes y forestaciones que originalmente correspondían a la vegetación ribereña. El número total de parches se redujo de 30 a 24, al mismo tiempo que se verifica un leve aumento en el tamaño de los mismos (de 36.18 en 1989 a 44.9 en 2006). La densidad de bordes se mantuvo prácticamente constante, lo que indica una simplificación de los mosaicos originales.

### **Cambios en humedales y pastizales**

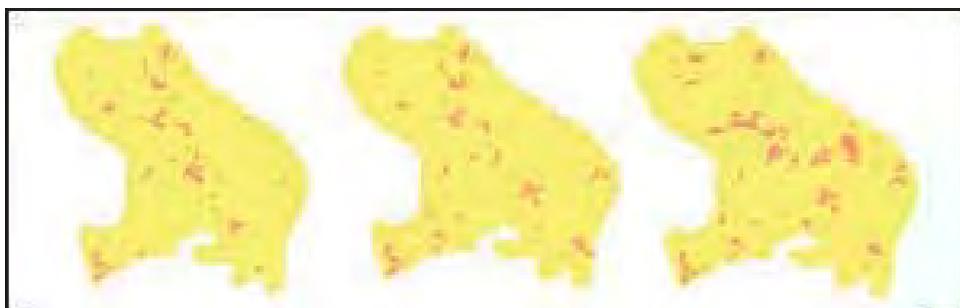
Los humedales constituyen otra unidad con pocos cambios significativos. Restringidos a sectores inundables del Río Paraná y arroyos principales, como el Yabebiry, son sitios con muy baja o nula aptitud para los usos productivos o urbanos predominantes en la localidad. Sus fluctuaciones, aunque de poca extensión areal, se encuentran más vinculadas a ciclos de inundación de los cursos de agua que a presiones de uso. La variación en cuanto a la superficie ocupada fue de 94ha, lo que constituye disminución del 7.5% del área original. Los reemplazos están relacionados con forestaciones y desmontes. También se observa una disminución del número de parches, de 25 en el año 1989 a 21 en 2006, junto con un leve aumento del tamaño medio del parche, de 53.7ha a 59.4ha. La densidad de bordes se mantuvo prácticamente constante, lo que indica que fueron eliminados pequeños sectores, simplificando el mosaico de parches originales.

Con respecto a los pastizales no se manifestaron cambios significativos en el periodo analizado. El área original disminuyó de 183ha en 1989 a 156ha en 2006, lo que implica una pérdida del 14% de su superficie. Esta diferencia es equivalente al 1% del área analizada, razón por la cual no fue mapeada.

### **Cambios en relictos de bosques y selvas**

El área correspondiente a esta unidad se incrementó en 499.02ha, lo que representa un aumento relativo del 74% en el periodo 1989-2006. (Mapa 3).

Figura 4. Mapa 3: Las figuras representan la superficie ocupada por relictos de bosques y selvas. De izquierda a derecha se observan los mapas correspondientes a los años 1989, 2000 y 2006.



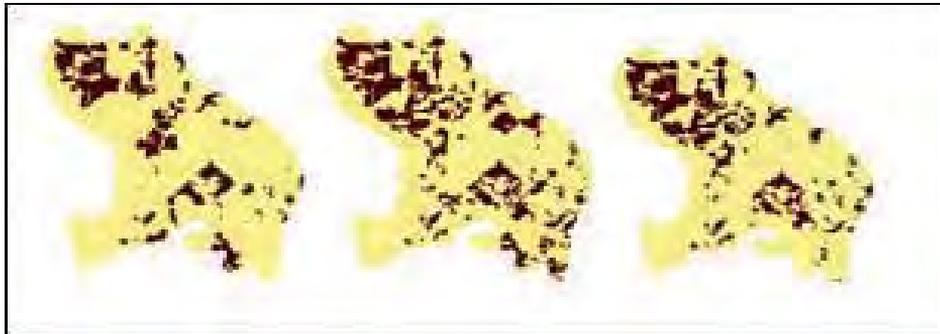
Los cambios producidos en el periodo 1989-2000 son de dos tipos: transformaciones en desmontes y forestaciones, y, por otra parte, esta misma unidad también se nutre de la degradación de bosques y selvas. En todo el periodo el número de parches se incrementa, pasando de 32 en 1989 a 37 y 50 en 2000 y 2006, respectivamente. El tamaño medio del parche fluctúa entre 21.08 y 23.47ha, mientras que la densidad de bordes se incrementa de 6.5 en 1989 a 9.8 en 2006.

Estos valores están en concordancia con el gran aumento de la superficie de esta unidad.

### Forestaciones

La actividad económica predominante en la localidad de San Ignacio es, sin dudas, la forestación. Las especies principales son *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, sin embargo también se siembran *Pinus caribaea* y *Araucaria angustifolia*, paraísos (*Melia azedarach*), kiri (*Pawlonia sp.*), cedro australiano (*Toona ciliata*), y eucaliptos (*Eucalyptus grandis*, *E. dunii*, *E. saligna*). La superficie forestada se incrementó un 46.5% en el periodo 1989-2000 (de 2262.58ha pasó a tener 315.68ha). Luego, el área forestal disminuyó entre el 2000 y el 2006, a 2773.8128ha. Esta reducción implica un reemplazo por desmontes, que estaría en concordancia con la utilización de la madera producida (Mapa 4).

Figura 5. Mapa 4: Las figuras representan la superficie ocupada por Forestaciones. De izquierda a derecha se observan los mapas correspondientes a los años 1989, 2000 y 2006

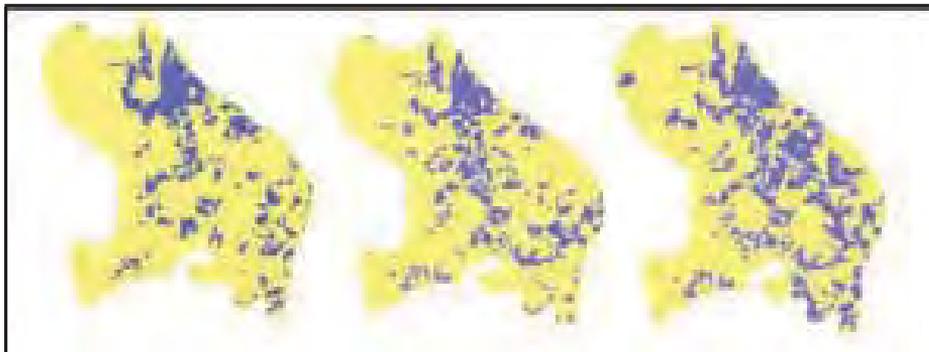


Al igual que la unidad relictos, las forestaciones constituyen ambientes que incrementan su superficie por aporte de otras unidades y al mismo tiempo pierden sectores, tanto por desmontes, como por aportes al sector urbano. El número de parches aumentó de 68 a 136 entre 1989-2000, (casi el 100%). Desde el año 2000 al 2006 disminuyó a 103. La media del tamaño fluctuó entre 33.27ha, 24.38ha y 26.93 ha en cada año analizado, mientras que la densidad de bordes pasó de 13.9 a 23.23 y 18.7, respectivamente. Estos datos indican que a pesar del aumento en la superficie forestada, el área de los parches fue decreciendo y aumentando su perímetro, lo que indica una mayor atomización de los sectores forestales, esto es, un aumento de la superficie total pero en parcelas más pequeñas que las originales.

## Desmontes

Los desmontes incluyen sectores con diferentes coberturas vegetales que fueron eliminadas, generalmente con el objetivo de su incorporación al uso forestal. En todo el periodo analizado el área de desmontes se incrementó en 1519.33ha (un 35%) (Mapa 5). Al mismo tiempo, esta unidad cedió parte de su superficie a prácticas forestales.

Figura 6. Mapa 5: Las figuras representan la superficie ocupada por desmontes. De izquierda a derecha se observan los mapas correspondientes a los años 1989, 2000 y 2006.



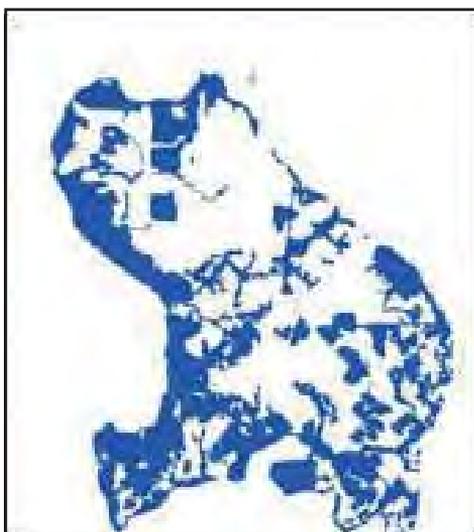
En el periodo 1989-2000 se produce un incremento del sector desmontes de 2705.98 a 2973.13ha, debido al aporte de bosques y selvas, forestaciones, relictos, selvas y matorrales ribereños. También los desmontes aportaron algo de superficie a forestaciones. El número de parches de esta unidad también se modificó, pasando de 106 en el año 1989 a 115 y 160 en los años 2000 y 2006 respectivamente. A pesar de esto, tanto el tamaño medio del parche como la densidad de bordes no sufrieron importantes modificaciones. El primero varió de 25.53 a 25.85 y 26.41 en cada periodo, mientras que la densidad de bordes pasó de 20.56 a 22.14 y 32.14. Esto indica que las parcelas desmontadas suelen tener áreas relativamente estables, siempre evaluando esta práctica como un antecedente a las actividades forestales.

### Fragmentación y Planificación ecológica

Entendiendo la fragmentación como la pérdida de la continuidad de un ecosistema, podemos inferir que produce importantes cambios en la estructura de las poblaciones y comunidades de plantas y animales, alterando también el funcionamiento del ecosistema. El proceso de fragmentación produce nuevos bordes, con su consecuente efecto de erosión en los ecosistemas. De esta forma, los ambientes fragmentados cambian no sólo en la forma y tamaño de sus parches, sino también en la estructura y composición específica. Remitiéndonos a la situación de San Ignacio en el año 1989 se clasificaron los polígonos de bosques y selvas para verificar su grado de fragmentación al final del periodo analizado. La media del borde de esta unidad se incrementó un 47%, lo que implica el alto nivel de fragmentación producido. Para el año 2006 los sectores de bosques y selvas mejor conservadas

se encontraban próximos a la Reserva Teyú Cuaré o aledaños a humedales y selvas y matorrales ribereños, esto es, en sitios que por sus condiciones de humedad no resultan óptimos para la siembra de especies forestales comerciales. Entonces, aprovechando esta situación, se realizó un mapa sobre la conectividad de bosques y selvas remanentes, con un área buffer de 100m, tanto entre sí como con la unidad de humedales y selvas matorrales ribereños (Mapa 6).

Figura 7. Mapa 6: Se destaca en azul la conectividad de ambientes naturales, considerando un buffer de 100m.



Este mapa puede representar un primer intento para la definición de áreas de interés para la conservación de ambientes naturales. En este sentido, resulta de suma importancia establecer prioridades de conservación mediante la identificación de áreas con características relevantes de biodiversidad, denominadas “hotspot”, que no sólo indican sitios con alta biodiversidad sino áreas amenazadas por el avance de las actividades económicas (Myers et al, 2000).

### Situación social en la provincia de Misiones

El Departamento de San Ignacio concentra el 68% de la superficie forestada de la provincia. Sin embargo, a pesar de la incorporación de importantes superficies de bosques nativos a la actividad económica y productiva, no parece haberse producido una equivalente transformación en la situación social. Esta región, que

tradicionalmente ha presentado los valores más altos de pobreza e indigencia del país, en el año 2010 presentaba 21.8% de su población bajo la línea de pobreza y el 5.4% por debajo de la línea de indigencia. Con respecto del promedio regional, la provincia de Misiones tiene el valor más alto de pobreza extrema, el 7,1%.

La información del Censo de Población 2010 a nivel departamental no se ha publicado totalmente, por tal motivo solo se han podido seleccionar los indicadores ilustrativos de las condiciones de vida en nuestra área de estudio. Según los datos disponibles, las condiciones de vida en los hogares según el tipo de vivienda casi no se han modificado en el último decenio. Así, el 87,4% de los habitantes vivía en Casas en 2001 y en 2010 el porcentaje era de 87,6%. El porcentaje de habitantes que habitaban en Ranchos o Casillas se ha mantenido casi sin alterar. De la misma forma, el tipo de material de los pisos de las viviendas presenta muy leves cambios. Entre ellos se destaca que solo el 53% los hogares no presenta problemas de terminación, como es la cubierta de los pisos. Respecto de los servicios sanitarios, la proporción de hogares con cloacas ha disminuido levemente y aumentaron los hogares provistos con cámaras sépticas (pozos ciegos) lo que indicaría la persistencia en la deficiencia del servicio. Tomando en cuenta el importante desarrollo que ha tenido la actividad forestal en los últimos años es notorio el escaso impacto que la misma ha tenido en mejorar las condiciones de vida de la población.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En Argentina se ha estado deforestando a un ritmo calculado entre 280.000 a 300.000 hectáreas por año. La tasa de transformación de bosques nativos, para el cultivo de la soja o para la implantación de árboles de crecimiento rápido para la producción de madera y celulosa, supera hasta en un 300% el promedio de desmonte mundial<sup>1</sup>. En nuestro país la permanencia del modelo consumista, incorporado desde las economías más desarrolladas, se presenta no solo en problemas ambientales de difícil resolución sino también en la explotación no sustentable de los recursos naturales. Las fisonomías de bosques y selvas, humedales y matorrales ribereños constituyen los parches del paisaje que sustentan la biodiversidad del

<sup>1</sup> La Tasa Anual de Deforestación es un indicador de la magnitud del proceso de deforestación y es el indicador utilizado por la UMSEF (Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal, Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable).

área de estudio. Al mismo tiempo, la pérdida o modificación de estos ambientes es una consecuencia directa de las actividades antrópicas. La metodología empleada da una idea bastante clara de la dinámica ambiental y puede constituir una base para la planificación ecológica del territorio. Este tipo de ordenamiento promueve mejoras en la calidad de vida de la población<sup>2</sup> manteniendo la sustentabilidad de los ecosistemas principales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biganzoli, F. y M. E. Múlgura De Romero (2004). Inventario Florístico del Parque Provincial Teyú Cuaré y alrededores (Misiones, Argentina). *Darwiniana* 42(1-4): 1-24.
- Cabrera, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas de la República Argentina, en *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* 2(1). ACME, Buenos Aires.
- Cammarata, E. (1999). Misiones en el Territorio de las fronteras paraguayo-brasileñas: sus efectos ambientales. Universidad Nacional de Misiones.
- Cifarelli, D. (2008). El modelo de confieras a Gran Escala. Análisis de sustentabilidad en el alto Paraná Misionero. *Fronteras de la Antropología*. IX Congreso Argentino de Antropología Social.
- Díaz Langou, G. J. Fernández, y P. Forteza. (2007) Los principales programas de protección social en la provincia de Misiones. [www.cippec.org](http://www.cippec.org).
- Forman, R. 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscape and Regions*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Ibarra Benlloch, B., Yetano Ruiz, L. (1989). El estudio de la vegetación en Geografía. *Geographicalia*. N°26. 165-174.

---

<sup>2</sup> No se encuentran dentro del alcance de este estudio situaciones sanitarias especiales de la población, tal como son las provocadas por el uso de agroquímicos (desmalezantes, defoliantes, etc.) sumamente peligrosos para la salud humana

- Morello, J. y A. Rodriguez. (2007). Ambiente y Economía en un país joven agroexportador: Argentina. *Fronteras 6*, Facultad de Arquitectura, diseño y urbanismo. Universidad de Buenos Aires. Año 6 Número 4.
- Ponce, M. M. , Mehlreter, K. & De La Sota, E. R. (2002). Análisis biogeográfico de la diversidad pteridofítica en Argentina y Chile continental. *Revista Chilena Hist. Nat.* 75: 703-717.
- Martínez Croveto, R. (1963). Esquema fitogeográfico de la Provincia de Misiones (República Argentina). *Bonplandia* 1: 171-223.
- Mcgarigal, K. & B. Marks. 1994. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA for Serv. Gen. Tech. Rep. PNW- 351. 67pp.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, daFonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, daFonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858
- Rivas-Martínez, S. (1987) Memoria del mapa de series de vegetación de España. 269p. Icona, Serie Técnica. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- 2005. “Estudio Geocientífico aplicado al Ordenamiento Territorial”. San Ignacio, Provincia de Misiones. Tchilinguirían, P., Cavallaro S, Ducos S., Fratolocchi C., Marengo H., Palma Y., Tejado A., Toloczyki M., Portaneri J. Convenio de Cooperación Técnica Geológica Argentino Alemán. SEGEMAR – BGR (Servicio Geológico Minero Argentino – Bundesantalt Fur Geowissenschaften und Rohstoffe). Buenos Aires, Anales N° 43. ISSN 0328-2325.
- Zuloaga, F.O. & O. Morrone (Eds.). (1999). Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. II. Angiospermae (Dicotyledoneae). *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 74: 1-1269. <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario.htm>. Consultado Abril 2010.

- Informe económico: Provincia de Misiones – Observatorio de Comercio y Servicios – Cámara Argentina de Comercio – Año 2011
- Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. BIRF 4085-AR. 1998-2005. República Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación

# *Análisis de vulnerabilidad de las comunidades de Coris y Tablón, Provincia de Cartago, Costa Rica*

Johan Córdoba Peraza

## **Resumen:**

La investigación consiste en el análisis de vulnerabilidad en las comunidades de Coris de Cartago y Tablón de El Guarco ante el impacto de los desastres. Estas comunidades se sitúan dentro de la microcuenca del río Purires en la provincia de Cartago, Costa Rica. La microcuenca del río Purires, se ubica en el extremo oriental de la región central de Costa Rica; abarca 76, 2 km<sup>2</sup> y forma parte de la sección alta de la cuenca del río Reventazón.

La metodología utilizada se enmarca dentro del paradigma de la Investigación Cualitativa de Acción Participativa desde el enfoque de la educación no formal. El objetivo general de la investigación, se centró en analizar las amenazas y la vulnerabilidad a las que están expuestas las comunidades de Coris y Tablón. Para ello fue necesario desarrollar un plan de acción participativo comunitario, que buscó implementar las recomendaciones para mejorar la capacidad de respuesta de las comunidades ante el impacto de los desastres.

Los resultados demostraron que en Coris se identificaron 18 amenazas, clasificadas en antrópicas, relacionadas con la contaminación ambiental, delincuencia y el vandalismo; socionaturales como deslizamientos y desbordamiento de ríos; y naturales, asociadas a sismos por fallamientos geológicos locales que afectan la microcuenca. En Tablón existen un total de 18 amenazas, clasificadas por su origen en socionaturales, de las cuales nueve corresponden a deslizamientos, seis a desbordamientos de ríos y una por erosión e inadecuadas prácticas de cultivo; una antrópica relacionada con el consumo de drogas y alcohol; y una natural asociada a sismos.

Los escenarios de riesgo seleccionados en Tablón y Coris se agruparon por su nivel de aceptabilidad en inadmisibles e inaceptables, aceptables y tolerables con el fin de disminuir su condición mediante recomendaciones desde la perspectiva de la gestión del riesgo para la prevención de los desastres.

**Palabras clave:** Coris. Tablón. Vulnerabilidad. Amenaza. Escenarios.

**Abstract:**

The present research consists of an analysis of vulnerability in the communities of Coris of Cartago and Tablon of El Guarco against the impact of disasters. These communities are contained within the Purires river micro-watershed, in the province of Cartago, Costa Rica. The micro-basin of river Purires is located on the east side of the central region of Costa Rica; it extends 76,2 km<sup>2</sup> and is part of the upper section of the Reventazon river basin.

The methodology is based on the Participative-Action Qualitative Research framework, within the informal education approach. The main objective of this research is centered upon analyzing the threats and vulnerability to which the communities of Coris and Tablon are exposed. For this, it was necessary to develop an community action plan that attempted to implement recommendations to improve the response capacity of the communities to disaster impacts.

Results report that in Coris there were 18 threats identified, classified as anthropogenic and related to environmental pollution, vandalism, crime. Furthermore, socio-natural threats such as landslides and river flooding were identified, as well as natural threats, such as tectonic activity due to local geologic faults that affect the watershed. In Tablon a total of 18 threats were also identified, classified based on their origin as socio-natural (of which nine correspond to landslides, five to river flooding and one to erosion and inadequate farming practices), anthropogenic (related to drug consumption and alcohol), and natural (tectonic activity).

The selected threat scenarios in Tablon and Coris were grouped according to their acceptance level into inadmissible and unacceptable, and acceptable and tolerable. This was done with the purpose of reducing its condition through recommendations from the perspective of risk management for disaster prevention.

**Keywords:** Coris. Tablón. Vulnerability. Hazard. Scenarios

---

**Johan Córdoba Peraza** (johancordoba78@gmail.com). Geógrafo, M.Sc. en gestión del riesgo en desastres.

## INTRODUCCIÓN

El presente artículo describe en forma resumida la metodología utilizada y los resultados obtenidos en el Trabajo Final de Investigación Aplicada (TFIA): *Análisis de vulnerabilidad de las comunidades de Coris y Tablón en la microcuenca del río Purires, provincia de Cartago, Costa Rica*. Esta investigación, se desarrolló durante el segundo semestre del año 2011 y el primer trimestre del año 2012, y fue presentada a la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Gestión del Riesgo en Desastres de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, en el mes de septiembre del 2012.

El TFIA, formó parte de un proyecto de investigación mucho más amplio sobre saneamiento ambiental; que fue propuesto y liderado por el Departamento de Agua y Saneamiento de Países en Desarrollo (SANDEC) del Instituto Federal Suizo en Ciencias Acuáticas y Tecnologías (EAWAG).

Asimismo, dicho TFIA se realizó gracias al apoyo académico, logístico y monetario de cinco instituciones: el Centro Nacional Suizo de Competencia en Investigación Norte-Sur (NCCR), la Swiss National Science Foundation (SNSF), la Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (SDC), la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales con sede académica en Costa Rica (FLACSO-CR) y la Universidad de Costa Rica a través del Programa de Gestión Ambiental Integral (ProGAI-UCR).

El objetivo general del trabajo de investigación consistió en analizar la vulnerabilidad de las comunidades de Coris de Cartago y Tablón de El Guarco.

Asimismo, los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

- Caracterizar la microcuenca del río Purires desde un punto de vista socioambiental.
- Describir las amenazas naturales y socionaturales presentes en el área de estudio.
- Estimar la vulnerabilidad en la infraestructura comunal de Coris de Cartago y Tablón de El Guarco.

- Proponer recomendaciones que se ajusten a las condiciones socioambientales de las comunidades de Coris y Tablón en la microcuenca del río Purires.

Todos los objetivos anteriormente citados, se cumplieron gracias a la participación activa de los miembros de las comunidades, las Asociaciones de Desarrollo Comunal y las ASADAs<sup>1</sup>.

Esta participación facilitó recopilar y clasificar la información sobre las áreas geográficas y los recursos de infraestructura comunal que, según sus pobladores, son susceptibles de manifestación e impacto de eventos peligrosos de origen natural, antrópico y socionatural. Esto, con el propósito de implementar medidas correctivas para disminuir las condiciones de vulnerabilidad existentes desde la perspectiva de la gestión del riesgo para la prevención de los desastres.

## METODOLOGÍA

Para Kholer *et al.* (2004), existen varios enfoques para elaborar un análisis de vulnerabilidad; por esa razón, no se han establecido procedimientos estandarizados, y no hay un consenso definido en cuanto a los indicadores pertinentes por utilizar. Dado lo anterior, la selección de una determinada metodología para el análisis de vulnerabilidad, estará íntimamente relacionada con la escala de análisis y las características de los elementos bajo estudio (Melone, 2003).

El proceso metodológico utilizado en la investigación posee cuatro etapas de bajo costo económico, abiertas, dinámicas y enmarcadas dentro del paradigma de la Investigación Cualitativa de Acción Participativa desde el enfoque de la educación no formal<sup>2</sup> las cuales se detallan de forma resumida a continuación:

La Etapa I consistió en la evaluación de las condiciones y las variables socioambientales más relevantes de la microcuenca del río Purires tales como: rasgos socioeconómicos y demográficos de la población que habita en las comunidades de

---

<sup>1</sup> Asociaciones Administradoras de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento.

<sup>2</sup> Según Trilla (1992), es un proceso educativo voluntario, pero intencionado, planificado, pero permanentemente flexible, que se caracteriza por la diversidad de métodos, ámbitos y contenidos en los que se aplica. Para lograr lo anterior, fue necesario trabajar en conjunto con una profesional en dicho campo.

estudio; rasgos morfométricos de la microcuenca, clima y uso de la tierra, así como el tipo de suelo; geomorfología y geología presente en el área de estudio.

La Etapa II se basó en el trabajo de campo, mediante recorridos y giras planificadas a las comunidades de Coris y Tablón, así como al resto del área de la microcuenca del río Purires, con el objetivo de recolectar información no documentada en fuentes bibliográficas y cartográficas existentes.

En la Etapa III se aplicó el instrumento metodológico diseñado por Toro (2002) denominado: *Metodología para el análisis de riesgo y vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento*, cuyo propósito final es obtener resultados en valores porcentuales (resultados cuantitativos) a partir de información cualitativa (Céspedes, 2011).

Según la FICR (2006), el análisis de vulnerabilidad consiste en recopilar, analizar y sistematizar, de una forma estructurada y lógica, información sobre la vulnerabilidad de una comunidad a una determinada amenaza. La información recopilada, sirve entonces, para diagnosticar los riesgos principales y las capacidades actuales de la comunidad y lleva, en último término, a la preparación de actividades dirigidas a reducir la vulnerabilidad de la población ante posibles desastres y así, incrementar su capacidad de supervivencia y recuperación.

Para lograr lo anterior, fue necesario el desarrollo de talleres de trabajo, donde la participación de los hombres y mujeres, tanto adultos como jóvenes, que forman parte de las comunidades e integran organizaciones de diverso índole en ambos pueblos, fue clave y de suma importancia. La aplicación de la herramienta metodológica seleccionada proporcionó criterios de intervención, mediante la construcción de escenarios de riesgo que facilitaron elegir, identificar y valorar (cualitativamente y cuantitativamente) las amenazas, el riesgo y la vulnerabilidad que presentaron no sólo los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua, sino toda la infraestructura comunal (escuelas y viviendas, puentes, templos y salones comunales, colegios, caminos y líneas de transmisión eléctrica), cuya inclusión en el análisis fue considerada como importante por los participantes de los talleres de trabajo.

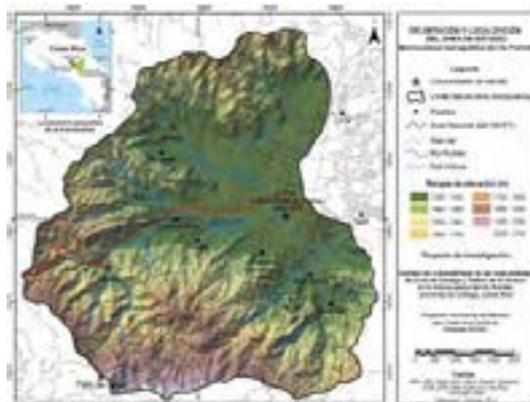
Por último, la etapa IV comprendió la organización, síntesis y presentación final de los resultados obtenidos en las etapas I, II y III, a partir de lo cual se defi-

nieron estrategias y recomendaciones desde la perspectiva de la gestión del riesgo para la prevención de los desastres, en busca de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en las comunidades de estudio.

## ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del río Purires se localiza en el extremo oriental de la región central de Costa Rica. Limita al norte con los cerros de la Carpintera; al oeste y al sur, con las estribaciones de la cordillera de Talamanca y al este, con las ciudades de Cartago y Tejar de El Guarco (Figura 1). La microcuenca cubre un área de 76, 2 km<sup>2</sup> y se emplaza en la sección alta de un sistema hidrográfico de mayores dimensiones (2 950 km<sup>2</sup>): la cuenca del río Reventazón–Parismina que desemboca en el Mar Caribe. Esta cuenca es una de las más importantes de Costa Rica, pues allí se genera el 25% de la energía hidroeléctrica del país, abastece de agua potable al 50% de la población del Área Metropolitana de San José y se produce el 11% del valor total de las exportaciones locales (Sogreah Ingeniería et al., 2000).

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Asimismo, a pesar de que la zona general de estudio fue la microcuenca del río Purires, se consideraron también las comunidades de Coris de Cartago y Tablón de El Guarco, en las cuales se elaboró el análisis de vulnerabilidad; por tanto, es necesario establecer su ubicación geográfica como ejes de referencia espacial.

El pueblo de Coris de Cartago (Figura 1) se localiza sobre los 1 400 m de altitud y se ubica al noroeste de la microcuenca, aproximadamente a 3 km del pueblo

de Quebradilla. Administrativamente pertenece al distrito de Quebradilla del cantón central de Cartago en la provincia de Cartago.

Por su parte, el pueblo de Tablón de El Guarco se sitúa sobre los 1 600 m de altitud y se ubica en el extremo suroeste de la microcuenca, aproximadamente a 2, 5 km de distancia del pueblo de Tobosi. En términos político - administrativos pertenece al distrito de Tobosi del cantón de El Guarco, provincia de Cartago.

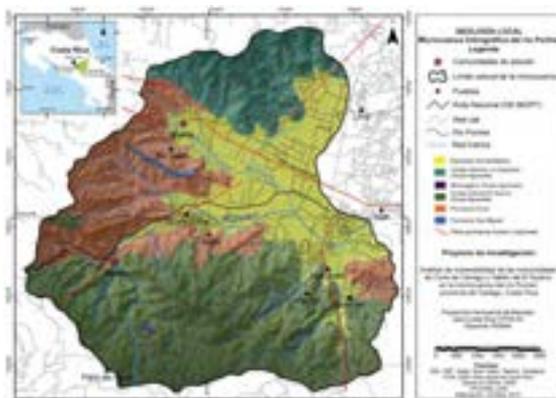
Dado su contexto geográfico y social, ecológico y climático, así como geológico y geomorfológico, la microcuenca del río Purires está expuesta a un escenario de múltiples amenazas compuestas por la combinación de eventos naturales como sismos, actividad volcánica y eventos hidrometeorológicos; amenazas socionaturales les como deslizamientos, erosión y desbordamientos de la red hídrica y amenazas antrópicas como derrames de sustancias peligrosas y contaminación del agua, aire y suelo, generada por la actividad industrial, comercial, agropecuaria y residencial ubicada tanto dentro como fuera de la microcuenca.

En términos morfométricos la microcuenca del río Purires presenta un factor de forma de 0, 76 (forma casi circular) y un patrón de drenaje con forma dendrítica de densidad regular (Zúñiga, 1993) que cubre un área de 76, 2 km<sup>2</sup>, por lo cual se puede clasificar como una microcuenca pequeña.

El clima del área de estudio es particular, ya que es afectado por la influencia directa e indirecta de eventos hidrometeorológicos tanto, en el Mar Caribe como en el Océano Pacífico. Según Solano y Villalobos (2001), este clima se clasifica como Valle Central 2 (VC2), ya que registra precipitaciones moderadas cercanas a los 2 000 mm por año (con 128 días de lluvia y sólo un mes seco durante el año), así como temperaturas frescas con máximas promedio de 26 °C y mínimas promedio de 15 °C.

En cuanto a la geología, Carrillo & Carrillo (2005), indican que la microcuenca está formada por litologías de origen sedimentario (Formación Coris y San Miguel) y volcánico (Grupo Aguacate) muy meteorizadas, con espesores que oscilan entre los 15 m y 500 m (Berrangué & Whittaker, 1977; Denyer & Arias, 1991) y que fueron depositadas alternadamente desde la época del Terciario. Estas litologías se ubican en los sectores norte, oeste y sur de la microcuenca (Figura 2).

Figura 2: Geología del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Además de las litologías anteriormente mencionadas, existen depósitos inconsolidados recientes del período Cuaternario como coluvios y aluviones muy alterados por la influencia del intemperismo, éstos se ubican en el sector central de la microcuenca donde la topografía es relativamente plana (Figura 2). Según Carrillo & Carillo (2005), dichos materiales se caracterizan porque no superan los 5 m de espesor y por presentar matrices de plasticidad media y alta.

La geomorfología del área de estudio debe su desarrollo a la combinación de eventos geológicos (sismos y actividad volcánica); procesos denudacionales y fluviales intensos, que están generando unidades del relieve compuestas por áreas con pendientes fuertes y escarpes propensos a deslizarse (Carrillo & Carrillo, 2005); así como zonas planas y onduladas en las que la red hídrica divaga y se desborda constantemente en período lluvioso, lo cual representa una potencial amenaza socionatural para las poblaciones, los cultivos y la infraestructura instalada en las partes bajas de la microcuenca.

El relieve de la zona de estudio está compuesto en su mayoría (56% del total del área de estudio) por pendientes planas y medias entre los 0° y los 30° de inclinación. Sin embargo, el restante 44% está conformado por un relieve inestable de pendientes fuertes y muy fuertes (mayores a los 30° de inclinación), localizadas geográficamente al sur de la microcuenca (Figura 2). Dicho relieve, se compone de

litologías volcánicas del período Terciario, muy meteorizadas y propensas a deslizarse cuando se combinan con eventos detonantes y disparadores como lluvias intensas y eventos sísmicos de magnitudes considerables (Carrillo & Carrillo, 2005).

La situación anterior, evidencia una amenaza potencial para las personas, los cultivos y la infraestructura ubicada, particularmente, en los sectores que presentan una topografía con pendientes fuertes, pues los temblores, en áreas sísmicamente activas (similar al área de estudio), ponen en movimiento las laderas inestables en forma de deslizamientos (Peraldo & Acevedo, 2010).

El tipo de suelo predominante (un 92% del total del área de la microcuenca) es inceptisol (suelo incipiente) con texturas limosas, arenosas y arcillosas (Carrillo & Carrillo, 2005), producto de la meteorización de rocas sedimentarias y volcánicas de los períodos Terciario y Cuaternario.

Finalmente, el paisaje del área está tapizado por un mosaico de coberturas vegetales y un uso de la tierra variado pero con una marcada tendencia a la actividad agropecuaria. Según el PRUGAM (2010), los usos de la tierra predominantes en la zona de estudio son: bosques secundarios (41,27%), pastos y áreas deforestadas (25,19%), así como uso mixto (16,43%) e invernaderos para la producción de hortalizas y plantas ornamentales (6,70%).

## RESULTADOS

El tema y las acciones relacionadas con los desastres y la gestión del riesgo, es un campo que cuenta con larga trayectoria de investigación, bibliografía, enfoques teóricos y experiencias en la gestión (Fernández, 1996). Por tal razón, en este apartado se define brevemente el concepto asociado a la vulnerabilidad, dado a que éste, es utilizado en reiteradas ocasiones a lo largo del presente documento.

La vulnerabilidad de las sociedades ante el impacto de los desastres, se produce por la interacción de un conjunto de factores como la falta de planificación y la ausencia de políticas a largo plazo para el ordenamiento del territorio, la debilidad institucional y la intensificación del uso de la tierra, así como la explotación descontrolada de los recursos naturales, el incremento acelerado de la población y la presencia de condiciones socioeconómicas desfavorables, sobre todo, en comunidades empobrecidas (Buch & Turcios, 2003).

Además, la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo de Costa Rica (La Gaceta N° 8, 11 de enero de 2006: Ley N°8488) plantea que la vulnerabilidad es una condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados, la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, el ambiente y la limitación de su capacidad para recuperarse.

Una vez definido el concepto de vulnerabilidad, se procederá a presentar los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad realizado en las comunidades de Coris y Tablón, el cual inició con el inventario comunal de recursos para saber qué recursos e infraestructuras existían en cada comunidad.

El objetivo del inventario fue estimular la discusión sobre el estado, la calidad, la antigüedad, el tipo de materiales y la ubicación geográfica de los recursos para identificar las amenazas o peligros en un futuro cercano (Toro, 2002; Córdoba, 2012). Los inventarios se elaboraron y plasmaron en catálogos y mapas de percepción, que fueron realizados por los participantes de los talleres de trabajo.

Las comunidades de Coris de Cartago (Figura 3) y Tablón de El Guarco (Figura 4) disponen de recursos infraestructurales (viviendas, caminos, iglesias, escuelas y salones comunales), así como de organizaciones comunales (mujeres, desarrollo integral, deportes, educativas y ASADAs) los cuales generaron condiciones para facilitar el diálogo con sus respectivos representantes y líderes, en términos de dirigir esfuerzos y recursos hacia la identificación de factores de riesgo a nivel local.

Lo anterior permitió definir acciones para disminuir el riesgo desde la construcción local con perspectiva en el mediano y largo plazo, y que así los actores sociales puedan participar activamente en la gestión adecuada de sus recursos comunales, humanos y ambientales (Brenes & González, 1996); ya que según Santos (1986), la casa, el lugar, el trabajo, los puntos de encuentro, los caminos que unen entre sí estos puntos, son elementos pasivos (con significancia) que condicionan la actividad del serhumano y comandan su práctica social.

En Coris de Cartago, la infraestructura gestionada y construida por la propia comunidad representa el 70% del total del inventario realizado a través de los talleres de trabajo. Estos están compuestos por el centro educativo y el salón de cate-

quesis, el templo católico y el salón comunal, la plaza de deportes, los vestidores y el acueducto. Además el inventario también incluyó la infraestructura vial (camino principales, vecinales y puentes), bajo la administración de la Municipalidad de Cartago y los órganos adscritos al MOPT como el CONAVI o el COLOSEVI<sup>3</sup>.

Dicha infraestructura beneficia tanto a los pobladores de Coris como a personas de otras comunidades (Tablón, Quebradilla, Bermejo y Tobosi), pues facilitan la comunicación y el desplazamiento diario de las personas a los centros de salud, educación, comercio, zonas de cultivo y lugares de trabajo, situados tanto dentro como fuera de los límites de la microcuenca. Estos recursos representan el 30% del total del inventario de la infraestructura de la comunidad.

Por su parte, el inventario de recursos en el pueblo de Tablón de El Guarco demostró que la infraestructura comunal gestionada y construida por la propia comunidad representa el 60%. Esta está compuesta por el templo católico, el salón de catequesis, la escuela y el salón comunal, el campo de fútbol, la oficina de la ASADA y los tanques de almacenamiento de agua.

El restante 40% de los recursos se ha construido mediante la intervención estatal, comunal y municipal, la cual está compuesta por la comandancia policial, la Ruta Nacional 228, cinco puentes, así como una red de caminos vecinales y privados que facilitan la comunicación y el transporte de las personas a pueblos, fincas, y centros educativos y de salud cercanos a la comunidad de Tablón durante la mayor parte del año, pues en período de lluvias, estas rutas son afectadas por deslizamientos y hundimientos que las inhabilita parcialmente.

Brenes y González (1996) plantean que para generar organización y sentido de comunidad, no basta con compartir un espacio geográfico común, ya que se necesita establecer vínculos por medio de un sentido de pertenencia e identidad con el entorno físico y social. Asimismo, el hecho de que quienes viven en un mismo lugar compartan una preocupación común y trabajen colectivamente para resolverlas, es lo que permite articularse como comunidad, situación que se presenta tanto en Coris de Cartago como en Tablón de El Guarco. Por tal razón, se recopiló

---

<sup>3</sup> Los Consejos Locales de Seguridad Vial (Administrados conjuntamente por las comunidades y las municipalidades y asesorados por las Municipalidades) son órganos adscritos al Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad.

información sobre las organizaciones comunales existentes en ambos lugares.

En Coris las organizaciones se gestaron entre 1980 y 1990 para satisfacer necesidades de los pobladores relacionadas con el acceso a los servicios y la construcción de infraestructura comunal básica. Estas organizaciones son de índole religiosa, educativa, deportiva y de desarrollo comunal, así como de gestión del recurso hídrico para el consumo humano.

Sin embargo, no se tuvo referencia e información sobre alguna organización relacionada con el tema de la gestión del riesgo, la prevención y la respuesta ante emergencias de origen natural, socionatural y antrópicas.

Es importante destacar esta situación, ya que podría influir en un proceso de construcción histórica de la vulnerabilidad de la comunidad de Coris ante el impacto de eventos o emergencias futuras, debido a la falta de experiencia, protocolos, planes y estrategias de prevención y de respuesta ante la manifestación de eventos amenazantes por parte de las personas que habitan el pueblo de Coris.

Por su parte, las organizaciones comunales en Tablón se gestaron en las décadas del 1970 hasta 1990, con el propósito de satisfacer las necesidades de los pobladores del lugar relacionadas con el acceso a los servicios básicos y la construcción de infraestructura comunal básica. Dichas organizaciones comunales, también se dedican a actividades religiosas, educativas, deportivas, agrícolas y de desarrollo comunal, así como a la administración y protección del recurso hídrico para consumo humano, que beneficia tanto a los pobladores de la comunidad de Tablón, como a las personas de comunidades cercanas como Tobosi de El Guarco y Quebradilla de Cartago.

Es importante mencionar que en el mes de agosto del año 2011, se formó un pequeño comité comunal de emergencias adscrito a la Asociación de Desarrollo Integral de Tablón, con el propósito de integrarse en el futuro al comité distrital de emergencias de Tobosi, tal y como lo sugiere la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo de Costa Rica (La Gaceta N° 8, 11 de enero de 2006: Ley N° 8488).

La información referente a las organizaciones identificadas en las comunidades de Tablón y Coris, proporcionó un panorama para establecer relaciones de trabajo desde el ámbito de la gestión del riesgo para la prevención de los desastres

(Escalante et al., 2006). Dicha situación, favoreció las condiciones para la creación de futuros “sistemas de prevención y atención de desastres”, de modo que toda la responsabilidad asociada a tal trabajo, no recaiga en un solo organismo centralizado, sino que se delegue a diversos órganos (Escalante et al., 2006) como instituciones públicas y privadas, no gubernamentales, académicas y grupos comunales.

Se ha mencionado en párrafos anteriores que la microcuenca del río Purires y por tanto las comunidades de Coris de Cartago y Tablón de El Guarco están situadas en un área con presencia de múltiples amenazas naturales (fallamientos geológicos locales y regionales activos, eventos hidrometeorológicos y peligros volcánicos) y socionaturales (deslizamientos, flujos de lodo, inundaciones y desbordamientos de la red hídrica) que históricamente las han impactado, generando pérdidas humanas y económicas en la infraestructura, cultivos y ganadería.

Así, se realizó un inventario de amenazas o eventos peligrosos que han afectado históricamente a ambas comunidades. El inventario se elaboró con base en la experiencia de las personas que participaron en los talleres de trabajo, pues son ellos los que poseen la memoria histórica del pueblo, y por supuesto, de los eventos naturales y socionaturales que con más frecuencia y capacidad de daño se han presentado en el pasado (Toro, 2002).

En cada una de las comunidades de estudio (Figuras 3 y 4) se identificaron 18 amenazas<sup>4</sup>, clasificadas por su nivel de significancia (dados sus valores a la frecuencia, área de impacto y magnitud) en: altas (valores entre 6-9, color rojo), medias (valores entres 3-5, color amarillo) y bajas (valores entre 1-3, color verde); así como por su origen en: socionaturales, naturales y antrópicas (Cuadro 1).

---

<sup>4</sup> Lavell (2004), asocia el término amenaza, con el peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un período de tiempo y en un territorio particular, de un evento de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes, los servicios y el ambiente.

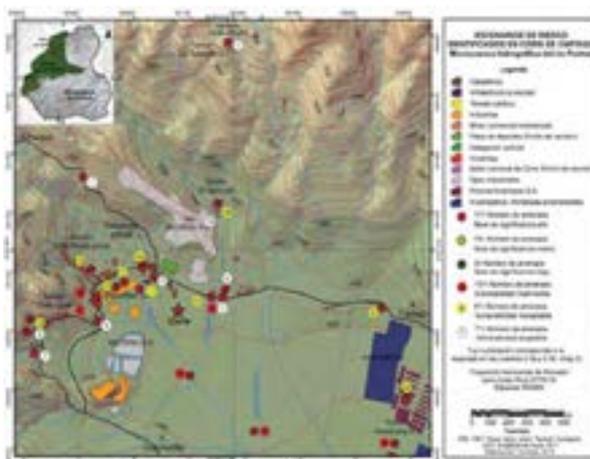
Cuadro 1: Clasificación de las amenazas por su origen en las comunidades de Coris y Tablón

Tipos de amenazas	Coris		Tablón	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Socionaturales	7	39%	16	90%
Naturales	1	5%	1	5%
Antrópicas	10	56%	1	5%
<b>Totales</b>	<b>18</b>	<b>100%</b>	<b>18</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Según el Cuadro 1 las amenazas socionaturales en la comunidad de Tablón representan el 90% y en Coris, el 39%. Estas amenazas están relacionadas principalmente con deslizamientos en áreas montañosas con pendientes fuertes (norte y sur de la microcuenca), erosión por diversas prácticas agrícolas, deforestación y desbordamiento de la red hídrica que atraviesa ambos pueblos. Dichas amenazas, se originan por la interacción de las variables ambientales de la zona de estudio con procesos históricos de intervención antrópica, ya que según Zusman (2002), las formas pasadas condicionan las acciones, las representaciones y la producción de formas presentes y futuras.

Figura 3: Amenazas y escenarios de riesgo identificados en la comunidad de Coris de Cartago

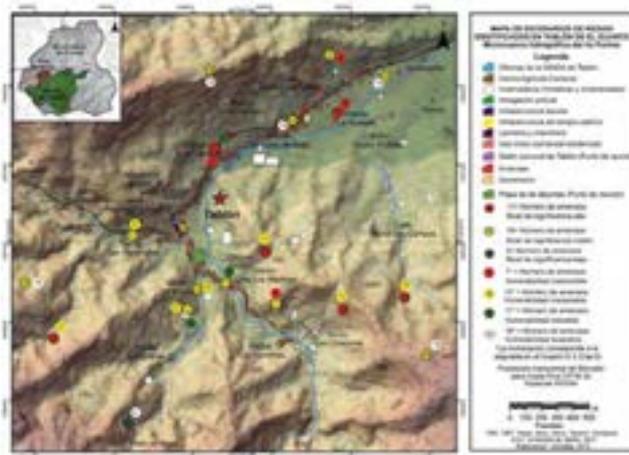


Fuente: Elaboración propia, 2013.

Se mencionó en el párrafo anterior que las zonas cercanas a los centros de población de Coris y Tablón presentan altos grados de susceptibilidad a desbordamientos de los ríos y las quebradas, flujos de lodo y deslizamientos que se activan en períodos prolongados de lluvias, así como en eventos sísmicos con magnitudes considerables, lo cual ha provocado daños y pérdidas materiales en caminos y puentes, áreas de cultivos, acueductos y líneas de transmisión eléctrica.

Algunos de los factores que han influido en dicha susceptibilidad son el tipo de clima del área de estudio (el cual presenta precipitaciones cercanas a los 2 000 mm por año), una topografía de pendientes fuertes (mayores a los 35° de inclinación) con litologías muy meteorizadas, así como la presencia de suelos blandos y arcillosos con alta plasticidad. Lo anterior, aunado a grandes extensiones de terreno, cuyas coberturas vegetales han sido eliminadas como resultado del impacto de prácticas sociales y agrícolas intensas que se derivan de la búsqueda de ganancia en el sentido económico (Lavell, 1996) y que privan la conservación del suelo, como un elemento básico para la productividad agrícola, así como un recurso escaso que se tiene que proteger y conservar para las generaciones futuras (Álvarez et al., 2010).

Figura 4: Amenazas y escenarios de riesgo identificados en la comunidad de Tablón de El Guarco



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Según el cuadro 1 y la Figura 5 es posible apreciar una marcada diferencia entre la cantidad de amenazas antrópicas identificadas en el pueblo Coris y en la comunidad de Tablón de El Guarco. En Coris, las amenazas antrópicas representan el 56% del total; es decir, 10 amenazas están asociadas a la contaminación del suelo (botaderos clandestinos), del aire (malos olores y polvo derivado de las fábricas de cerámica) y del agua (descargas residuales industriales a las quebradas y ríos). Se presentan, además, accidentes en la manipulación de sustancias tóxicas por actividades industriales y productivas, así como puentes en mal estado, delincuencia e inseguridad por la falta de vigilancia policial.

En tanto, en el pueblo de Tablón de El Guarco se identificó sólo una amenaza antrópica que representa el 5% del total. Esta amenaza está asociada a la inseguridad y al consumo de drogas ilegales (Figura 5).

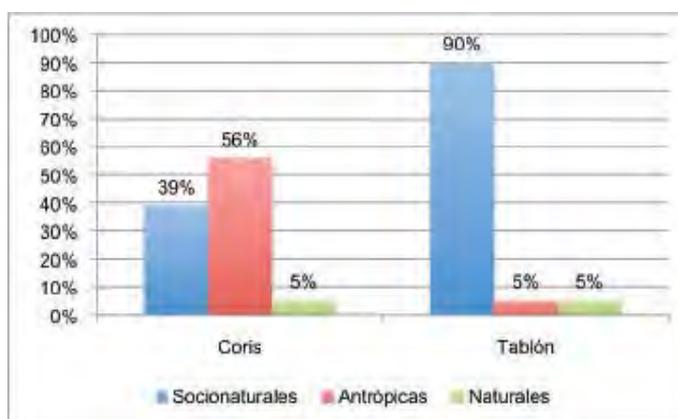
Por consiguiente, se infiere que el registro en el número de amenazas antrópicas (especialmente aquellas relacionadas con sustancias peligrosas y contaminación), descritas por los participantes de los talleres en Coris, se podría deber a la cercanía geográfica de la comunidad de Coris respecto a la zona industrial de Cartago, donde se encuentran instalados múltiples establecimientos industriales, clasificados por el Ministerio de Salud de Costa Rica como Tipo A<sup>5</sup> (riesgo alto).

Entre ellos destacan la extracción de cal, la producción de insumos agrícolas, abonos, papel, alimentos para mascotas, granjas avícolas y porcinas, aserraderos, fábricas de pinturas, industrias farmacéuticas y productoras de fibra de vidrio (Ministerio de Salud, Área Rectora de El Guarco, com. esc., 2011).

---

<sup>5</sup> Establecimientos o actividades de riesgo alto: aquellas actividades o establecimientos que por sus características representan o pueden representar un riesgo potencial en forma permanente a la salud de las personas o al ambiente (La Gaceta N° 42 del 29 de febrero del 2000: Decreto Ejecutivo N° 34728-S.).

Figura 5: Clasificación de las amenazas por su origen en las comunidades de Coris y Tablón



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Por su parte, en el pueblo de Tablón la presencia y reporte de eventos y emergencias por contaminación de residuos industriales líquidos y sólidos es nula, dado que esta comunidad se ubica aproximadamente a 10 Km de distancia de la zona industrial anteriormente mencionada.

En cuanto a las amenazas naturales, tal y como se muestra en el Cuadro 1 y la Figura 5, en ambas comunidades se identificó sólo una amenaza natural (5%) asociada a sismos por fallamientos locales y regionales activos (Figura 2).

Es pertinente mencionar que dichas fallas geológicas han generado sismos destructivos como el ocurrido el 2 de septiembre de 1841 y 4 mayo de 1910, los cuales destruyeron gran parte de las edificaciones de la ciudad de Cartago y generó gran cantidad de muertes y daños considerables en la infraestructura, tanto de Cartago, como de San José, Desamparados, Curridabat, Tres Ríos y Paraíso (Barquero, 2010; Peraldo & Acebedo, 2010).

Estos sismos se caracterizaron por presentar sus hipocentros a poca profundidad de la superficie terrestre con magnitudes oscilaron entre 4 y 6 grados en la escala Richter; esto, aunado al relieve de pendientes fuertes (propenso a deslizarse al igual que la topografía del área de estudio) y un tipo de suelo blando y poco consolidado (que amplifica las ondas sísmicas), representa una importante amenaza,

tanto para las personas como para la infraestructura de los pueblos situados dentro de la microcuenca del río Purires.

Por otra parte, la evaluación de las amenazas en las comunidades de Coris y Tablón se realizó utilizando dos períodos de tiempo diferentes, que fueron propuestos y elegidos por las personas que participaron en los talleres de trabajo en ambas comunidades.

Los participantes a los talleres de trabajo en la comunidad de Coris realizaron el inventario y la evaluación de las amenazas según un período de tiempo que abarcó un año (enero 2010 – diciembre 2010). A cada amenaza seleccionada se le realizó un análisis específico con base en tres variables de estudio: frecuencia, magnitud y área de impacto.

La elección de dicho período por parte de las personas se justificó aduciendo *“que no recuerdan”* que en años anteriores al 2010, la cotidianidad en la comunidad haya sido *“severamente”* afectada por la manifestación recurrente de eventos naturales o siconaturales. Sin embargo, se considera que lo anterior puede reflejar un desconocimiento o resistencia, por parte de las personas que participaron en los talleres de trabajo, a reconocer la recurrencia histórica de eventos que han afectado algunas zonas o la totalidad del área de estudio. La razón de estas condiciones puede estar asociada a una corta memoria histórica, así como a una percepción del riesgo desde una visión territorial y social muy acotada al espacio comunal (CEPAL, 2005) y desligada de la totalidad del área de la microcuenca del río Purires.

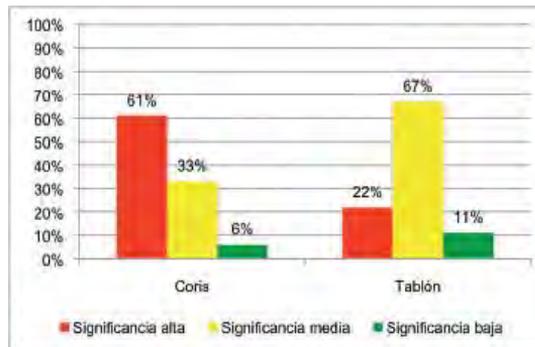
A diferencia de Coris, la evaluación de las amenazas en la comunidad de Tablón se realizó utilizando un período de tiempo que abarcó 15 años (desde el año de 1996 hasta el año 2011). A cada amenaza seleccionada también se le realizó un análisis específico utilizando las mismas variables que en el pueblo de Coris (frecuencia, magnitud y área de impacto).

La elección del período de tiempo se justificó aduciendo que desde el año de 1996 (año en el que Costa Rica fue impactada por el efecto indirecto del huracán César), se han presentado una serie de eventos recurrentes como desbordamientos y deslizamientos, que han afectado la infraestructura vial (caminos y puentes) y residencial del pueblo de Tablón y alrededores.

Por otra parte, al sumar los valores asignados a la frecuencia, magnitud y área de impacto de cada amenaza seleccionada, se obtuvo el nivel de significancia. Este evidenció que en la comunidad de Coris (Figura 6) el 61% de los eventos peligrosos se clasificó con un alto nivel de significancia; el 33% se clasificó con un nivel medio y el restante 6%, de baja significancia, dada la combinación de valores asignados a las tres variables de estudio en un período de un año (Figura 6).

En tanto, en la comunidad de Tablón de El Guarco las amenazas se clasificaron en un 67% con una significancia media; en un 22%, con una alta significancia y el restante 11%, de baja significancia dada su frecuencia, magnitud y área de impacto en un período análisis que abarcó 15 años (Figura 6).

Figura 6: Clasificación de las amenazas en las comunidades de Coris y Tablón dado su nivel de significancia



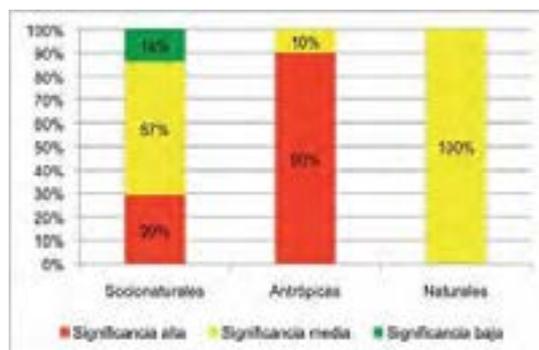
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Sin embargo, para complementar la clasificación anterior se elaboró otra clasificación agrupando las amenazas por comunidad, nivel de significancia y por su origen; es decir, en socionaturales, antrópicas y naturales. Dado lo anterior, del total de amenazas socionaturales seleccionadas en Coris, el 29% presentó un nivel de significancia alto; el 57% de significancia media y el restante 14% de significancia baja (Figura 7).

Además, de las diez amenazas antrópicas identificadas, el 90% de éstas se clasificó con una alta significancia, debido a la combinación de altos valores designados a la frecuencia, magnitud y área de impacto. En tanto, el restante 10% se

clasificó como amenazas con un nivel de significancia medio. Por último, el 100% de las amenazas naturales asociadas a sismos se clasificó con un nivel de significancia medio.

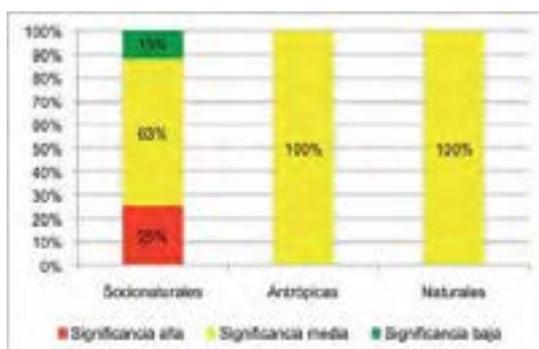
Figura 7: Clasificación de las amenazas por su origen y nivel de significancia en la comunidad de Coris



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Según la figura 8, del total de eventos socionaturales peligrosos identificados en la comunidad de Tablón, el 25% presentó un nivel de significancia alto; el 63%, un nivel de significancia medio y el 13%, un nivel bajo de significancia. En tanto, las dos restantes amenazas (naturales y antrópicas) se clasificaron con niveles medios de significancia dado los valores asignados a la frecuencia, magnitud y área de impacto.

Figura 8: Clasificación de las amenazas por su origen y nivel de significancia en la comunidad de Tablón



Fuente: Elaboración propia, 2013.

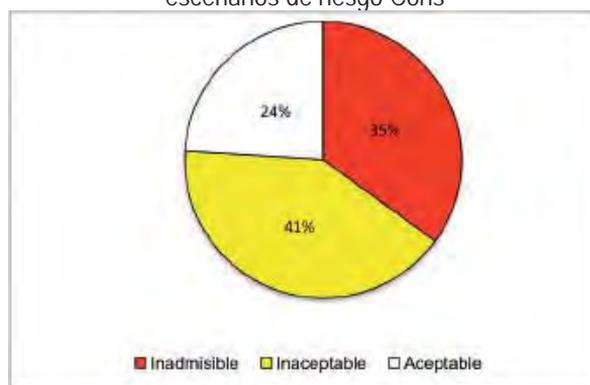
Un vez definidas y categorizadas las amenazas en ambas comunidades (por su nivel de significancia), se procedió a establecer los escenarios de riesgo. Según Toro (2002) un escenario de riesgo es la representación de la interacción de las amenazas, el riesgo y las condiciones de vulnerabilidad en un territorio y en un período de tiempo dado.

Por lo tanto, este escenario debe permitir identificar los tipos de daños y las pérdidas, que pueden producirse en caso de presentarse un evento peligroso, bajo condiciones de vulnerabilidad específicas (Luengas, 2008).

Los escenarios de riesgo en cada comunidad de estudio se determinaron mediante la elaboración de una matriz construida a partir de las amenazas seleccionadas y el inventario de los recursos comunales anteriormente descritos. Estos escenarios se estimaron relacionando los recursos y las amenazas, y determinando las intersecciones (en una matriz) por medio de una (x).

Además, con el fin de clasificar la gravedad relativa del riesgo que presentó cada escenario seleccionado y así definir la necesidad de intervenirlo y estimar la cantidad y el tipo de recursos humanos y materiales para ello, los escenarios de riesgo se clasificaron por su nivel de aceptabilidad (Figuras 9 y 10).

Figura 9: Clasificación de aceptabilidad escenarios de riesgo Coris



Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la comunidad de Coris de Cartago se definieron un total de 17 escenarios de riesgo (Figura 9), compuestos todos ellos por amenazas antrópicas. Estos

por su nivel de aceptabilidad se categorizaron de la siguiente manera: un 35% de los escenarios presentaron un nivel inadmisible, un 41% fueron clasificados como inaceptables y el restante 24% de los escenarios, como aceptables (Figura 9).

Dada la descripción anterior, se establece que en primer orden de intervención para disminuir su condición mediante el uso de recursos y sugerencias técnicas se incluyen 6 escenarios (35% figura 9), cuyos valores superaron el 25% de vulnerabilidad. Los recursos comunales que están bajo dicho nivel de aceptabilidad son la infraestructura vial (caminos vecinales) y los puentes, así como las personas y todas aquellas viviendas que están emplazadas en áreas cercanas a las fuentes contaminantes.

En un segundo orden de prioridad, se encuentran 7 escenarios (41%), que se clasificaron como inaceptables, pues se localizan según su valor de vulnerabilidad desde el 5,1% hasta el 25%. Tales escenarios están compuestos por amenazas contaminantes al aire (polvo y malos olores), suelo (botaderos clandestinos), así como contaminación sónica generada por la actividad diaria de las fábricas cercanas a la comunidad.

Por consiguiente, se requiere desarrollar acciones prioritarias a corto plazo para su gestión, debido al alto impacto que estas tendrían sobre los recursos (infraestructura y personas) seleccionados.

Los recursos que se encuentran bajo este nivel de vulnerabilidad son las personas que habitan la comunidad, secciones de la red de caminos vecinales, puentes, la iglesia, el salón comunal, la escuela y las viviendas. En tercer orden de prioridad se localizan 4 escenarios que representan el 24% del total (Figura 9), cuyo porcentaje de vulnerabilidad va desde el 0,3% hasta el 3%, que los clasifica como "aceptables". Estos escenarios se relacionan con actos de delincuencia y falta de vigilancia sobre las personas y la infraestructura.

Según la definición de los criterios de aceptabilidad propuesta por Toro (2002), se establece que un escenario ubicado bajo dichos valores no implica una gravedad significativa; por lo tanto, se considera que no amerita la inversión de recursos y que no requiere acciones adicionales para la gestión sobre el factor de vulnerabilidad.

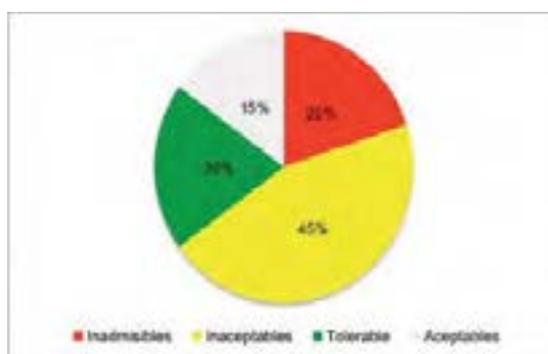
Sin embargo, se considera pertinente propiciar las condiciones para el diálogo entre el Ministerio de Seguridad Pública, las empresas privadas ubicadas en la comunidad y los miembros de la comunidad para, así, definir estrategias de vigilancia y monitoreo en las zonas identificadas como inseguras por falta de vigilancia.

En la comunidad de Tablón de El Guarco se definieron un total de 14 escenarios de riesgo, relacionados con amenazas socionaturales (Figura 10). Estos, por su nivel de aceptabilidad, se clasificaron de la siguiente manera: un 20% como inadmisibles, un 45% como inaceptables, un 20% como tolerables y el restante 15% como aceptables.

En cuanto a las prioridades de intervención dada la gravedad relativa del riesgo que presentó cada escenario seleccionado en Tablón, se establece que en primer orden se definieron 3 escenarios (20%), cuyos valores superan el 25% de vulnerabilidad, clasificándoles como inadmisibles. Dichos escenarios son de prioridad máxima de intervención, con recomendaciones para disminuir sus valores de vulnerabilidad.

En un segundo orden de prioridad, se encuentran 6 escenarios (45%) que se clasificaron como inaceptables, pues su valor de vulnerabilidad va desde el 5,1% hasta el 25% de vulnerabilidad.

Figura 10: Clasificación de aceptabilidad escenarios de riesgo Tablón



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Tales escenarios están relacionados con amenazas como deslizamientos, desbordamientos de ríos y quebradas, además de erosión hídrica en las zonas de

cultivo en terrenos con pendientes pronunciadas y fuertes. Con base en lo anterior, se propone desarrollar acciones de intervención prioritarias a corto plazo, debido al alto impacto que tales eventos tendrían sobre los recursos seleccionados (infraestructura, cultivos y personas).

En el tercer lugar de prioridad, se ubican 3 escenarios de riesgo (20%) que se clasificaron como tolerables, pues su vulnerabilidad va desde el 3,1% hasta el 5%. Ello implica que, aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, tienen una prioridad de segundo nivel en comparación con los escenarios anteriores, lo cual permite diseñar estrategias de intervención a mediano plazo.

En cuarto lugar de prioridad se ubican 2 escenarios de riesgo que representan el 15% del total (Figura 10) y que se clasificaron como aceptables, dado que su condición de vulnerabilidad va desde el 0,3% hasta el 5%.

Por consiguiente, la combinación de la frecuencia y las consecuencias no implican una gravedad significativa, por lo que no amerita la inversión de recursos y no requiere acciones adicionales para la gestión sobre el factor de vulnerabilidad considerado. Sin embargo, es necesario aclarar que tanto los escenarios clasificados como inadmisibles e inaceptables, así como los tolerables y aceptables, deben quedar sujetos a una constante vigilancia y monitoreo por parte de los pobladores de la comunidad por dos razones principales:

Primero, Aguilar & Saborío (2006) proponen que la vulnerabilidad es inherente a todo ser vivo y está relacionada directamente con: las condiciones del ambiente físico y social que lo rodean y a factores de tiempo y espacio. Dado lo anterior, se establece que la vulnerabilidad estará matizada por todas las esferas que rodean la vida del ser humano y la forma en que éste se apodera del medio natural para su propio beneficio (Aguilar & Saborio, 2006).

Por lo tanto, la vulnerabilidad no es constante en el tiempo y el espacio para una determinada amenaza, pues depende de las características y distancia del elemento vulnerable a la fuente de amenaza; ésta, en términos sociales, varía en función de edad, género, cultura o ingresos económicos (Peraldo, 2004).

Segundo, debido a que los porcentajes de vulnerabilidad se estimaron, en su mayoría, para escenarios de riesgo relacionados con amenazas siconaturales

(deslizamientos y desbordamientos de ríos y quebradas) que están en estrecha relación con la manifestación de eventos hidrometeorológicos que impactan al área de estudio en período lluvioso, es necesario además definir estrategias de vigilancia, monitoreo y códigos de alerta temprana.

Lo anterior se debe principalmente a que tales eventos hidrometeorológicos (tormentas, lluvias torrenciales, huracanes en el mar Caribe) pueden variar en su intensidad y recurrencia año con año, dada la influencia del efecto directo del fenómeno de El Niño y La Niña para la región centroamericana, con lo cual también se podrían incrementar los eventos extremos (en la microcuenca del río Purires) con lluvias mayores a 1 670 mm por año; es decir, 18% por encima del promedio (Retana & Villalobos, 2002).

## CONCLUSIONES

En la comunidad de Coris de Cartago, se identificaron un total de 18 amenazas clasificadas por su origen en: antrópicas (56%), socionaturales (39%) y naturales (5%).

También se determinó que la relación entre la cantidad y el tipo de amenazas antrópicas (especialmente aquellas asociadas a la presencia de sustancias peligrosas y contaminación) que afectan a los pobladores de Coris, está en estrecha relación con la cercanía geográfica de la comunidad respecto a la zona industrial de Cartago.

La clasificación de las amenazas por su nivel de significancia demostró que el 61% presentaron un alto nivel; el 33% un nivel medio y el restante 5%, fueron amenazas de baja significancia dada su frecuencia, magnitud y área de impacto.

En Tablón de El Guarco, también se identificaron un total de 18 amenazas, clasificadas por su origen en: socionaturales (90%) antrópicas (5%) y naturales (5%).

El número de amenazas socionaturales asociadas a deslizamientos y desbordamientos de ríos descrito en la comunidad de Tablón, está relacionado con el desarrollo histórico de actividades agropecuarias, las cuales han generado acelerados procesos de deforestación y erosión debido a cambios drásticos en el uso de la tierra, especialmente, en aquellas laderas con pendientes moderadas y fuertes de

vocación forestal.

Asimismo, la clasificación de las amenazas por su nivel de significancia, evidenció que el 22% de éstas, se clasificaron con un alto nivel; el 67% como amenazas de nivel medio y el restante 11%, de baja significancia.

Finalmente, se concluye que, si bien el análisis de vulnerabilidad se realizó puntualmente en dos comunidades rurales (con espacios geográficos muy bien diferenciados dadas sus actividades económicas, tipos de amenazas, usos de la tierra y características sociodemográficas), es importante aclarar e informar a los habitantes de Coris y Tablón, así como a otras comunidades vecinas, que éstas forman parte de una unidad geográfica definida por sus límites naturales como una microcuenca hidrográfica, cuyos componentes humanos, culturales y económicos, así como climáticos y ecológicos, agrícolas, edáficos, geológicos y geomorfológicos son propios e inigualables. Por lo tanto, toda modificación natural o antrópica, en sus partes altas, medias o bajas, generaría impactos y desequilibrios al resto de la microcuenca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. & Saborio, R. (2006): "La construcción histórica de la vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos en la Suiza, Turrialba". Univ. de Costa Rica. San José [Tesis Lic.].
- Álvarez, C., Calvo, M., Córdoba, J. & Jirón, D. (2010): "Análisis de la erosión hídrica en los agroecosistemas café, helechos y pasto de la microcuenca alta del río Poás, Costa Rica". Univ. de Costa Rica. San José José [Tesis Lic.].
- Barquero, R. (2010): "Capítulo 3: Análisis de las intensidades y esbozo de la recurrencia de la sismicidad, en el área de Cartago", en: Peraldo, G. & Acevedo, B. (ed.) 2010: Efemérides de la destrucción de la ciudad de Cartago. Cien años después (1910-2010). Ediciones Perro Azul, San José, págs. 49-58. Berrangé, J. & Whittaker, J. (1977): "Reconnaissance geology of the Tapantí Quadrangle, Talamanca Cordillera, Costa Rica", en Institute of Geological Sciences, London [Informe interno].
- Brenes, A. & González, P. (1998): "Gestión local, riesgo y vulnerabilidad en una

localidad de la microcuenca 5 del río Virilla: Los Sitios, Moravia”. Univ. de Costa Rica. San José [Tesis Lic.].

- Buch, M. & Turcios, M. (2003): “Vulnerabilidad socioambiental: Aplicaciones para Guatemala”. Universidad Rafael Landívar, Guatemala [Informe interno].
- Carrillo, S. & Carrillo, M. (2005): “Estudio de la amenaza de inestabilidad de laderas y desarrollo de un escenario preliminar de la afectación de la infraestructura vital. Microcuenca del Río Purires, Provincia de Cartago, Costa Rica”. Univ. de Costa Rica. San José [Tesis Lic.].
- CEPAL. (2005): “Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas siconaturales. Cuatro experiencias en América Latina y el Caribe”. LOM ediciones, Santiago de Chile.
- Céspedes, L. (2011): “Primer análisis de vulnerabilidad física de los principales centros poblados del área del proyecto MARAMEX-MANTARON, Región Junín”. Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geofísica. Universidad Mayor de San Marcos, Lima [Tesis Lic.].
- Córdoba, J. (2012): “Análisis de vulnerabilidad de las comunidades de Coris y Tablón en la microcuenca del río Purires, provincia de Cartago, Costa Rica”. Univ. de Costa Rica. San José [Tesis M.Sc.].
- Denyer, P. & Arias, O. (1991): “Estratigrafía de la región central de Costa Rica”, en Rev. Geol. Amér. Central, N0.12, págs. 1 – 59.
- Escalante, J., Hilje, W., Leiva, D. & Rivas, L. (2006): “Factores de vulnerabilidad social antes desastres en la comunidad de la cuenca del río Jucó, ubicada en el Valle de Orosí en la provincias de Cartago”. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- Fernández, M. (1996): “Capítulo 1: Hacia un marco conceptual desde la perspectiva Latinoamericana”, en Fernández, M., [compiladora], 1996: Ciudades en riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. La Red, Lima, pág. 7-15. FICR. (2006): “¿Qué es el AVC? Introducción al análisis de vulnerabilidad y capacidad”. Centro Regional de Referencia en Educación Comunitaria

para la Prevención de Desastres, Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. San José, 54 págs.

- Kholer, A., Jülich, S. & Bloemertz, L. (2004): "Manual: El análisis de riesgo – Una base para la gestión de desastres naturales".GTZ- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Eschborn, págs. 76.
- La Gaceta N° 42 del 29 de febrero del 2000: Decreto Ejecutivo N° 34728-S.
- La Gaceta N° 8, 11 de enero de 2006: Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488.
- Lavell, A. (1996): "Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación", en: Fernández, M., [compiladora], 1996: Ciudades en riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. La Red, Lima. págs. 21-61.
- Lavell, A. (2004): "Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición" La Red, Lima. págs. 23.
- Luengas, E. (2008): "Incorporación. La gestión del riesgo en instituciones educativas del municipio de los patios. Plan escolar para la gestión del riesgo". Dirección de prevención y atención de emergencias – DPAE. Bogotá, págs. 44.
- Melone, S. (2003): "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su construcción al riesgo sísmico". Escuela Técnica Superior. Barcelona [Tesis Ph.D.].
- Peraldo, G. (2004): "La novedad de lo constante: El proceso del desastre y su relación con la gestión territorial. Caso del distrito de Rivas, Pérez Zeledón, Costa Rica".Univ. de Costa Rica. San José [Tesis M.Sc.].
- Peraldo, G. & Acevedo, B. (2010): "Efemérides de la destrucción de la ciudad de Cartago. Cien años después (1910-2010)". Ediciones Perro Azul, San José.
- PRUGAM, (2010): "Mapa de uso de la tierra para la Gran Área Metropolitana.– Escala 1: 25 000, Proyecto Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana,

## San José”.

- Fernández, M. (1996): “Capítulo 1: Hacia un marco conceptual desde la perspectivaRetana, J. & Villalobos, R. (2002): “Eventos extremos meteorológicos en Linda Vista del Guarco, Cartago”, en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, N0. 9 (1), págs. 56 – 63.
- Santos, M. (1986): “Por una geografía nueva”. Espasa Calpe, Madrid.
- Sogreah Ingenierie, Gómez – Cajiao y Asociados & Sinergia 69. (2000): “Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Reventazón”. Instituto Costarricense de Electricidad [Informe interno].
- Solano, J. & Villalobos, R. (2001): “Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climática de Costa Rica” en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, N0. 8 (1), págs. 26 – 39.
- Toro, M. (2002): “Metodología para el análisis del riesgo y vulnerabilidad de sistemas de agua potable y saneamiento. Empresas públicas de Medellín E.S.P. Unidad estratégicas de negocios de aguas”.III Curso internacional microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres. Lima.
- Trilla, J. (1992): “La educación no formal. Definición, conceptos básicos y ámbitos de aplicación”. CEAC, Barcelona.
- Zúñiga, J. (1993): “Metodología para la determinación de la estabilidad de un río (caso del río Purires)” . Univ. de Costa Rica. San José [Tesis Lic.].
- Zusman, P. (2002): “Milton Santos. Su legado teórico y existencial (1926-2001)” en Documents d’ Anàlisi Geogràfica. N0.40, págs. 205-219.

# *Sistemas de información geográfico y la preservación del patrimonio natural y cultural: la exploración de La Mosquitia hondureña*

Juan Carlos Fernandez-Diaz, Steve Elkins, Alicia M. González, William Carter, Ramesh Shrestha, Michael Sartori, Abhinav Singhanian, Craig, Glenie, Bill Benenson, Garry Spire

## **Resumen:**

En Mayo del 2012, después de más de un año de investigación y planeación, un grupo dirigido por el cinematógrafo Steve Elkins con el respaldo de Bill Benenson, y Garry Spire, realizó el primer mapeo exploratorio de la Mosquitia Hondureña utilizando tecnología LiDAR abordo un avión bimotor Cessna 337. La tecnología LiDAR, que es un acrónimo en Inglés para Light Detection and Ranging, es también conocida como Radar Óptico o Radar Laser y utiliza pulsos laser para generar mapas tridimensionales de la superficie terrestre. En general, equipos LiDAR actuales permiten detectar múltiples retornos para cada pulso emitido a medida que estos se propagan a través de aberturas en las coronas de los árboles y demás vegetación hasta el terreno debajo de ella. A través de filtros morfológicos es posible clasificar los retornos como provenientes de vegetación o del suelo, lo que permite separar los retornos del suelo revelando lo que el bosque oculta. La Mosquita provee las condiciones más difíciles para probar las capacidades de la tecnología LiDAR.

La planeación, recolección, procesamiento y análisis preliminar de los datos LIDAR fue efectuada por técnicos del centro de investigación de ciencias e ingeniería de sistemas de Geopercepción de la Universidad de Houston y el Centro Nacional para el Mapeo Laser Aéreo de la Fundación Nacional para la Ciencia. El mapeo se enfocó en varias aéreas dentro de una extensión de jungla de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup> en el departamento de Gracias a Dios. Los planes de vuelo y el equipo fueron configurados para lograr la máxima penetración a través de la vegetación. Emitiendo más de 20 pulsos/m<sup>2</sup> y obteniendo aproximadamente 31 retornos/m<sup>2</sup> de

los cuales solo 1 o 2 corresponden al suelo. Los modelos digitales de elevación de terreno revelan debajo de la espesa vegetación una exuberante topografía y una muy compleja hidrografía. Mas interesante, muestran una extensa modificación antropogénica del terreno, en lo que parece ser restos arqueológicos.

**Palabras clave:** LiDAR/ Radar Óptico/ Sistemas de Información Geográfico/ Arqueología/ Mosquitia Hondureña.

### **Abstract**

In May 2012, after more than a year of research and planning, a group led by cinematographer Steve Elkins and backed by Bill Benenson and Garry Spire, conducted the first ever airborne LiDAR exploratory survey of the Honduran Mosquitia region utilizing a Cessna 337 twin engine airplane. LiDAR technology, which is an acronym for Light Detection and Ranging, is also known as Optical Radar or laser Radar and it employs laser pulses to generate three-dimensional maps of the of the Earth's surface. Current LiDAR units can generally record multiple returns per laser shot, and as the pulses propagate through partial openings in the forest canopy, they produce returns from the vegetation, the underlying terrain, or both. Through the use of morphological filters it is possible to classify returns as coming from the vegetation or ground, and the ground returns reveal what is hidden under the forest canopy. La Mosquitia jungle provides the toughest conditions on which to test airborne LiDAR capabilities.

The LiDAR data collection, processing and preliminary analysis were performed by researchers from the University of Houston (UH) Geosensing Engineering and Science Research Center and the National Science Foundation National Center for Airborne Laser Mapping (NCALM). The survey was focused in several areas within a jungle area of roughly 1000 km<sup>2</sup> in the department of Gracias a Dios. The flight plans and equipment were configured to maximize canopy penetration. Firing more than 20 laser pulses/m<sup>2</sup>, which yielded approximately 31 returns/m<sup>2</sup>, only 1 or 2 of which were found to be ground returns. Under the forest canopy, the digital elevation models reveal an exuberant topography and a very complex hydrology. Perhaps even more interesting, they reveal extended anthropogenic terrain modifications in what appear to be archeological remains.

**Key words:** LIDAR/ Optical Radar/ Geographic Information Systems/ Archeology/ Honduran Mosquitia.

**Juan Carlos Fernandez-Diaz**<sup>1</sup> (jfernand4@central.uh.edu), University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; Steve Elkins, UTL Scientific / UTL Productions; **Alicia M. González, William Carter**, University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; **Ramesh Shrestha**, University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; **Michael Sartori**, University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; **Abhinav Singhanian**, University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; **Craig, Glenie**, University of Houston / NSF National Center for Airborne Laser Mapping; **Bill Benenson, Garry Spire**.

## INTRODUCCIÓN

Frecuentemente llamada los pulmones de Centro América o la Pequeña Amazonia, la región de la Mosquitia Hondureña es una de las pocas junglas tropicales vírgenes en existencia hoy en día. Caracterizada por una exuberante y abundante flora y fauna, con un terreno muy variado compuesto por altas montañas, sabana de pinos dispersos, humedales, manglares y una extensa red de ríos, riachuelos, lagunas y pantanos. Durante los últimos 500 años bajo el dominio Español y Británico, múltiples y continuos intentos de exploración y explotación han brindado muy pocos resultados y la mayor parte de la región se mantiene desconocida, inexplorada y sin mapas precisos y confiables, esto debido a la naturaleza agreste del terreno y la vegetación. Desde hace mucho tiempo la Mosquitia ha sido valorada por sus recursos naturales y desde 1980 forma parte de la Red Mundial de Biosferas de la UNESCO. Esfuerzos metódicos y sistemáticos para el mapeo y levantamiento de inventario del patrimonio natural son continuos. Sin embargo a pesar de su estatus protegido tanto a nivel nacional como internacional, la Mosquitia se encuentra bajo constante asecho por parte de depredadores del bosque y la naturaleza, cazadores de tesoros y más recientemente narcotraficantes.

En cuanto al patrimonio cultural de la región, lo que se conoce es minúsculo en comparación con el tamaño de la región y el legado de los habitantes indígenas de la región no ha sido completamente valorado. Los intentos de colonización y/o asentamiento en sus tierras tradicionales son temas recurrentes en las historias orales y escritas desde tiempos ancestrales. La región que es compartida entre Honduras y Nicaragua ha sido el hogar para múltiples grupos que han sido ligados con algunos de los idiomas y lenguajes más antiguos de Norte y Sur América. Algunas estimaciones no verificadas, ubican estos grupos étnicos en la zona en una época aun tan temprana como el Periodo Arcaico de entre 4000 a 2000 años Antes de la Era de Cristo. Aun y cuando, los habitantes de la Mosquitia en el Siglo 16 nunca fueron conquistados por los españoles, su influencia y la influencia de las subsecuentes incursiones e interacciones resultaron en nuevos y complejos grupos étnicos y culturales como los Misquitos. Grupos que son el resultado del comercio a lo largo de la cuenca del mar Caribe, y la mezcla y mestizaje de los pobladores autóctonos, africanos y europeos. Estas intrusiones por los foráneos, que quizás ocurrieron durante muchos siglos, dispersaron o quizás eliminaron a los pobladores autóctonos de la región. Grupos de los que se sabe han habitado y en algunos casos continúan habitando la región incluyen los Tawaka, Sumo, Pech (anteriormente

conocidos como Paya), los Misquitos, los Garífunas, los Tolupanes; y los Rama y Ulwa (mas que todo en Nicaragua). El patrimonio cultural de estos pueblos, el cual es tanto tangible como intangible es igual de variado y misterioso como la región misma. El patrimonio intangible, incluye historias de los vínculos ancestrales con el terreno, la jungla, sus lugares sagrados, historias de grandes ciudades fortificadas, historias que muchos clasifican como mitos o leyendas. Sin embargo, en raras ocasiones elementos del patrimonio tangible son descubiertas y sirven para enriquecer los mitos y leyendas. Pero a estas alturas, la mayor parte del patrimonio cultural permanece oculto, desconocido y los pocos fragmentos de los que se conocen proveen más preguntas que las respuestas que proporcionan.

La investigación de campo de manera sistemática en la región de la Mosquitia es extremadamente difícil. Arqueólogos y antropólogos asociados con el Instituto Hondureño de Antropología e Historia han hecho esfuerzos de exploración e investigación desde la fundación del instituto hace ya más de 60 años con resultados muy pequeños comparados con otras regiones menos precarias de Honduras. A través de la tenacidad y persistencia de un puñado de individuos, varios sitios arqueológicos han sido descubiertos, documentados y registrados como patrimonio cultural de la región. Sitios como Las Crucitas de Aner, El Higuero, El Lancetillal, Los Metates del Camotal, y los petroglifos de Walpulsirpe. Estos pocos sitios, son solo una pequeña fracción de de lo que puede ser una red extensa de comunidades en la región, creando más preguntas que respuestas. Ahora, la tecnología de Mapeo LIDAR se presta como una herramienta para facilitar la identificación del extenso patrimonio natural y cultural de la región y para brindar algunas respuestas a las múltiples interrogantes y leyendas de la región.

## **BREVE RESEÑA DE LA EXPLORACIÓN DE LA MOSQUITIA**

Una de las primeras expediciones de exploración de la Mosquitia Hondureña de las que hay registro histórico fue descrita en una carta al Rey de España por el Obispo Cristóbal de Pedraza. Dicha carta relata un arduo viaje hacia el borde de la jungla de la Mosquitia. Más recientemente en 1915, el profesor y cartógrafo Jesús Aguilar Paz inició su recorrido alrededor de Honduras para producir el primer mapa moderno y completo del país. Dicho mapa fue publicado en 1933 y en su recorrido el Dr. Aguilar Paz visito las distintas comunidades de la Mosquita. (Mugnier, 1999) La primera expedición arqueológica de la región fue realizada en 1933 por el arqueólogo William Duncan Strong del instituto Smithsonian. En su diario de campo, Strong

documenta la existencia de montículos arqueológicos en la zona, entre muchos los montículos de Wankibila o Guanquivila en las orillas del Río Patuca y los montículos de Floresta a las orillas del río Conquirre. (Smithsonian Institution, SF) Más cercano a nuestro tiempo, arqueólogos y antropólogos como George Hasemann (ya difunto), Gloria Lara Pinto y Chris Begley han identificado y documentado cientos de pequeños pero muy interesantes sitios arqueológicos en la región. (Lara-Pinto, 2006) (Begley, 2002 y 2007) Sin embargo, hasta la fecha ningún complejo arqueológico de gran tamaño descrito en las leyendas ha sido identificado a pesar de los múltiples esfuerzos por arqueólogos y cazadores de tesoros. Tecnologías de percepción remota desde plataformas satelitales incluyendo imágenes ópticas y Radar de Apertura Sintética (Yakam-Simen et al., 1999) han sido empleadas por algunos para facilitar la exploración de la región sin producir notables resultados.

## LA TECNOLOGÍA LIDAR

LiDAR que es un acrónimo en Inglés para Light Detection And Ranging o detección y medición de distancia por luz, es también conocido como radar óptico, al utilizar pulsos de luz visible en vez de pulsos de radiofrecuencia para detectar objetos y medir la distancia entre el equipo y dicho objeto. El LiDAR es una técnica de percepción remota que utiliza radiación electromagnética en la longitud de ondas visibles para detectar objetos, determinar la distancia al objeto y también permite deducir propiedades físicas del objeto con base en las interacciones entre la radiación y el objeto. Hay muchas formas y aplicaciones del LiDAR, ejemplos incluyen el mapeo de la superficie terrestre y subacuática, la estructura del bosque, la detección de componentes y contaminantes atmosféricos, la determinación de la temperatura del aire, la velocidad y dirección de viento a diferentes niveles de la atmósfera, visión computarizada y detección de obstáculos para robots y vehículos autónomos, etc. (Fernandez-Diaz et al., 2013). En este trabajo se trata exclusivamente con LIDAR de mapeo aéreo, también conocido como Airborne LiDAR Swath Mapping o ALSM. Los primeros sistemas de LiDAR de mapeo aéreo, desarrollados a mediados de la década de 1960, funcionaron en modo altímetro de perfilamiento, es decir que medían y registraban la altitud relativa del avión respecto al terreno justo debajo del avión en forma de perfil y utilizaban un barómetro para registrar la altitud respecto al nivel medio del mar. Aplicaciones de estos sistemas incluían la medición del grosor de las capas de hielo en el océano ártico y la detección de submarinos en aguas poco profundas. (Hickman y Hogg, 1969) Este interés militar empujó el desarrollo de sistemas para aplicación batimétricas durante más de una

década. En 1977 se inicio a trabajar en el primer sistema LiDAR que empleaba un espejo de barrido, el que permitía dirigir el haz laser en un pequeño ángulo hacia los costados del avión, perpendicularmente a la dirección de vuelo. Esto permitió al sistema LiDAR conocido como Airborne Oceanographic LiDAR o AOL registrar la elevación de una franja de superficie en vez de un simple perfil. (Gunter et al. 1978) Los primeros resultados en los que el AOL fue utilizado para registrar la elevación de la superficie terrestre y la vegetación fueron reportados en 1984. Desde entonces, hasta esta fecha múltiples avances en tecnologías claves como sistema de navegación por satélite, unidades de medición inercial (IMUs), láseres pulsados, foto detectores y sistemas de cómputo sofisticados han convertido el LIDAR de mapeo en el método más preciso y de mayor resolución para mapeo tridimensional de la topografía terrestre.

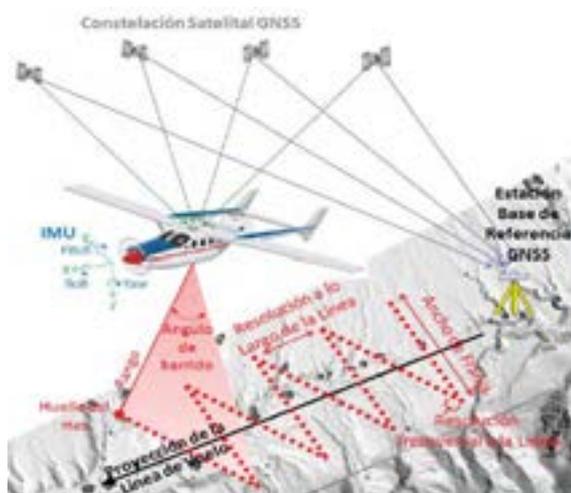


Figura 1. LiDAR de Mapeo Aéreo.

Los principios básicos del LIDAR de mapeo aéreo se ilustran en la Figura 1. La parte más importante del sistema, es una fuente laser pulsada, que emite pulsos laser de corta duración (FWHM  $\sim 10$  nanosegundos) y que se repiten miles de veces por segundo en lo que se llama frecuencia de repetición de pulso (PRF). Estos pulsos laser salen del avión a través de un puerto de mapeo en el fuselaje del avión y son distribuidos en 2 dimensiones sobre el área de interés. La primera dimensión es a lo largo de la dirección de vuelo del avión y se logra con el movimiento propio del avión.

La segunda dimensión se logra a través de un mecanismo de barrido, generalmente un espejo rotante u oscilante, que orienta los pulsos laser hacia los costados del avión perpendicularmente a la dirección de vuelo. La combinación del movimiento propio del avión y el barrido por el espejo distribuyen los pulsos laser sobre el terreno en un patrón con forma de diente de sierra. La selección del ángulo de barrido del espejo y la altitud de vuelo sobre el terreno determinan el ancho de la franja de mapeo. La frecuencia de barrido, el PRF determina la separación entre pulsos laser sobre el terreno en la dirección perpendicular a la línea de vuelo, o resolución transversal a la línea. La velocidad sobre el terreno del avión y la frecuencia de barrido determinan la separación de los pulsos laser sobre el terreno en la dirección del vuelo, o resolución a lo largo de la línea.

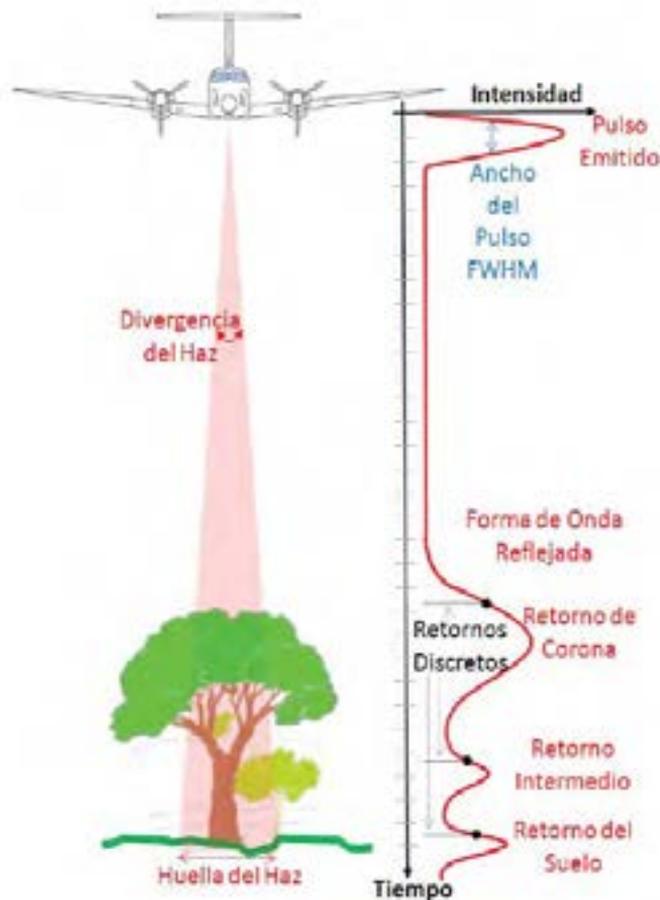


Figura 2. Propagación de un Pulso Laser.

La Figura 2 ilustra que la energía laser de un único pulso se propaga a través de la atmósfera en una forma cónica, similar al patrón de radiación de un foco de mano altamente directivo. El ángulo en el que se dispersa el haz laser depende de la divergencia óptica del laser y en conjunción con el altura de vuelo determinan que tan grande es la “huella del haz” en el suelo. La mayor parte de los sistemas de mapeo aéreo tienen divergencia que producen huellas de haz con diámetros de entre 20 cm a 1 m, por ello se categorizan como sistemas de huella pequeña, en contraste a sistemas satelitales que tienen huellas de 30 m de diámetro. La Figura 2 también ilustra un gráfico de la intensidad de la luz laser emitida y recibida en función del tiempo de propagación, lo que se conoce como forma de onda.

La forma de onda de un pulso laser al salir del sensor LiDAR es un perfil Gaussiano, y a medida que el pulso interactúa con la vegetación o el terreno parte de la energía es retornada hacia el sensor, modificando la forma de onda dependiendo de las propiedades geométricas y espectrales del objeto que interactúa con el pulso. Los fotones que son reflejados de regreso al sensor, son detectados por un foto detector, generalmente un fotodiodo de avalancha (APD) o un tubo fotomultiplicador (PMT). La señal producida por el foto detector puede ser digitada y almacenada para posterior análisis o puede ser analizada en tiempo real por un circuito analógico que produce marcas de tiempo muy precisas para eventos muy particulares. Del análisis de las formas de onda o de las marcas de tiempo se puede determinar el tiempo de vuelo (ida y regreso) entre el pulso emitido y los distintos elementos que reflejaron parte de la energía de regreso al sensor. Dividiendo este tiempo de vuelo entre 2 y multiplicándolo por la velocidad de la luz para el medio adecuado, se determina la distancia entre el sensor y el objeto que produjo la reflexión de la energía (retorno), o el rango entre el sensor y el objeto. Conociendo la posición y la orientación del avión, es posible producir coordenadas 3-dimensionales para cada uno de los objetos que produjeron un retorno.

Como se ilustra en la Figura 1, hay 2 dispositivos que forman parte de un sistema de mapeo LiDAR que sirven para determinar la posición y la orientación del sistema para georeferenciar los retornos. El primer componente es un receptor de calidad geodésica del sistema satelital de navegación global o GNSS. Adicionalmente al receptor GNSS es necesario contar con por lo menos un receptor en una ubicación fija o una estación base de referencia. Dichas estaciones de referencia se deben de localizar a una distancia máxima de 100 km de la región de mapeo. Todos los receptores del sistema tienen que funcionar simultáneamente y almace-

nan la información que reciben de los satélites en memoria para efectuar un procesamiento post-vuelo. Las estaciones base almacenan datos por un largo periodo (> 4 horas), lo que permite determinar la posición de la estación con una precisión mejor que un centímetro tanto en la orientación horizontal y vertical. Una vez que la posición de las estaciones base han sido determinadas, se pueden procesar las observaciones GNSS del avión y de las estaciones de forma vectorial diferencial para determinar la trayectoria del avión (latitud, longitud y elevación o XYZ) con referencia a las estaciones bases. El segundo componente es la unidad de medición inercial (IMU), la que está compuesta de 3 acelerómetros y 3 giroscopios que se ubican en una triada ortogonal. La IMU registra las aceleraciones lineares y angulares del avión alrededor de 3 ejes longitudinal (roll), lateral (pitch) y vertical (yaw). La trayectoria diferencia GNSS y la información registrada por la IMU se combinan en un filtro de estimación óptima (Kalman Filter) para producir la mejor estimación de trayectoria completa (posición y orientación) en lo que se conoce como SBET (Smoothed Best Estimate of Trajectory).

La trayectoria completa posteriormente se combina con la información de tiempos, distancias e intensidades de cada retorno obtenidas con el sistema LiDAR y se produce el primer producto de datos, la nube de puntos (PC). La nube de puntos es una colección de coordenadas, estampas de tiempo, intensidad y otra información del sistema (tipo de retorno, clase y ángulo de barrido) para cada retorno detectado por el sistema. La nube de puntos es información geo-espacial de naturaleza irregular, ya que la separación entre los retornos no es uniforme, más bien siendo un proceso completamente aleatorio. Como se ilustra en la Figura 2, cada pulso laser emitido por el sistema puede producir múltiples retornos discretos. La combinación de longitud de onda, divergencia de haz, y la capacidad de barrer el haz laser permite que la energía laser se propague a través de aberturas en la corona de los árboles y así produce múltiples retornos a diferentes niveles de la vegetación y del suelo. Cada uno de estos retornos representa un elemento único en la nube de puntos.

El siguiente paso en el procesamiento de datos LiDAR consiste en clasificar cada retorno de la nube de punto como producido por vegetación, por el suelo o por algún tipo de edificación. La clasificación de los retornos como producidos por el terreno u otro objeto se realiza con un filtro morfológico que inicia identificando los retornos con la elevación más baja en cada celda de una cuadrícula de búsqueda. El tamaño de las celdas en la cuadrícula es seleccionado de manera que coincida

con el máximo tamaño de edificaciones a encontrar en el aérea. De esta manera, es muy probable que los retornos con la elevación más baja seleccionados para cada cuadrícula sean retornos provenientes del suelo. A partir de aquí se inicia un proceso iterativo de construir facetas trianguladas entre los puntos clasificados como suelo y evaluar la elevación de cada retorno contra la respectiva elevación de la superficie triangulada. Si la elevación del retorno es superior a la elevación de la superficie, es muy probable que no corresponda al suelo, en cambio si su elevación es inferior a la superficie es muy probable que si corresponda al suelo. Con cada iteración el número de puntos clasificados como suelo aumentan, densificando el número de superficies triangulares y reduciendo sus áreas, hasta que llega un punto que no se pueden agregar más puntos a la clase que corresponde al suelo. (Axelsson, 2000)

La nube de puntos clasificada representa el producto de datos que contiene la mayor cantidad de información, sin embargo por la cantidad de mediciones que contiene, así como también su naturaleza de espaciamiento irregular, realizar análisis sobre esta es muy complicado. Para facilitar el análisis de datos LiDAR, la información de la nube de puntos se compacta produciendo arreglos regulares (rasters) de datos, similar a una imagen digital en las cuales hay un espaciamiento uniforme entre las filas y columnas, y el valor de cada elemento está relacionado con la información de elevación de los retornos en dicha celda. Un raster de elevación que representa la superficie del suelo sin ningún elemento de vegetación o edificaciones se denomina Modelo de Elevación Digital o DEM. Otro tipo de raster que generalmente se produce se denomina Modelo de Superficie Digital o DSM y en este arreglo el valor de cada celda corresponde a la máxima elevación obtenida en cada una. En caso de zonas boscosas, el DSM corresponde a un modelo de la superficie formada por la corona de los árboles.

## PRIMERA EXPEDICIÓN

El cinematógrafo Steve Elkins participó en varias expediciones exploratorias en el Caribe y la Mosquitia Hondureña a mitad de la década de 1990 y conoce de primera mano lo difícil de las condiciones de la jungla y el terreno. En 2011, después de que se hicieron públicos los resultados del mapeo realizado por el Centro Nacional para Mapeo Aéreo (NCALM) de la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) de los Estados Unidos en la zona del sitio arqueológico de Caracol en Belice en 2009 (Chase, 2011); Elkins identificó lo valioso que podría ser la tecnología

de mapeo LiDAR para la exploración arqueológica de la Mosquitia. Elkins contactó a NCALM y a distintas entidades del gobierno hondureño para realizar un proyecto exploratorio de ciertas zonas de la Mosquitia y al mismo tiempo realizar un documental del mismo. Después de más de un año de investigación, planificación y coordinación se logró realizar la primera expedición para realizar un mapeo exploratorio y realizar el documental al mismo tiempo. La expedición fue dirigida por Steve Elkins con el respaldo legal y económico del también cinematógrafo Bill Benenson y el abogado/activista/tecnólogo/financista Garry Spire. El equipo de exploración incluye al autor y ex -editor del Museo Americano de Historia Natural y Arqueología Douglas Preston, el profesor de media y productor de documentales y programas de televisión Tom Weinberg, al explorador de la Mosquitia Bruce Henricke y su esposa hondureña Mabel Henríquez. Marvin "Mango" Henríquez fue responsable de la operación de una estación base receptora de GPS en la zona de Dulce Nombre de Culmí, Olancho. También se operaron estaciones GPS en Roatán y una estación GPS autónoma en Trujillo, Colon. El equipo de NCALM basado en la Universidad de Houston estuvo compuesto por el piloto de la aeronave Charles Gross, un piloto de seguridad e ingeniero de sistemas LiDAR Juan Carlos Fernández-Díaz y los ingenieros de procesamiento de datos GPS y LiDAR Michael Sartori y Abhinav Singhanía. El equipo de campo de UH/NCALM procesaba los datos en campo y transmitía imágenes selectas a través del Internet a los profesores William Carter, Ramesh Shrestha y Craig Glenie localizados en Estados Unidos para un análisis complementario más detallado. El equipo de producción del documental estuvo compuesto por Mark Adams, Stephen Graham, Robert Isais. Además de las personas antes mencionadas la expedición no se hubiera podido realizar sin la asistencia de personas como la Antropóloga Alicia Gonzales quien realizó mucho del trabajo de investigación que soportó la expedición; al profesor del Instituto de Tecnología de California (CALTECH) George Rossman asesor científico de Steve Elkins; el arqueólogo Dan Thompson quien realizó análisis de imágenes satelitales de la zona; y Charis Horton encargada de la logística desde Estados Unidos.

Entre el 2 y 12 de Mayo del 2012 se efectuaron un total de 8 vuelos (Roatán - La Mosquitia - La Ceiba - Roatán), con una duración total de 33.6 horas y el láser se operó un total de 8.7 horas. El plan de vuelo y el equipo fue configurado para obtener la mayor penetración a través de la corona de los árboles. Esto incluye una alta frecuencia de pulso laser (PRF) de 133 kHz (133,000 pulsos por segundo), un angosto ángulo de barrido de  $\pm 15^\circ$  del nadir, divergencia de haz ancha (0.8 miliradianes). El plan de vuelo consistía en líneas ortogonales con un traslape lateral

de 50% de manera que cada metro cuadrado de jungla se mapea desde 4 ángulos distintos.

Con estas configuraciones, el plan indica una densidad de pulsos laser de casi 26 pulsos/m<sup>2</sup>. En total se mapearon 5 áreas (~140 km<sup>2</sup>) distribuidas dentro de una superficie de 5500 km<sup>2</sup> en zonas que se sabe con 100% de certeza que no han sido científicamente exploradas anteriormente. Se emitieron 3.5 mil millones de pulsos laser, de los cuales se procesaron 2.9 mil millones de pulsos, produciendo un total de 4.5 mil millones de retornos, en promedio 1.54 retornos por pulso. Un 61.1% de los pulsos produjeron un retorno únicamente, 27.5% produjeron 2 retornos, 10.3% produjeron 3 retornos y solo un 2% produjeron 4 retornos.

## HALLAZGOS Y SUS IMPLICACIONES

En base a las nubes de puntos clasificadas se produjeron modelos de elevación digital (DEM) del suelo (después de remover la vegetación) y modelos de superficie digital (DSM) para representar las copas de los árboles y lo que una cámara óptica registraría como señal desde una vista aérea/espacial. Con los DEMs y DSM se produjeron imágenes de relieve con iluminación sintética (hill-shade models), las que muestran el terreno con una exageración vertical y con una iluminación solar proveniente de una altura y azimut determinado. En estas imágenes, que requieren muy leve interpretación humana, es evidente la presencia de montículos, que por su tamaño, ubicación, orientación y distribución entre ellos (muchos en ángulos rectos) se cree que son ruinas arqueológicas. Estas ruinas son evidentes en 2 de las 5 áreas mapeadas, esto no quiere decir que no haya indicios de edificaciones arqueológicas en las otras 3 áreas restantes, con más análisis y más fotointerpretación más estructuras de interés pueden ser detectadas. A diferencia de otros sitios arqueológicos previamente identificados y catálogos en la Mosquitia, el número de estructuras que se encuentran por km<sup>2</sup> así como también la extensión superficial que ocupan las estructuras es tal que estos sitios se pudieran catalogar del tamaño de "ciudad" en el contexto de la región mesoamericana.

La Figura 3, muestra las imágenes sintéticas creadas con base en DEM, DSM y la nube de puntos clasificada de uno de dichos complejos de estructuras. En la parte A) de la figura se muestra una imagen generada con base en DSM, el cual representa los primeros retornos (máxima elevación) detectados por el sistema. Es decir el DSM representa la elevación máxima de la corona de la vegetación.

La resolución horizontal del DSM es de un metro. En la parte B) de la figura se muestra una imagen generada con base en DEM que se construye con base en los retornos clasificados como suelo y los retornos de vegetación son ignorados, removiendo así la señal de la vegetación. En esta imagen se aprecian unos montículos rectangulares, algunos de los montículos en el lado derecho de la imagen están en ángulos rectos como rodeando un plaza central. En esta imagen se han identificado 9 de estos montículos, sin embargo dentro de la misma imagen hay algunos otros elementos que pueden ser identificados como potenciales modificaciones de terreno por humanos. Para proporcionar una idea del tamaño de estos montículos, se realizó un corte transversal de la nube de puntos en el área que parece ser la plaza rectangular (Ver línea punteada en la Parte B de la figura). Con base en el corte transversal se generó la imagen que se muestra en la parte C) de la figura. En esta imagen se puede apreciar la sección transversal de 3 montículos de diferentes tamaños. El montículo mas grande, es de aproximadamente 20 metros de ancho, 5 metros de alto y aproximadamente 60 metros de largo. Entre las dos áreas con estructuras similares se pueden identificar un poco más de 100 elementos peculiares los cuales se deben verificar en campo.

Es importante resaltar que es necesario la verificación in-situ para determinar con 100% de certeza la naturaleza de estas características superficiales. Actualmente, el arqueólogo Chris Fisher y geógrafo Steve Leisz de Colorado State University están trabajando en conjunto con los investigadores de NCALM/UH en el análisis de los datos LiDAR. Al mismo tiempo Steve Elkins está en el proceso de planificación y coordinación con el gobierno de Honduras para realizar la verificación de campo. La cual es extremadamente complicada por el difícil acceso a las zonas en las que se han encontrado estas estructuras. En caso de que la verificación arroje resultados positivos, sin duda serían hallazgos significativos ya que serían las unidades poblacionales mas grandes conocidas a la fecha en la región de la Mosquitia Hondureña. La posibilidad de utilizar LiDAR de mapeo aéreo para identificar posibles ruinas arqueológicas tiene implicaciones éticas grandes con respecto a las medidas que se tienen que tomar para la protección y preservación del patrimonio cultural y natural de la región. Esta región que ha sido saqueada por depredadores de la flora y fauna y por cazadores de tesoros que saquean reliquias arqueológicas para venderlas al mejor postor en el mercado negro.

Por otro lado, sacando a la luz el carácter excepcional de la Mosquitia, muchas preguntas pueden explorarse más a fondo sobre el poblamiento de esta zona,

lo cual ha escapado el estudio adecuado. Por ejemplo, algunas de las muchas preguntas que llaman la atención son el grado en que los rasgos culturales más conocidos de América del Norte y América del Sur se pueden identificar, como la delimitación o ampliación de lo que se designa como Mesoamérica con sus juegos de pelota y plazas; específicos rasgos compartidos con otras culturas del Caribe; o las influencias de caminos pavimentados de las culturas muy tempranas de Costa Rica y Panamá que comparten una raíz lingüística macro-Chibcha con los Pech de la Mosquita, o los restos de cultivos como el maíz, la yuca o el cacao, o más importante, la identificación de un complejo único y diferente y la organización social de las culturas de la región. Hoy en día esto son hipótesis y conjeturas, basada en lo poco que se conoce de los alrededores y el trabajo de los pocos que han asumido el reto de la remota región. Pero más pruebas concretas, más estudios y la participación de equipos de especialistas de varias disciplinas contribuirán en gran medida a identificar algunas nuevas piezas que faltan para darnos una imagen más amplia del mapa político y cultural de la Mosquitia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Axelsson, P. (2000), "DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models." En *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, Part B3, 85-92
- Begley, C. (2002), "El Clásico Tardío y el Postclásico Temprano en el Oriente de Honduras." En *XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 2001* (editado por J.P. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo), pp.36-47.
- Begley, C. (2007), "Intercambio Interregional, Conexiones Externas, y Estrategias de Poder en el Oriente de Honduras durante Periodos V y VI." en *Arqueología del Área Intermedia*, Bogotá, Colombia. Chase, A. et al. (2011): "Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize" en *Journal of Archaeological Science*, Vol. 38, Is. 2, February 2011, pg 387–398.
- Fernandez-Diaz, J.C. et al. (2013): Chapter 31: "LiDAR Remote Sensing", en *Handbook of Satellite Applications*; Pelton, Madry y Camacho Lara (Edt). New York, Springer.

- Guenther, G.; Goodman, L.; Enabnit, D.; Swift, R.; Thomas, R. (1978), "Laser Bathymetry for Near Shore Charting Application (Preliminary Field Test Results)", en OCEANS '78, vol., no., pp.390-396, doi: 10.1109/OCEANS.1978.1151121
- Hickman, G.D. y Hogg, J.E. (1969): "Application of an Airborne Pulsed Laser for Near Shore Bathymetric Measurements", en Remote Sensing of the Environment, Vol 1, No 1, P 47-58.
- Lara-Pinto, G. (2006): "La Investigación Arqueológica En Honduras: Lecciones Aprendidas para una Futura Proyección." en Revista Pueblos y Fronteras digital, No 2. UNAM, México
- Mugnier, C.J. (1999): "The Republic of Honduras" en Grids & Datums, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, P 754-755. July 1999.
- Smithsonian Institution (SI): "Selections from the Field Journal of William Duncan Strong (Honduras, 1933)" <http://www.nmnh.si.edu/naa/features/strong.htm>
- Yakam-Simen, F. Nezry. E y Ewing J. (1999): "A legendary lost city found in the Honduran tropical forest using ERS-2 and JERS-1 SAR imagery". En Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS '99 5: 2578 - 2580 vol.5.

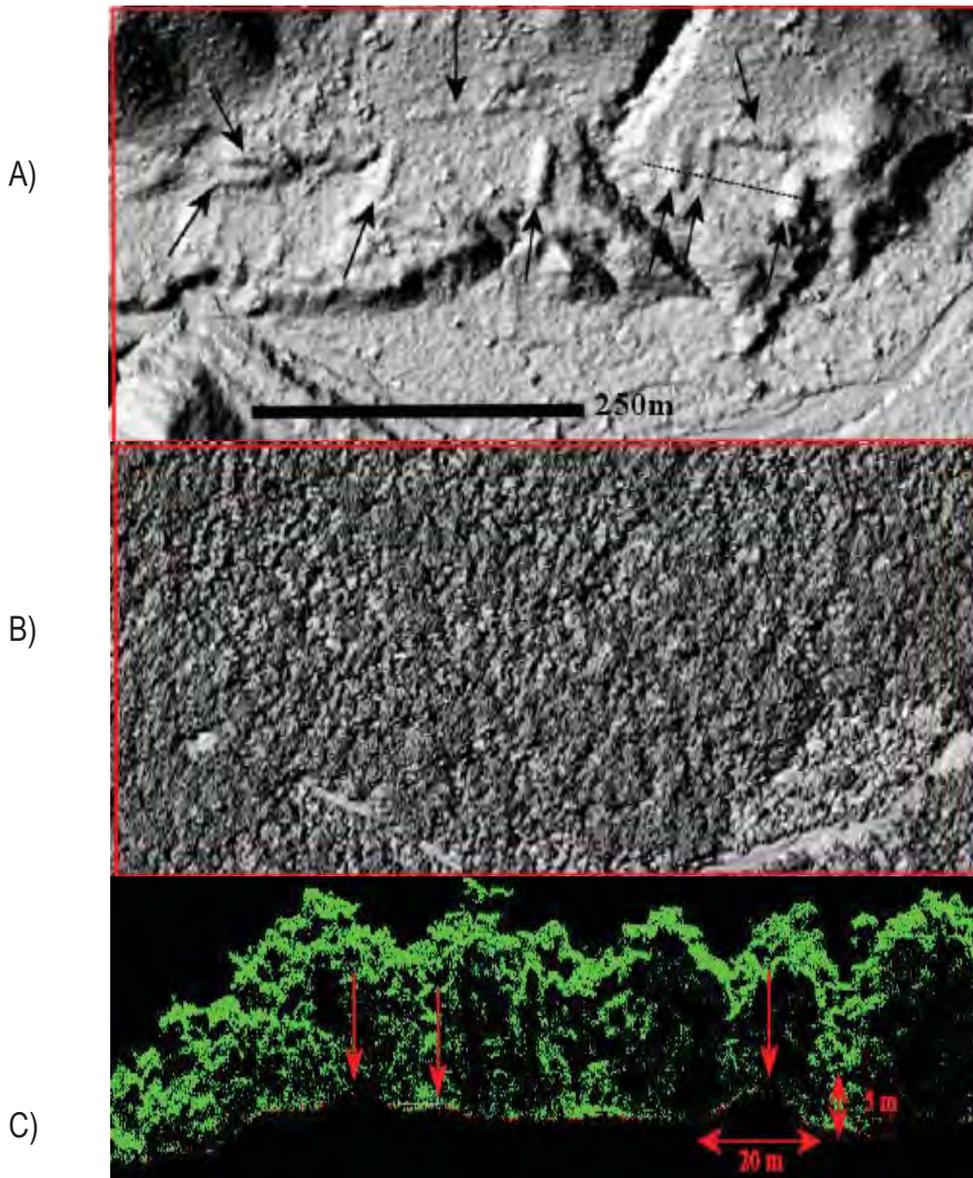


Figura 3. Imágenes sintéticas basadas en: A) el DSM (corona de la vegetación), B) DEM (suelo) y C) Perfil extraído de la nube de puntos clasificada (verde = vegetación, rojo = suelo)

# *Análisis de patrones espectrales del terreno y cambios hidrológicos a partir de datos multisensor en espacios naturales del sur de Costa Rica*

Esono Mangué, Sofía, Rejas Ayuga, Juan Gregorio, Bonatti, J., Martínez Marín, Rubén, Marchamalo Sacristán, Miguel, Algeet, Nur, y Fernández Moya, Jesús

## **Resumen:**

En Mayo del 2012, después de más de un año de investigación y planeación, un En el presente trabajo se aborda el estudio de los cambios en la cobertura del terreno y su impacto medioambiental en espacios naturales y semiurbanos del Sur de Costa Rica, incluida la reserva natural del Parque del Corcovado y la laguna de Sierpe. Para ello, se han utilizado datos de los sensores aeroportados HyMAP y MASTER, así como imágenes ASTER y ETM+ en un período comprendido entre 1990 y 2010. Se ha analizado tanto la cobertura del suelo como las láminas de agua mediante clasificación digital supervisada con datos de radiometría de campo como indicadores de efectos debidos a una posible contaminación ambiental o sobreexplotación de recursos que pudieran estar afectando a la zona. Se exponen los primeros resultados obtenidos así como la cartografía generada, y se evalúa el estado y la evolución de los usos del suelo.

**Palabras clave:** hiperespectral / multiespectral / hidrología / cobertura del suelo / detección de cambios.

## **Abstract:**

This study presents changes in land cover and its environmental impact in interest areas of natural and semi-urban zones of southern Costa Rica, including the nature reserve of the Corcovado Park and the Sierpe lagoon. Data from HyMap and MASTER airborne sensors are used in this research, as well as ASTER and ETM+ images taken in a period between 1990 and 2010. Land co-

ver and water surfaces are analyzed by supervised digital classification using radiometry data field, considered as indicative of possible environmental pollution or overexploitation of resources effects that could be affecting the area. Therefore, first obtained results and generated mapping are useful to assess the condition and evolution of land use.

**Keywords:** hyperspectral/multispectral/hydrology/land cover/change detection.

---

**Esono Mangué, Sofía** (sofia.esono@gmail.com), Universidad Politécnica de Madrid, UPM; **Rejas Ayuga, Juan Gregorio** (juangregorio.rejas@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM; **Bonatti, J.** (jbonatti2011@gmail.com), Universidad de Costa Rica, UCR; **Martínez Marín, Rubén** (ruben.martinez@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM; **Marchamalo Sacristán, Miguel** (miguel.marchamalo@upm.es), Universidad Politécnica de Madrid, UPM; **Algeet, Nur** (nuralgeet@gmail.com), Universidad Politécnica de Madrid, UPM; **Fernández Moya, Jesús** (jesusfmoya@gmail.com), Universidad Politécnica de Madrid, UPM.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se ha venido observando por instituciones y organismos científicos costarricenses un cambio significativo en las coberturas naturales y en espacios semiurbanos en una amplia región al sur de Costa Rica, concretamente en las inmediaciones del Parque Nacional de Corcovado, en un período desde que se registran datos fiables de al menos 3 décadas a esta parte. Estos cambios de las cubiertas pudieran estar asociados a su vez a cambios de usos del suelo, cambios de cultivos, como efectos de causas naturales, deforestación, contaminación o debidos a sobre explotación de los mismos.

Para estudiar los efectos producidos por la dinámica de cambio en la cobertura del terreno se viene aplicando con éxito la monitorización mediante sensores de teledetección (E. Chuvieco 2002), así como análisis cuantitativo en conjunción con Sistemas de Información Geográfica (Bosque Sendra et al. 2010; Conesa García et al. 2004). De esta manera, se elaboran productos cartográficos diversos sobre el estado y la evolución de las coberturas naturales y artificiales del terreno (C.M. Marino et al. 2001; J.G. Rejas Ayuga et al. 2007), y se generan nuevas variables sobre los parámetros biofísicos que pudieran estar evolucionando en un amplio período temporal en una zona como investigada especialmente sensible a los efectos del cambio global.

En este sentido, la tecnología hiperespectral o espectrometría de imagen, supone una mejora que ofrece información global de una amplia área de estudio además de una elevada definición espectral necesaria para caracterizar las cubiertas en estas zonas. Las investigaciones se han dirigido hacia propuestas de optimización de procesos de clasificación a partir de datos multi-sensor de alta resolución. Experiencias previas de clasificación de datos hiperespectrales se han mostrado de gran utilidad en la cartografía de biotopos y en el apoyo de la gestión del territorio en estos espacios (Landgrebe, D. 1999; Mckeown et al. 1999).

En el presente estudio se ha tenido en cuenta datos multi-hiperespectrales para realizar una aproximación sobre la caracterización espectral de espacios naturales y espacios semiurbanos, validando los resultados con espectrorradiometría de campo y laboratorio. Se han analizado cambios en la reflectividad y emisividad de las coberturas del terreno y de láminas de agua indicativos de efectos debidos a una posible contaminación ambiental o sobre explotación de recursos que pudieran es-

tar afectando a la zona. Se presentan los primeros resultados obtenidos, así como la evolución en las coberturas del terreno indicativas de la dinámica de los cambios de los usos del suelo.

## AREAS DE ESTUDIO

El estudio se ha centrado en las áreas del Parque Corcovado y la laguna de Sierpe, en la región suroeste de Costa Rica. El Parque Nacional (PN) Corcovado se encuentra en la Península de Osa y es parte del Área de Conservación Osa (Provincia de Puntarenas) (Figura 1). Fue creado el 24 de octubre de 1975 y comprende un área de 45.757 hectáreas terrestres y 5.375 marinas (MINAE y SINAC 1999). Una meteorización geológica intensa ha producido una topografía de riscos angostos, lomas largas y empinadas, y una red de drenaje que domina prácticamente todas las tierras excepto una meseta en la zona noroeste del parque.

El PN Corcovado es considerado una pieza muy importante en el amplio sistema de parques nacionales y reservas biológicas del país (Hartshorn *et al.* 1983). La diversidad biológica es sorprendente, tanto que *National Geographic* lo ha denominado “*el lugar más intenso del mundo, biológicamente hablando*” y se estima que ningún lugar en el mundo (que posea una extensión similar) albergue una diversidad biológica mayor (MINAE & FPN 1999).

La laguna de Sierpe está situada al sureste de Costa Rica (Figura 2), a una altitud de 16 msnm (Haberyan *et al.*, 2003) y tiene 1,02 km<sup>2</sup> de espejo de agua (Umaña *et al.*, 1999), siendo su área de cuenca de 306,54 km<sup>2</sup>.



FIGURAS 1 y 2. Localización del Parque Nacional de Corcovado y la laguna de Sierpe. Fuente: 2007-2012 YourTravelmap.com, Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) y Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) de Costa Rica – 2011).

### 3. DATOS Y PREPROCESO

Los datos de teledetección utilizados en este estudio son de dos tipos: hiperespectrales aeroportados y multiespectrales espaciales. Se han utilizado datos del sensor HyMAP (Cocks et al., 1998), sensor aeroportado e hiperespectral desarrollado por Integrated Spectronics, en Sydney, Australia, y operado por HyVista Corporation. Ofrece una excelente información espacial, espectral y radiométrica, en un número de bandas (Tabla 1) que en los últimos prototipos es configurable, abarcando rangos del espectro reflectivo hasta el infrarrojo de onda corta o SWIR (*Short Wave InfrRed*). El sistema consiste en un escáner “whiskbroom” que utiliza redes de difracción y cuatro matrices compuestas por 32 elementos para proporcionar 126 canales espectrales que cubren un rango de 0,45 a 2,5 micras y se extienden sobre una franja de 512 píxeles.

También se han utilizado datos del sensor MASTER, similar al MAS (*IS Airborne Simulator*), con bandas térmicas modificadas asemejándose más al NASA EOS ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), que fue lanzado en el año 1998. Se pretendió con él estudiar las propiedades geológicas y otras características de la superficie terrestre. Sus 50 bandas espectrales están configuradas de la siguiente manera (Tabla 2):

Configuración espectral				
Módulo	Canales (bandas)	Rango espectral ( $\mu\text{m}$ )	Ancho banda (nm)	Media espectral (nm)
VIS	1 al 31	0.45 - 0.89	15 - 16	15
NIR	32 al 62	0.89 - 1.35	15 - 16	15
SWIR1	63 al 93	1.40 - 1.80	15 - 16	13
SWIR2	94 al 125	1.95 - 2.48	18 - 20	17

TABLA 1. Características del sensor HyMAP. (Fuente: modificado de Clocks et al., 1998).

Canal espectral	Banda: Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Espectro
1 a 7	0.460 - 0.75	Visible
8 a 25	0.8 - 2.39	Infrarrojo cercano (NIR)
26 a 40	3.15 - 5.25	infrarrojo medio
41 a 50	7.9 - 12.75	infrarrojo lejano

TABLA 2. Características de las bandas del sensor MASTER. (Fuente: modificado NASA).

La imagen HyMAP utilizada tiene un tamaño de 512 x 4564 píxeles, tomada el día 12-09-2003 y con una resolución espacial de 15 metros (Figura 3). La imagen MASTER fue adquirida en tandem con HyMAP el mismo día, siendo su tamaño de 6973 líneas y 750 columnas, con una resolución espacial de 20 m.

Se han utilizado imágenes en ETM+ de 7741 x 6911 píxeles, tomadas con fecha 02-02-1990, 14-02-2000 y 20-02-2011 y con una resolución de 30 metros, procedentes de Earth Explorer del USGS (Figura 4).

Se ha realizado un procesamiento digital de imágenes mediante la aplicación de técnicas matemáticas computacionales para permitir mejorar, corregir, analizar y extraer información de las imágenes captadas por el conjunto de los sensores. Ha sido necesario transformar los parámetros de 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 es preparar el conjunto de los datos para posteriores análisis que permitan correlacionar espacialmente las coberturas del terreno con los parámetros biofísicos de reflectividad, temperatura superficial o profundidad.



FIGURA 3. Laguna de Sierpe en HYMAP (rgb 20,27,35).



FIGURA 4. Detalle del Parque Corcovado en ETM+ (rgb 7,5,3).

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. Los espectros se han utilizado para caracterizar los materiales 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 25 puntos de chequeo medidos en el terreno con GPS 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.

## 4. ANÁLISIS DE COBERTURAS DEL SUELO

### 4.1. Cartografía de la Cobertura del Terreno. Clasificación digital de imagen.

El objetivo de la clasificación es el reconocimiento de clases o grupos cuyos miembros tengan ciertas características en común. El resultado ideal consiste en obtener clases que sean mutuamente excluyentes y exhaustivas.

Se han aplicado dos tipos principales de clasificación: *supervisada*, si partimos de un cierto conocimiento sobre la zona a clasificar y a partir del cual obtendremos criterios de clasificación; y *no supervisada*, si no tenemos ningún conocimiento previo y de lo que se trata es de discriminar píxeles en función de una magnitud cuantitativa de diferenciación entre unos y otros (Mena, J.B. et al 2005). La primera tarea, por lo tanto ha sido definir una leyenda (ver Tabla 3) con las superficies de interés susceptibles de producir una respuesta registrada en el píxeles de 15m, 20m y 30 m de resolución espacial de la imagen, que abarcara la variabilidad de coberturas y que supusieran a priori un valor añadido a la hora de confeccionar una actualización de la cartografía en un espacio denso y homogéneo como este.

El planteamiento metodológico propuesto está enfocado en la extracción de la información a partir de la propia imagen, minimizando el trabajo de campo y la información procedente de librerías espectrales.

La clasificación digital se ha abordado en dos fases. Primeramente se

ha aplicado clasificación no supervisada mediante los algoritmos *Isodata* y *el K Means*. A continuación, la clasificación supervisada mediante el método de *máxima verosimilitud*. Para realizar la supervisión en las áreas de entrenamiento seleccionadas, se ha visitado la zona identificando el tipo de material en las cubiertas de interés.

La clasificación basada en la imagen requiere de un conocimiento previo de las diferentes tipos de superficie presentes, aunque no necesariamente de su firma espectral que se puede extraer de la imagen calibrada. Se han registrado 15 áreas de supervisión y se han realizado medidas de espectros discretos sobre muestras tomadas en varias de las áreas que eran accesibles.

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras aplicar ambos métodos de clasificación a las imágenes multiespectrales (Figura 5). Dichas imágenes corresponden a los años 1990 y 2012.

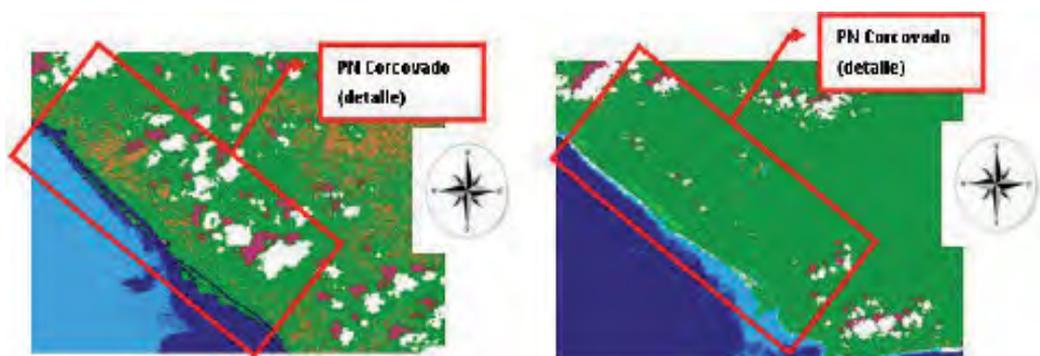


FIGURA 5. Detalle del Parque Corcovado obtenido mediante clasificación supervisada por método de máxima similitud correspondiente a los años 1990 (izqda.) y 2012 (dcha.).

En este caso, la información obtenida de los clusters (clases espectrales) es (Tabla 4):

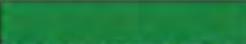
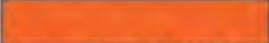
Clases Espectrales			
Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
			
			
Agua continental	Agua marina/manglar	Vegetación 1	Vegetación 2
Clases Informacionales			
Clases Espectrales			
Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8 / Clase 9
			
			Nubes / Sombras
Suelo Desnudo	Cultivo 1	Cultivo 2	
Clases Informacionales			

TABLA 4. Clasificación de las clases espectrales de la imagen tras la clasificación supervisada.  
(Fuente: Elaboración propia).

Se ha estimado el error y calidad de las clasificaciones digitales obtenidas, calculando la matriz de contingencia y coeficiente Kappa, para lo que se ha considerado como valor real los píxeles semilla supervisados en las campañas de campo de febrero de 2012 (Tabla 5).

		Método	Coefto Kappa
CLASIF. NO SUPERV.	[1]	ISODATA	0.97
	[2]		0.98
	[3]		0.97
	[1]	KMEANS	0.99
	[2]		0.98
	[3]		0.97
CLAS. SUPERV.	[1]	MÁX. VEROSIM.	0.99
	[2]		0.99
	[3]		0.99

TABLA 5. Tabla resumen con los diferentes coeficientes Kappa obtenidos en las clasificaciones. (Fuente: Elaboración propia).

NOTA: Los números entre corchetes [ ] vienen a referirse a: [1] periodo 1990-2000, [2] periodo 2000-2010 y [3] periodo 2010-actualidad

Como se puede apreciar, el coeficiente Kappa demuestra que prácticamente existe una buena correlación entre clases y que las designadas para realizar las distintas clasificaciones se asemejan a la realidad. Probablemente el mayor error se haya realizado al clasificar erróneamente y de forma conjunta ciertos elementos de la imagen; por ejemplo, confundir el agua con las sombras, no distinguir los distintos tipos de vegetación.

#### 4.2 Análisis de cambios de Coberturas del Terreno

Una amenaza importante en la zona es la deforestación en la reserva forestal Golfo Dulce. Esta reserva forma un corredor que une el Parque Nacional Corcovado con el Parque Nacional Piedras Blancas, asegurando que los animales que necesiten más espacio puedan desplazarse a lo largo del bosque entre ambos parques.

#### 4.2.1 Análisis Multitemporal De Cambios

El análisis multitemporal de la evolución de la cobertura del suelo y las láminas de agua es un tema crítico para entender las condiciones de la misma en el pasado y su potencial futuro en un contexto de cambio climático global. Los sensores HYMAP, MASTER y sobre todo Landsat ETM + proporcionan la capacidad de analizar estas variables a largo plazo, lo que constituye una herramienta esencial para el estudio de la evolución de estos elementos. Esta metodología hace una comparación entre imágenes del mismo lugar pero diferente fecha de toma para poder evaluar el progreso o disminución del cambio, permitiendo un monitoreo de la zona muy útil para medir la deforestación, el volumen de agua, el incremento de zonas agrícolas, etc.

Se han comparado las estadísticas de las clasificaciones en la detección de cambios de coberturas en el período estudiado mediante análisis por pares de fechas, obteniéndose las zonas que han experimentado cambios significativos desde el año 1990 a esta parte (Figura 6).

En el período comprendido entre 1990 y 2000 se ha producido un cambio de un 30% en la clase “agua” y en torno a un 44% en la clase “cultivos”, ya que zonas en donde había masa forestal se han convertido en zonas agrícolas. Las clases que mayor cambio han experimentado son las “nubes” y “sombras” (en un 20% aproximadamente), puesto que en el año 1990 había mucha masa nubosa que en el año 2000 se ha visto reducida considerablemente.



FIGURA 6. Detalle del cambio “vegetación a cultivos” en tono sepia (izqda.) y detalle del cambio de la lámina de agua de la laguna de Sierpe en tono verde (dcha.).

Estos porcentajes oscilan ligeramente en la siguiente década 2000--2010, ya que la clase “agua” sigue prácticamente presentando la misma variación (29%), y los cultivos se han visto incrementados en un 10% aproximadamente. De hecho, las clases que presentan una variación considerable son los “cultivos” y el “agua”. En el año 2000, la laguna de Sierpe, por ejemplo, presentaba una capacidad de agua que se ha visto reducida en un 15% en el 2010. Y además, algunas zonas de “suelo desnudo” han visto incrementada su área.

Las láminas de agua tanto de la laguna de Sierpe como de los ríos siguen experimentando un ligero cambio desde el 2010 hasta la actualidad. La deposición de sedimentos y la creciente presencia de cultivos en la zona contribuyen notablemente a la afectación y disminución de su caudal.

#### 4.2.2 Batimetrías por Métodos de Teledetección

La batimetría permite obtener medidas exactas de profundidad en la zona de estudio, el tipo de fondo y otras propiedades ópticas del agua; sin embargo, este método está limitado por su alto coste operativo y, en ocasiones, su difícil aplicación en aguas poco profundas. La determinación precisa de la profundidad del agua es importante tanto para propósitos de monitoreo submarino como el movimiento de los sedimentos depositados. Una de las aplicaciones dentro de este campo de la teledetección hiperespectral es su empleo en trabajos de batimetría. La mayoría de los estudios de batimetría mediante teledetección hiperespectral (Univ. de Jaén 2012; Degioanni, A. et al. 2002) tienen su fundamento físico en la siguiente función:

$$L_d = L_h * e^{-gz} + L_\infty \quad (1)$$

Donde:

$L_d$ : radiancia recibida en el sensor aerotransportado

$L_h$ : término que representa el contraste entre la reflectancia del fondo y reflectancia del agua

en el fondo y la cantidad de agua en la columna.

$L_\infty$ : radiancia que recibiría el sensor si el agua fuese ópticamente profunda.

$g$ : coeficiente de atenuación total difusa

$z$ : profundidad del fondo oceánico

En un primer paso se aplica el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), que es calculado en base a los niveles digitales de las bandas 2 y 4 de

Thematic Mapper, es decir, en longitudes de onda entre 520 y 600 nm, y 760 y 900 nm, mediante la aplicación de la ecuación (Castejón López et al., 2010) (2).

$$(DN2 - DN4) / (DN2 + DN4) \quad (2)$$

En este trabajo se ha realizado la batimetría tanto de las zonas costeras como de las láminas de agua continental de la laguna de Sierpe (Figura 7).

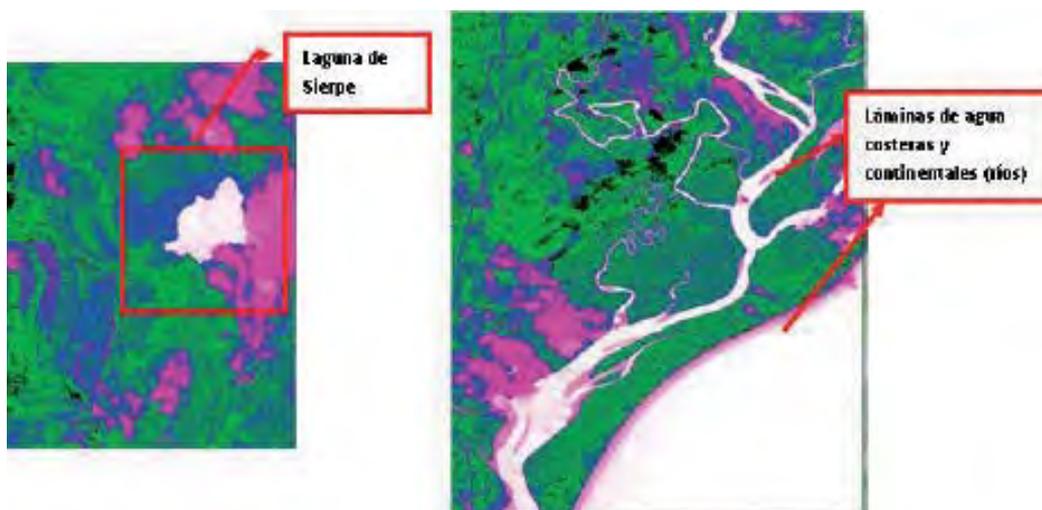


FIGURA 7. Imagen batimétrica de la laguna de Sierpe (decha.) y de zona de ribera y costera (izqda.)

Los valores resultantes de aplicar la ecuación aritmética de la batimetría a cada banda permiten analizar los efectos del sustrato del fondo y de la atenuación por profundidad sobre la radiancia mediante la correlación entre bandas. Así, por ejemplo, se puede apreciar que en las láminas de agua, los tonos rosados más oscuros indican zonas menos profundas, mientras que los más claros, reflejan un mayor nivel de profundidad.

Uno de los casos que más preocupa al Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) es la afectación natural de la laguna de Sierpe, ya que está siendo acosada por construcciones en su margen y por cultivos que ya se ubican aproximadamente a un kilómetro del espejo de agua (Figura 8). Según los técnicos del TAA, como consecuencia de las obras en el cauce así como del sedimento proveniente del camino construido, es posible que el flujo del recurso hídrico se haya visto afectado ya que, realizando una comparación de las observaciones en el sitio y los antecedentes

fotográficos, se ve que ha cambiado significativamente el volumen del flujo de agua entrante a la laguna en la entrada principal de ésta.



FIGURA 8. Detalle de la separación entre los cultivos (plantación de palma) y la laguna de Sierpe. (Fuente: Tribunal Ambiental con el apoyo de TNC (The Nature Conservancy) - 2011).

Por ello, el TAA considera necesaria una voz de alerta, a fin de que el MINAET (Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones), apoyado por el Área de Conservación Osa (ACOSA), investiguen más a fondo la problemática de la laguna Sierpe y realicen un plan de salvamento de este espejo de agua, cada año más reducido.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados confirman la capacidad de los datos hiperespectrales del sensor HyMAP y del sensor MASTER para detectar y cuantificar la distribución efectiva de varios tipos de cubiertas en el área de estudio del sur de Costa Rica. Las imágenes hiperespectrales mejoran la discriminación de estas superficies en procesos estándar de clasificación numérica, si bien se han observado algunos problemas de confusión entre superficies similares que podrían solucionarse introduciendo límites de contorno extraídos de la propia imagen o ampliando el espacio muestral. Así mismo, se ha observado cómo la respuesta de las superficies en el térmico puede ayudar a caracterizar tipos de cubierta.

Se han generado diversos productos cartográficos, de coberturas, de diná-

mica de cambio y de profundidad, sobre la serie temporal de imágenes. Se aprecia que en las 3 décadas que abarca el estudio, ha ido disminuyendo la capacidad de agua de la laguna.

Finalmente, se concluye que la teledetección es una herramienta útil para analizar cambios en la reflectividad y emisividad de las coberturas del terreno y láminas de agua, permitiendo llevar a cabo un completo análisis medioambiental de los efectos de las perturbaciones en el medio.

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido parcialmente financiado por el proyecto de investigación: multi-rotores UAV de alteraciones hidrotermales de la Cordillera Volcánica de Costa Rica. AL11-PID-16 (Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad de Costa Rica) y MACOSACEN, Manejo Comunitario de suelos y aguas en Centroamérica A2/037794/11 (AECID Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo Internacional - Universidad Politécnica de Madrid).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosque Sendra J. y Oñate-Valdivieso F. (2010); “Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling”. *Journal of Hydrology*, Volume 395, 15 December 2010.
- Castejón López, M<sup>a</sup> José y González Rojas, Juan Carlos (2010); “Batimetría del Mar Menor (Murcia) elaborada con imágenes Landsat 7”.
- Chuvieco E. (2002); “Tecnología Ambiental”. Barcelona, Ariel, 2002.
- Cocks T., Jenssen R., Stewart A., Wilson L., Shields T. (1998); “The HyMap Airborne Hyperspectral Sensor: The System, Calibration and Performance”. *Proc. of 1st EARSeI Workshop on Imaging Spectrometry*, Zurich, 37-42.
- Conesa García, Álvarez Rojel y Martínez Guevara, J.B. (eds) (2004); “Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales – Análisis mediante Tecnología SIG y Teledetección”. Departamento de Geografía de la UNiv. de Murcia, Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección de la AGE, Murcia (vol. I y II).

- Degioanni A., Reynero M.A., Cisneros J. y Cantero A. (2002); "Batimetría de lagunas mediante teledetección: ajustes de un modelo empírico en el sureste de Córdoba, Argentina". *Revista de Teledetección*. Haberyan K.A., Horn S.P. and Umana V. (2003); "Basic limnology of fifty-one lakes in Costa Rica". *Revista de Biología Tropical*, 51 (1): 107-122.
- Hartshorn G. & Poveda L. (1983). "Checklist of trees", p. 158-183. in D. Janzen (ed.). *Costa Rican Natural History*. University of Chicago, Chicago, Illinois.
- Landgrebe D., 1999. "Information extraction principles and methods for multispectral and hyperspectral image data". Ed. C.H.Chen, World Scientific Publishing Co., Inc., 1060 Main Street, River Edge, NJ 07661, USA 1999.
- Marino C.M., Panigada C. and Buetto L. (2001); "Airborne hyperspectral remote sensing applications in urban areas: asbestos concrete sheeting identification and mapping". *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 0-7803-7059-7/01.
- McKeown D.M., Jr., Cochran S.D., Ford S.J., McGlou J.C., Shufelt J.A. and Yochum D.A. (1999); "Fusion of HYDICE Hyperspectral data with panchromatic imagery for cartographic feature extraction". *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*.
- Mena J.B. and Malpica J.A., 2005. "Color image segmentation based on three levels of textura statistical evaluation". *Applied Mathematics and Computation*, 161 (2005) 1-17.
- 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.
- Umaña V., Haberyan G.K. & Horn S. (1999); "Limnology in Costa Rica", p. 33-62. In R.G. Wetzel & B. Gopal (eds.). *Limnology in developing countries*. International Scientific Publications, Nueva Delhi, India.

- Univ. de Jaén. (2012) “Teledetección aplicada”. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. - [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telap/Inves\\_tel/terrestre.htm](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telap/Inves_tel/terrestre.htm).

# *Aplicación de interferometría radar en el estudio de subsidencias en el Valle de Toluca, México.*

Dávila-Hernández, Norma Angélica y Madrigal-Uribe, Delfino

## **Resumen:**

El acuífero del Valle de Toluca pertenece a la cuenca alta del Río Lerma, en el Estado de México, siendo considerado como el segundo acuífero más sobre-explotado en México. Actualmente, la extracción del recurso ha causado impactos negativos como los procesos de subsidencia, dando lugar a agrietamientos tanto en zonas urbanas como industriales, implicando así la compactación de los estratos geológicos en la zona de estudio, que afectan al terreno.

El objetivo fue evaluar procesos de subsidencia en el Valle de Toluca, México, a partir de Técnicas de Interferometría Diferencial que permitan la estimación precisa de la velocidad de deformación del terreno.

Para ello se aplicó el método de Interferometría de Radar (InSAR) de mayor precisión conocido como " Persistent Scatterer" (PS). A diferencia de DinSAR, PS permite la selección de píxeles que presentan una mayor calidad en su amplitud y fase (*bright radar targets*) a partir de múltiples datos SAR. Se adquirieron así 30 imágenes ENVISAT-ASAR en modo Single Light Complex (SLC) para el periodo 2003-2010, con una resolución rango-acimut de 20.16 x 24.34, respectivamente.

Los resultados muestran velocidades de deformación superiores a los 50 mm/año con máximos hasta de 200mm/año. En términos espaciales los procesos de subsidencia máximos corresponden a la parte central de la cuenca, coincidiendo con el casco histórico de la Ciudad de Toluca, al igual que hacia el este de la cuenca en zonas de cultivo y humedales. Para la validación del trabajo se analizó la disminución del nivel superficial del acuífero a partir de datos piezométricos y su relación estratigráfica en campo. Con base en lo anterior, se encontró una relación directa entre las zonas afectadas por procesos de subsidencias de acuerdo con PS y los puntos registrados con mayor abatimiento del acuífero en relación con la profundidad del nivel estático, referido al terreno.

---

**Palabras clave:** subsidencias, interferometría, radar diferencial, México

**Abstract:**

The Toluca Valley Aquifer belongs to High Lerma River Basin in Mexico State, showed the second most over exploited aquifer of Mexico. At present, the resource extraction had caused negative impacts like subsidence processes whose induce fissures as many urban zones as industrial zones, thus involving a geological and soil compression in the design zone.

The objective was to evaluate subsidence processes in the Toluca Valley, since interferometric differential techniques who enable to precisely estimation of the land velocity deformation.

In fact it applied the radar interferometric method (InSAR) well-known like “ Persistent Scatterer” (PS), to major precision. On difference of DinSAR, PS allows pixels selection who shows major quality in his amplitude and phase (bright radar targets) beginning from manifolds SAR dates. Were obtained 30 ENVISAT-ASAR images thus in Single Light Complex (SLC) mode, for 2003-2010 period, with rank-acimut resolution of 20.16 x 24.34.

The results show deformation velocities upper 50 mm/year with great limits as many as to 200 mm/year. In spatial terms, the great subsidence processes correspond to the central basin zone, coinciding with historic center of Toluca city, like than east of basin in zones cultivation and swamps. For work validation it analyzed the superficial aquifer decrease level since piezometric dates and her stratigraphic relationship in field. Whatever, it found a direct relationship between affected zones of subsidence in agreement with PS and registered points with major aquifer low spirits in record with depth static level of ground.

**Keywords:** Subsidences, Interferometry, differential radar, Mexico

---

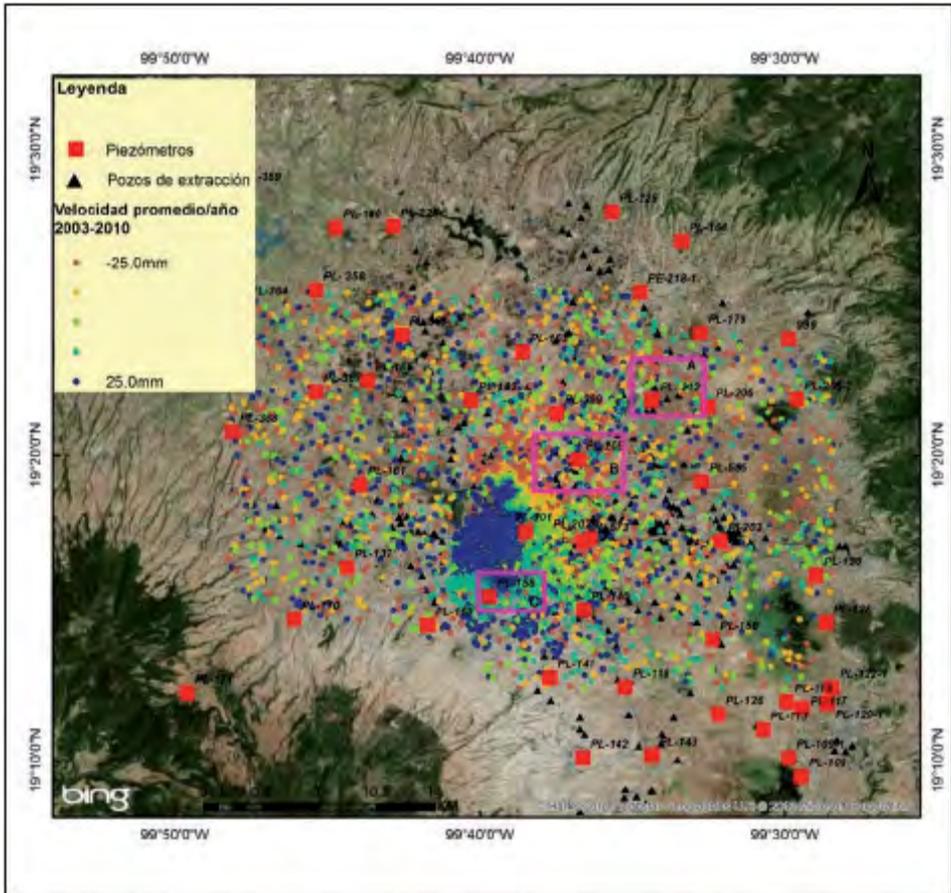
**Dávila-Hernández, Norma Angélica** (nadavilah@uaemex.mx); **Madrigal-Urbe, Delfino.** Facultad de Geografía de la UAEM. Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, CP 50110.

## INTRODUCCIÓN

El acuífero del Valle de Toluca (AVT) se localiza en la cuenca superior del Río Lerma en México Central (Figura 1) cubriendo una extensión de 2,117.82 Km<sup>2</sup>. Actualmente es considerado uno de los acuíferos más sobre-explotados del país, lo anterior se debe a la inexistente planeación histórica en la preservación de los recursos hídricos, aunado a una excesiva demanda de los mismos por parte de la población ubicada en la zona central de nuestro país. A partir de 1942 se comenzó la perforación de pozos en la zona de estudio con el objeto principal de proveer de agua a la Ciudad de México y en un segundo plano a la Ciudad de Toluca siendo esta última la ciudad más importante de la zona de estudio.

Actualmente se encuentran operando más de 300 pozos de extracción, los cuales proveen el 30% del agua potable consumida en el Valle de México, mientras que únicamente 2% del total de volumen extraído es destinado para su consumo en la Ciudad de Toluca y comunidades aledañas; por consiguiente, la sobre-explotación del AVT ha dado lugar a la compactación de los estratos geológicos (secuencia de depósitos volcanoclásticos dacíticos-andesíticos y lacustres principalmente), lo que propicia la formación de patrones de fracturas asociadas a subsidencias de tierra y en algunos casos hasta el desarrollo de procesos de colapsamiento del suelo. En términos ecológicos la sobre-explotación del acuífero ha provocado una extinción gradual de lagos y humedales ubicados al este de la cuenca, los cuales se encuentran en una de las zonas más importantes de recarga (Garfias *et al.*, 2008).

Figura 1. Mapa de subsidencias del terreno utilizando el método PS (Persistent Scatterer)



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes ENVISAT 2003-2010

La Percepción Remota guarda una estrecha relación en el estudio de cualquier fenómeno natural o social ocurrido en el espacio geográfico, ya que permite su evaluación y monitoreo a través del tiempo. Tal es el caso de la aplicación de técnicas de radar como la Interferometría Diferencial (DinSAR), llegando a ser una herramienta poderosa en la identificación de patrones espaciales en la superficie terrestre asociados a una variación vertical y horizontal con respecto a un determinado periodo de tiempo. De esta forma, *DinSAR* permite la estimación a escala centimétrica de cualquier desplazamiento vertical en dirección de radar a partir de la estimación de cambio de fase entre dos imágenes de radar tomadas en tiempos distintos. *Persistent Scatterer (PS)*, a diferencia de la técnica convencional *DinSAR* de pares individuales, permite utilizar en un mismo tiempo múltiples imágenes a

partir de la selección de píxeles que preservan la coherencia y fase a través del tiempo permitiendo una estimación milimétrica de la razón de cambio del fenómeno estudiado; siendo una técnica eficiente en el estudio de subsidencia en áreas urbanas principalmente (Herrera et al., 2009; Colesanti *et al.*, 2003; López *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2012; Calderhead *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio radica en la evaluación multi-temporal 2003-2010 de subsidencias de tierra en el ATV con énfasis en la Ciudad de Toluca y zonas semi-urbanas aplicando la técnica PS utilizando imágenes de radar de mediana resolución Evisat-ASAR. El presente estudio muestra los resultados preliminares de la investigación así como sus alcances y retos futuros.

## METODOLOGÍA

La Interferometría Diferencial convencional estima la diferencia de fase a partir de dos adquisiciones de datos radar de distintas fechas; sin embargo, factores asociados a líneas de base normales superiores a los 1000m, cambios físicos en el terreno al adquirir la escena en un tiempo determinado y heterogeneidad atmosférica, así como líneas de base multitemporales mayores, contribuyen a la decorrelación de la información entre pares interferométricos complejos para un adecuada resolución de la fase. De esta forma, Persistent Scatterer (PS) es un método derivado de DinSAR convencional donde a partir del análisis de amplitud de la imagen y la generación posterior de interferogramas, permite seleccionar píxeles candidatos cuya amplitud y fase haya sido conservada a través del tiempo. Particularmente, en la investigación se utilizó el método de dispersión normalizada de la amplitud (Ferreti et al., 2000):

$$Dan = \frac{\rho a}{\mu a}$$

Donde, *Dan* representa la dispersión de amplitud normalizada para cada pixel seleccionado, el cual es determinado por el radio entre la dispersión de la amplitud  $\rho a$  y la media de las amplitudes  $\mu a$  para un periodo de tiempo; de forma tal que, un valor alto en la dispersión de la amplitud se asocia a una pérdida de la fase interferométrica.

De esta forma se logra estimar la fase atmosférica de manera precisa tomando ventaja de la correlación de la información asociada a la vecindad de los

pixeles seleccionados (Sousa et al., 2010). Es importante señalar que este tipo de técnicas tiene una considerable utilidad para mediciones DinSAR en áreas urbanas, debido principalmente a la configuración de los edificios y la infraestructura urbana, la cual en términos de retrodispersión de la señal de radar (scattering) no presenta fluctuaciones.

En la presente área de estudio se han realizado estudios preliminares de subsidencias de tierra utilizando técnicas convencionales DinSAR (see Calderhead et al., 2010 and Calderhead et al., 2012) de acuerdo a lo antes descrito. En su lugar, la investigación propuso utilizar el método PS por ser una técnica que permite obtener una mayor exactitud (milímetros/año) en las mediciones de deformaciones verticales de la superficie LOS (Line of Sight); logrando así estimar velocidades de deformación del orden mm/año para un periodo de tiempo determinado. Para ello, se utilizaron 30 imágenes ENVISAR-ASAR para el periodo 2003-2010 en órbita descendente, (faltan otros datos).

Para la estimación de la interferometría diferencial multitemporal es necesario seleccionar una imagen de referencia, la cual debe corresponder con la línea de base multitemporal mayor con respecto al resto de las imágenes; así se seleccionó la imagen de radar con fecha 03/07/2013 con una línea de base temporal de 3650 días. De igual manera, en el procesamiento de pares interferométricos utilizados como base para la generación de interferogramas, se consideraron todas aquellas líneas de base normales cuyo límite mínimo y máximo oscilara entre 15% y 80%; además de considerar un límite en coherencia de 0.80. De esta forma, se obtuvieron un total de 66 combinaciones para la generación de interferogramas diferenciales, para los cuales se utilizó el modelo digital de elevación SRTM 3, con una resolución de 30 metros, con el objeto de remover la fase asociada a la topografía original del terreno.

Como forma de corroborar los resultados de las subsidencias se hizo una correlación directa con los datos aportados por los piezómetros de la Comisión Nacional del Agua para las mismas fechas y los mismos lugares en los que a su vez se realizaron mediciones con GPS y estaciones totales, mediante trabajo de campo durante el año 2012 y 2013. De la misma manera se midieron, fotografiaron y se registraron afectaciones sensibles en el terreno como los agrietamientos, la generación de zanjas y la presencia de daños en construcciones y propiedades, ubicándolos posteriormente en mapas e imágenes satelitales de tipo multispectral.

Con el fin de explicar resultados se obtuvieron datos de investigaciones anteriores (Madrigal *et al.* 2010; Díez 2010) sobre morfoestructuras tectónicas que circundan y atraviesan el Valle de Toluca, ubicándolas en las imágenes de radar, como forma de relación y de explicación de la concentración de los procesos de subsidencia, asociados a procesos de crecimiento urbano y de zonas industriales, así como a la demanda y la extracción de agua del subsuelo.

## RESULTADOS

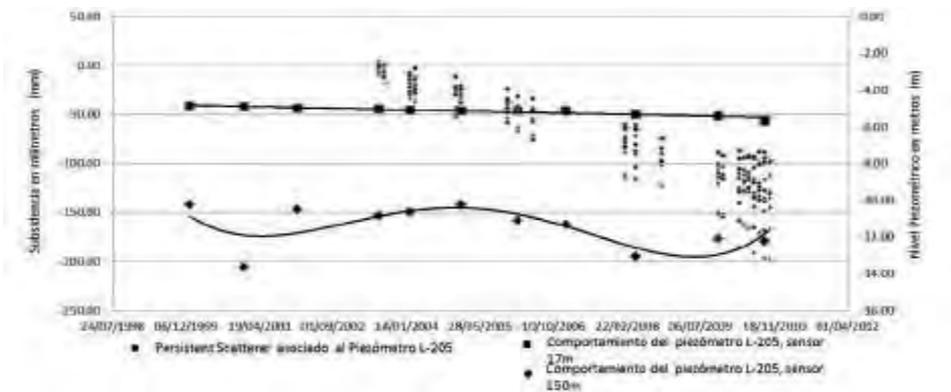
A partir de DinSAR convencional, PS permite estimar velocidades promedio del orden de mm/año. En el mapa de la Figura 1, se muestra las velocidades LOS promedio para el periodo 2003-2010, donde pixeles estables se observan hacia el casco histórico de la ciudad, lo cual se encuentra relacionado con una mayor densidad de infraestructura urbana y también con accidentes tectónicos locales y regionales. A partir de 3.5km (con respecto a los pixeles estables) en dirección norte, noreste se observan las mayores concentraciones de movimientos diferenciales con velocidades máximas de hasta 27 mm/año y velocidades promedio de 18mm/año. Finalmente a partir de 3.0km (con respecto a los pixeles estables) hacia el este se distribuyen los pixeles asociados a movimientos diferenciales medios con velocidades máximas de hasta 22 mm/año y velocidades promedio de 15mm/año (Figura 1).

Con la intención de ejemplificar los movimiento diferenciales en la zona de estudio a través del tiempo, se seleccionaron tres áreas representativas de cambios espaciales en términos de *LOS* de acuerdo al mapa generado. Dichos datos fueron comparados con datos piezométricos históricos los cuales muestran el nivel estocástico del agua y donde cada uno de ellos cuenta con al menos 4 sensores a distinta profundidad. Para este trabajo se seleccionaron profundidades superficiales menores a 30m y profundidades mayores a los 130 m, en los que los piezómetros fuera de los límites mencionados no fueron considerados. Los valores fueron obtenidos de los datos de la Comisión Nacional del Agua para el periodo 2000-2010.

En las figura 2, 3 y 4 se muestran tres gráficas de las áreas seleccionadas de acuerdo al mapa de la figura 1, cuya selección se definió en función de los límites de cambio *LOS* de acuerdo a su distribución y su cercanía con los piezómetros que cumplieran con las condiciones antes señaladas. Así, en concordancia con la Figura

2, los gráficos A y B que corresponden a la zona norte-noreste del mapa de la Figura 1, presentan las mayores deformaciones diferenciales del terreno de acuerdo a los valores de *LOS*, mientras que la gráfica C representa una zona estable (es decir, donde *LOS* presenta movimientos negativos).

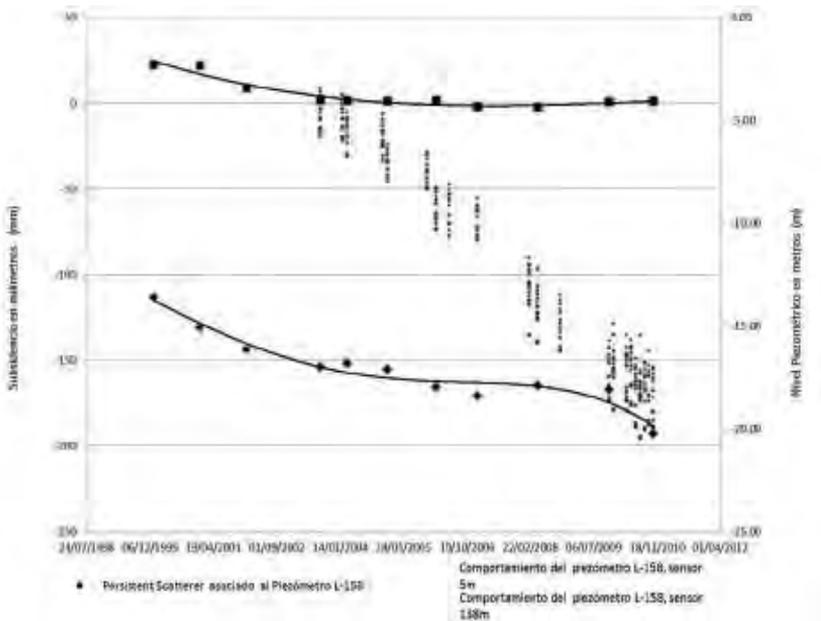
Figura 2. Gráfica de la zona A con respecto al mapa de la Figura 1.



Fuente: Elaboración propia con datos piezométricos de CONAGUA 1998-2012

Como puede observarse también en las gráficas de la figuras 2 y 3, tanto en A como en B el nivel piezométrico del agua en relación al sensor superficial presenta una razón de cambio no mayor a 5 metros, mientras que el sensor profundo muestra un cambio negativo para el periodo 2000-2010, lo cual se identifica con un abatimiento máximo de 40 metros de acuerdo al nivel de agua del acuífero. Esto a su vez guarda una relación directa en superficie de acuerdo a las velocidades *LOS* (puntualizadas en el párrafo anterior) de los pixeles seleccionados cercanos a los piezómetros L-205 y L-1158 respectivamente, presentando velocidades promedio de 26mm/año.

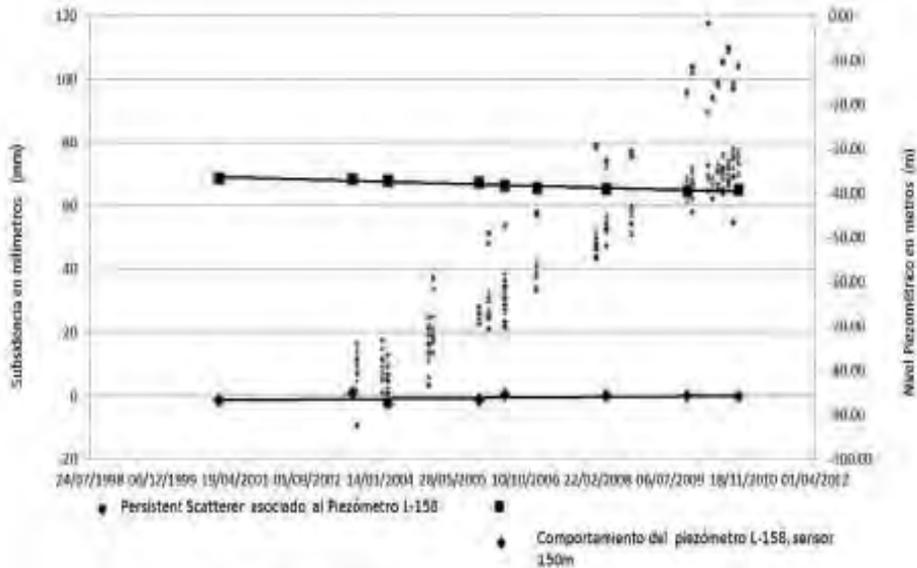
Figura 3. Gráfica de la zona B con respecto al mapa de la Figura 1.



Fuente: Elaboración propia con datos piezométricos de CONAGUA 1998-2012

Caso contrario sucede con el piezómetro L-212 (grafica C, Figura 4) el cual se ubica en una zona donde los valores *LOS* son estables, esto se demuestra observando como los pixeles seleccionados reportan valores positivos con respecto al tiempo, lo que se encuentra respaldado por el comportamiento de los sensores piezométricos tanto a nivel somero como a nivel superficial, el cual es prácticamente estable para los 10 años considerados.

Figura 4. Grafica de la zona C con respecto al mapa de la Figura 1.



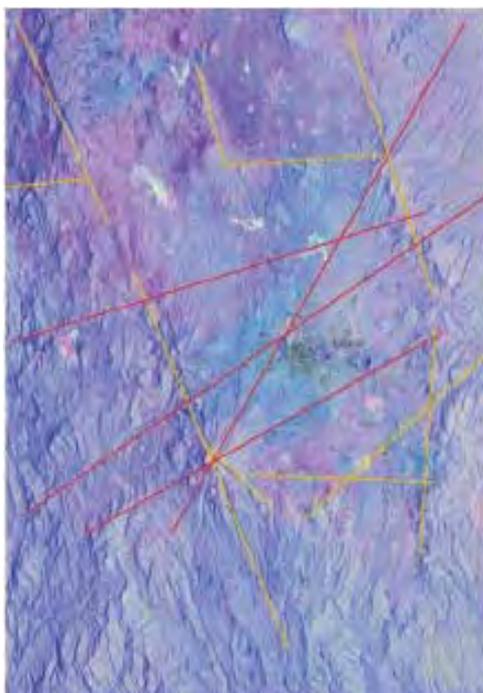
Fuente: Elaboración propia con datos piezométricos de CONAGUA 1998-2012

Los procesos de subsidencia en el Valle de Toluca responden a la conjunción de varios aspectos que son característicos de su geología, su morfología, su comportamiento hidrológico y geohidrológico y los patrones de asentamiento urbano e industrial que conforman la demanda y la extracción de agua subterránea. Aunque se maneja en las referencias bibliográficas antecedentes mucho de ese comportamiento, los resultados encontrados demuestran muchas asociaciones importantes que deben destacarse para explicar en gran medida la ubicación de las zonas críticas en los procesos de subsidencia.

Esto entraña el destacar y dimensionar procesos como el control tectónico del Valle de Toluca, su estratigrafía y los procesos paleogeomorfológicos que han influido en los procesos de sedimentación, comportamiento lacustre y posterior desecamiento de los cuerpos de agua, así como las modificaciones climáticas recientes, al igual que la dinámica y la evolución de las áreas industriales y los procesos de urbanización que han permitido la extracción extraordinaria del acuífero, más allá de los niveles pertinentes.

Por principio de cuentas debe destacarse que el Valle de Toluca, al igual que el Valle de México, es una gran depresión tectónica, flanqueada por múltiples alineamientos tectónicos SE-NW y E-W, correspondientes en el primer caso a la Sierra de las Cruces y Monte Alto al Este, al igual que la Sierra del Campanario (o de Monte Alto) y el Nevado de Toluca al Oeste, mientras que para el segundo se puede mencionar a la Sierra de Tenango al Sur y a las elevaciones de la Falla de Perales al norte, que ocluyen parcialmente a la salida hidrológica del Río Lerma (Figura 5).

Fig. 5. Distribución Tectónica del Valle de Toluca



Fuente: Madrigal et al., 2010

Esta gran depresión es cruzada a su vez por tres grandes fallas tectónicas con orientación SW-NE, correspondientes a sizallamientos regionales (De Cserna, 1987; Hernández; 2007; Miranda; 2006) que han sido ampliamente estudiados y que influyen tanto en el comportamiento geohidrológico (Díez, 2006) a niveles profundos, como a niveles superficiales a través del basculamiento tectónico de vasos lacustres (Martínez, 1996; Madrigal et al., 2010). Además de estos grandes alineamientos tectónicos, existen muchas fallas menores y fracturamientos en todas las direcciones que se asocian a procesos de formación de campos de conos monoge-

néticos al pie de las grandes sierras o como elevaciones o morros aislados dentro del valle, como los pequeños volcanes de las localidades de Tultepec, Ocoyacac, Atlapulco, San Miguel Almaya, Jalatlaco y San Nicolás Coatepec.

Toda esta actividad tectónica se asocia fuertemente con la actividad volcánica de la zona, que desde el periodo terciario hasta hace todavía 1200 años ha caracterizado toda la región, con todo tipo de manifestaciones volcánicas y con una gran diferenciación de materiales geológicos que se han acumulado en las laderas y el valle. Existen desde grandes estratovolcanes como el Nevado de Toluca donde dominan los materiales andesíticos y dacíticos, hasta campos de conos cineríticos, restos de avalanchas, pumitas y coladas recientes de lava basáltica.

Estos procesos, aunados a la incidencia de diferentes periodos glaciales, intercalados con periodos de resequedad, han generado sedimentos diversos que se han acumulado en la parte baja del valle de Toluca, reteniendo agua y humedad que dio origen a grandes lagos en forma basculada, separados entre sí por diques o depósitos fluvio-glaciales, coladas y diferencias altitudinales marcadas por los si-zallamientos tectónicos.

De esa manera se encontraba una laguna en la parte más alta, correspondiente al área que ocupa actualmente la Laguna de Chignahuapan y la Laguna de Almoloya del Río, la cual se vertía a través de un arroyo que cruzaba un dique natural dispuesto a la altura del casco de la Hacienda de Atenco (Santiago Tianguistenco) hacia la laguna siguiente.

La laguna intermedia ocupaba una mayor superficie que comprendía desde Tianguistenco y San Antonio la Isla hasta la localidades de Lerma, Mexicalcingo, Tultepec, Calpulhuac y San Mateo Atenco. Entre San Mateo Atenco y Lerma se volvía a formar un estrechamiento que estaba definido por antiguos sedimentos fluvio-glaciales del Nevado y una gran colada de Lava en la porción E.

El sistema hidro-lacustre terminaba con la formación de otra laguna más baja, que comenzaba en el estrechamiento mencionado y terminaba en las inmediaciones de Xonacatlán y Temoaya, al norte del valle. También existían otros cuerpos de agua separados de los grandes lagos, que correspondían a pequeñas cuencas divididas por la sierra de la Teresona y sus edificios asociados como los pequeños cerros de Coatepec, el Calvario y Metepec, dando lugar a pequeños vasos lacustres

alimentados por los diferentes ramales del Río Verdiguél, que cruza en diferentes puntos a la ciudad de Toluca.

Todos estos cuerpos de agua fueron desecados, reducidos de tamaño o modificados por obras de infraestructura y el crecimiento de la mancha urbana e industrial, además de someter el acuífero a una demanda cada vez mayor de agua en su extracción, lo que ha generado zonas de subsidencia o hundimiento del terreno, tanto en zonas urbanas como en áreas rurales con actividades agropecuarias.

Particularmente el casco histórico de la Ciudad fue sometido hace 35 años a un proceso de extracción local de agua a base de 30 pozos que surtían del líquido a más de doce colonias alrededor del centro político de Toluca. No se había estudiado entonces que el manto freático local se encontraba sumamente superficial, confinado topográficamente y sujeto a un control estructural, dado por elevaciones volcánicas subterráneas, producto igualmente de morfoestructuras tectónicas locales.

El resultado de estas extracciones fue la de subsidencias sistemáticas que se manifestaron principalmente en la colonia Morelos, la colonia electricistas, plazas San Buenaventura y la colonia Granjas, a través de fracturamientos de las edificaciones, rupturas de tuberías y drenajes y agrietamiento de vialidades. Por la misma razón fueron clausurados los pozos locales y la red de agua potable se conectó a la distribución del Sistema Cutzamala, obra de gran impacto federal para abastecer de agua a la ciudad de México.

Los pozos de la zona industrial Toluca-Lerma siguieron funcionando al igual que los pozos de la periferia de la ciudad, independientemente de los aportes adicionales del Sistema Cutzamala, de modo que el abatimiento freático adquirió un ritmo acelerado que se manifiesta en los datos presentados de este estudio y en las tres zonas seleccionadas para los interferogramas.

En las verificaciones de campo de las tres zonas se observan desniveles topográficos de hasta 2 metros de profundidad, grietas de entre 20 cms y 1.7 metros, cambios en la red de drenaje superficial y subsuperficial, abatimiento de pozos artesianos, agrietamiento de viviendas y bardas y aumento de los niveles de contaminación del agua y del suelo por desechos industriales y domésticos, por efecto del confinamiento de las aguas residuales. En las zonas rurales, además de

estos efectos se ha perdido el 40% de la humedad efectiva del suelo, debido a la extracción y el abatimiento.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Contrariamente a los resultados de investigaciones anteriores en donde los niveles piezométricos no tenían una relación directamente proporcional con los datos aportados por el análisis de pares interferométricos, los resultados obtenidos a través del método de Persistent Scatterer sí demuestran una relación directamente proporcional con los datos piezométricos, la existencia de morfoestructuras tectónicas y los procesos de urbanización e industrialización, lo que proporciona una mayor eficacia en su aplicación a los procesos de subsidencia por sobreexplotación del acuífero.

Aunque muchos de los valores obtenidos son negativos y podrían desacreditar esta correspondencia, la diferencia en la velocidad de las subsidencias con relación al espectro de detección del sensor del radar simplemente establecen una correspondencia directa con los niveles piezométricos de las zonas de estudio, en particular en el casco histórico de la ciudad de Toluca, donde las velocidades del abatimiento del acuífero exceden con mucho la capacidad del sensor, pero delatan igualmente el proceso de hundimiento, independientemente de los valores negativos, que se interpretarían al revés.

El estudio constituye una primera aproximación al proceso, que se complementará con el registro sistemático y la cartografía de los efectos visibles de la subsidencia y la medición milimétrica de campo con estaciones robóticas totales de precisión topográfica, al igual que con mediciones magnetométricas y geofísicas, cuya implementación se encuentra ya en desarrollo a través de una nueva etapa de la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calderhead, A; Martel, A; Alasset, P.J; Rivera, A; Garfias, J. "Land subsidence induced by groundwater pumping, monitored by D-InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico". *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. 1, p. 9-23. 2011.

- Calderhead, A; Therrien, R; Rivera, A; Martel; Garfias, J. "Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico". *Advances in Water Resources*, v. 34, n. 1, p. 83-97. 2010.
- Colesanti, C; Ferretti, A; Novali, F; Prati, C; Rocca, F. (2003). "SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the Permanent Scatterers Technique". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41(7):1685-1701.
- Díez, Pérez A. (2009). *Alternativas de administración racional de recursos hídricos en un acuífero sometido a sobreexplotación: Valle de Toluca, Estado de México. Tesis de Doctorado en Ciencias del Agua. Facultad de Ingeniería de la UAEMEX, Toluca, Méx.*
- Díez, Pérez A. (2009). *Alternativas de administración racional de recursos hídricos en un acuífero sometido a sobreexplotación: Valle de Toluca, Estado de México. Tesis de Doctorado en Ciencias del Agua. Facultad de Ingeniería de la UAEMEX, Toluca, Méx.*
- Hernández, Quezada, E.R. (2007). *Procesos Geomorfológicos en las vertientes del Municipio de Lerma, Méx.. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía de la UAEMEX, Toluca, Méx.*
- Madrigal, U.D., R. Franco P., L.M. Espinosa R., M.A. González T. y A. Reyes R. (2010). "Caracterización de las Regiones Tectónicas del Estado de México a través de la aplicación de Geotecnologías". En *Revista Geográfica de América Central*. Vol. 1, Número 44 Especial 2010 (XII CONFIBSIG). Universidad Nacional de Costarrica, Costarrica. Pp. 15-36.
- Martínez, Calderón, Y.I. (1993). *La Evolución de la Superficie de las Lagunas de Lerma y sus Principales Repercusiones Físicas, Biológicas y Humanas. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía de la UAEMEX, Toluca, Méx.*

- Miranda, Mendoza, M.R. (2006). Geomorfología de la Carta Jiquipilco 1:50 000 del INEGI. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía de la UAEMEX, Toluca, Méx.
- Werner, C; Wegmüller. U; Strozzi, T; Wiesmann, A. “Interferometric point target analysis for deformation mapping”. In: Geosciences and remote sensing symposium, Toulouse, France, 21–25 Jul 2003, pp 1–3 (CDROM).
- Sousa, J; Ruiz, A; Hanssen, R; Bastos, L; Gil, A; Galindo-Zaldívar, J; Galdeano, C. (2010). PS-InSAR processing methodologies in the detection of field surface deformation—Study of the Granada basin (Central Betic Cordilleras, southern Spain)
- Ferretti, A; Prati, C; Rocca, F. (2000). Analysis of Permanent Scatters in SAR Interferometry. Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings. IGARSS, 761-763.
- (Raucoles *et al.*, 2003; Croseto *et al.*, 2005; Akcin *et al.*, 2010; Honh Hong *et al.*, 2010 ; Osmanoglu *et al.*, 2011; Cigna *et al.*, 2011 ; Rodríguez *et al.*, 2012;
- Chen, F; Lin, H; Zhang, Y; Lu, Z. 2012. Ground subsidence geo-hazards induced by rapid urbanization: implications from InSAR observation and geological analysis; Natural Hazards and Earth System Sciences; 12, 935-932.
- Herrera, G; Fernandez, R; Tomás, R, Cooksley, G; Mulas, J. 2009. Advanced interpretation of subsidence in Murcia (SE Spain) using A-DInSAR data-modelling validation; Natural Hazards and Earth System Sciences, 647-661.
- López-Quiroz, P; Marie-Pierre, D; Tupin F; Briole, P; Jean-Marie, N. 2009. Time series analysis of Mexico City subsidence constrained by radar interferometry; Journal of Applied Geophysics; 69; 1–15.
- Gárfias, J; Bibiano, L; Llanos, H. (2008). Uso racional y sostenible de los recursos hídricos del acuífero del valle de Toluca; Ciencia Ergo Sum, vol. 15, núm. 1, marzo-junio, pp. 61-72, Universidad Autónoma del Estado de México.

# *Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal*

Oswaldo Padilla, Pablo Pérez, Mario Cruz,  
Sylvia Huilcamaigua, Susana Astudillo

## **Resumen:**

En la actualidad, las acciones humanas ocasionan notables modificaciones en el paisaje que producen alteraciones en los sistemas naturales y productivos, así como también en los procesos ecológicos. Una de estas alteraciones se puede evidenciar claramente en la Amazonía ecuatoriana, donde la intensa dinámica de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal debido a las tendencias de colonización humana que se inició con las actividades petroleras, ha provocado la desaparición de una gran extensión del bosque primario con la consecuente pérdida de miles de especies de plantas y animales.

Para determinar el comportamiento de estos fenómenos ocurridos en diferentes espacios de tiempo, en este Proyecto de Grado se utilizó una técnica conocida como Autómatas Celulares para realizar el modelamiento espacial de la cobertura vegetal y uso del suelo en el sector comprendido entre La Compañía Agrícola Payamino y la Población Callanayacu ubicado en la Provincia de Orellana, que cubre un área de 6.038,22 hectáreas.

Para ello, en primer lugar, aplicando la técnica de Interpretación Digital se obtuvo la geoinformación necesaria para el análisis de los períodos comprendidos entre 1965 y 2001. Posteriormente sobre esta base se generó dos escenarios prospectivos a los años 2011 y 2020, que indican que para el año 2011 el 91,39% del bosque primario ha desaparecido y para el año 2020 se indica que desaparecerá el 95,49 %, quedando únicamente el 4,51% de la totalidad del área de bosques primarios, con tendencia a desaparecer por completo de continuar con las mismas condiciones actuales.

---

**Palabras clave:** Autómatas Celulares/Amazonía/ uso del suelo/cobertura vegetal/ Modelo matemático/Sistema dinámico/Pasos discretos.

## Abstract

Currently, human activities cause significant modifications in the landscape producing changes in the natural and the productive systems, as well as ecological processes. One of these changes can be evidenced clearly in the Ecuadorian Amazon, where the intense dynamics of the “Land Use Cover” due to human settlement that began tendency with the fuel oil industry has caused disappearance of the majority of primary forest with consequent loss of thousands of species of plants and animals.

In this Project, we used a methodology to evaluate the effect of these phenomena occurred at different periods of time and through the technique of Cellular Automata we elaborated the spatial modeling of the Land Use Cover in the area between “Compañía Agrícola Payamino and Población Callanayacu” located in Orellana Province, with an extension of 6038.22 hectares.

By the technique of the Interpretación Digital, we analyzed the “Land Use Change Cover” between 1965 and 2001 periods. On this basis, we generated two prospective scenarios for the years 2011 and 2020, indicating that by 2011 the 91.39% of the primary forest has disappeared and by 2020 it will represent only 4.51% of the total area, with a tendency to disappear completely if the current conditions continue.

**KEYWORDS:** Cellular Automata/ Amazon Jungle/Land Use Cover/Mathematic Model/Dynamic System/ discrete steps.

---

**Oswaldo Padilla** (ovpadi@gmail.com); **Pablo Pérez** (pperezs@espe.edu.ec); **Mario Cruz** (mcruz@espe.edu.ec); **Sylvia Huilcamaigua** (ksylvi\_22@hotmail.com); **Susana Astudillo** (taty\_a123@hotmail.com). Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.

## 1. INTRODUCCIÓN

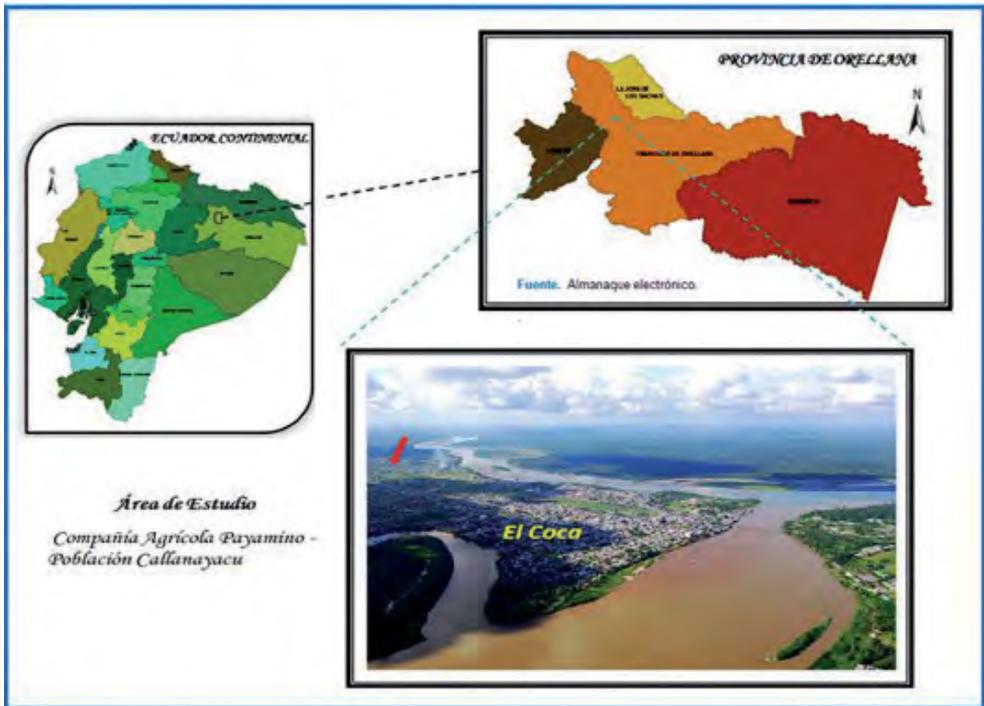
Con el inicio de la actividad petrolera, la Región Amazónica del país cobró interés no solamente desde el punto de vista del recurso mineral, sino por el potencial agrícola de sus tierras. Con la apertura de vías de acceso a las plataformas petroleras y la construcción del Oleoducto Transecuatoriano, se inició una lenta colonización, no planificada, que luego se desarrolló a lo largo de las orillas de los ríos principales, para finalmente, en la actualidad, abarcar una gran extensión del bosque nativo. Como resultado de esta actividad y la rápida expansión de la frontera agrícola, el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo han sido los procesos que más afectación ecológica han causado en esta zona.

Esta intensa dinámica de cambios que se han dado en la cobertura vegetal y uso del suelo, ayudó a encaminar la investigación hacia el diseño de un modelo que facilite entender cómo ocurren estas alteraciones, de tal manera que permita plantear soluciones y la toma de decisiones orientadas a la preservación y conservación de los recursos naturales que todavía subsisten, para ello se consideró la técnica de Automatas Celulares como una nueva alternativa para estudios prospectivos, a fin de representar los fenómenos con mayor aproximación a la realidad a través de la creación de escenarios tendenciales.

## 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio seleccionada para el análisis de este proyecto se encuentra a ocho kilómetros al Noroccidente de la ciudad de Francisco de Orellana (Coca), parroquia Puerto Francisco de Orellana, en un sector delimitado por la Compañía Agrícola Payamino, al Sur, y la población de Callanayacu, al Norte, cubriendo una extensión de 6038,22 ha.

Figura 1. Ubicación geográfica



Fuente: Elaboración propia.

### 3. MARCO TEÓRICO

El modelamiento espacial es un conjunto de operaciones analíticas y comandos interactivos, que buscan identificar la magnitud y distribución espacial de los cambios, proyectar y representar cartográficamente su probabilidad de ocurrencia en un futuro cercano, suponiendo que las técnicas de manejo de las variables ambientales continuarán siendo similares o tendrán un ritmo de comportamiento semejante al pasado cercano.

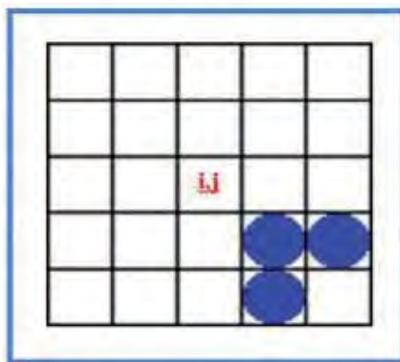
Una de las técnicas de modelamiento espacial, es la de Autómatas Celulares, que se originó en el año de 1940 gracias al investigador John Von Neumann, quien estaba interesado en buscar una teoría general de autómatas para el procesamiento de información que fuera aplicable tanto a sistemas biológicos como a aparatos tecnológicos.

Por lo tanto, el estudio de un Autómata Celular, representa un modelo matemático de un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos:

- *Modelo matemático*, porque permite expresar los fenómenos de la vida real en forma matemática, es decir hacer aproximaciones de la realidad física y predicciones para generar escenarios futuros.
- *Sistema dinámico*, porque es un sistema complejo que presenta cambio o evolución de su estado en un tiempo.
- *Pasos discretos*, se dice discreto si el tiempo se mide en pequeños lapsos, entonces denota los pasos discretos del tiempo, es decir que el AC se caracteriza por sus propiedades discretas en el espacio, tiempo y valores de estado.

Como se muestra en la figura 2, el espacio de un AC es un arreglo uniforme de celdas, células o tésales, donde cada una de ellas puede contener algunos bits de información, ocupa la posición  $(i,j)$  en el espacio y el tiempo transcurre en pasos discretos, teniendo en cuenta que sus leyes son uniformes y locales.

Figura 2. Espacio de un AC



Fuente:Elaboración propia.

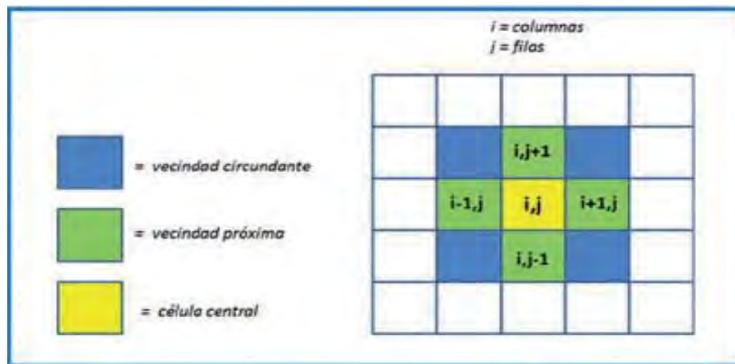
### Características de un Autómata Celular

- *Geometría del arreglo de celdas*: Puede tener  $N$  dimensiones, los espacios con más de tres dimensiones se construyen fácilmente pero son de difícil interpretación, el AC puede tener bordes cerrados donde tienen valor "0" y bordes perió-

dicos donde los vecinos del borde superior de una celda son el borde inferior de su celda adyacente y los del borde izquierdo son las celdas del borde derecho.

- *Vecindad*: es un conjunto finito de células en las cercanías de la célula central, cada celda es encargada de actualizar su estado recopilando información de ella misma y de un grupo de celdas a su alrededor y la celda central es sobre la cual se realiza los cálculos.

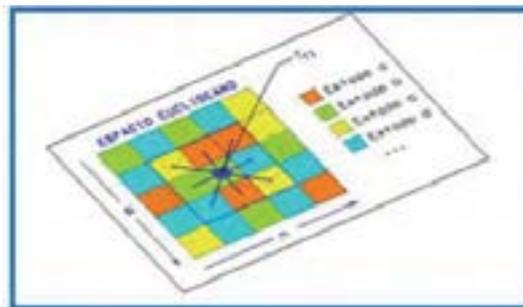
Figura 3. Vecindad de un AC



Fuente: Elaboración propia.

- *Número de estados por celda*: Se puede utilizar cualquier número arbitrario finito de estados y es así como el AC más simple que construyó Von Neumann se autoreplicaba utilizando 29 estados.

Figura 4: Estados de un AC



Fuente: Fuente: Autómatas Celulares, Oswaldo Padilla, pp.2. Septiembre 2005.

- *Reglas que determinan el estado de la celda:* Se basan en la configuración del vecindario, por ejemplo si “k” es el número de estados posibles y “n” el número de celdas en el vecindario, entonces habrán  $k^n$  posibles reglas de transición del AC, de esta manera el estado de un AC en un tiempo  $t+1$  ( $E_{p+1}T_{ij}$ ) está en función de su propio estado ( $E_p T_{ij}$ ) en el tiempo  $t$  y de los estados de todos los elementos ubicados en su vecindad pudiendo representarse de la siguiente manera:

$$E_{p+1}T_{ij} = f(E_pT_{ij}, E_pT_{i+1,j-1}, E_pT_{i+1,j}, E_pT_{i+1,j+1},$$

$$E_pT_{i,j-1}, E_pT_{i,j+1}, E_pT_{i-1,j-1}, E_pT_{i-1,j}, E_pT_{i-1,j+1})$$

Donde:

$T_{ij}$  = representa el AC o téxel de la posición  $ij$  en el espacio

$E_p$  = representa el conjunto  $[a, b, c, d, \dots, n]$  de estados que puede tomar el AC en el tiempo.

$E_{p+1}T_{ij}$  = representa el estado particular de un AC en función del estado de sus vecinos y de las reglas de transición planteadas.

#### 4. METODOLOGÍA

Un requerimiento para el desarrollo del modelamiento espacial es obtener información cartográfica temática previa de por lo menos dos épocas anteriores diferentes de la que se desea modelar. Para ello se elaboró mapas de cobertura vegetal y uso del suelo para los períodos comprendidos entre 1965 y 2001 usando la técnica de interpretación digital de fotografías aéreas.

Sobre esta base, el modelamiento con Autómatas Celulares consistió en generar dos escenarios prospectivos para los años 2011 y 2020, el primero con el fin de comprobar en campo los resultados del modelo y el segundo con el fin de mostrar la tendencia de desaparición del bosque nativo en favor de la expansión de la frontera agrícola de continuar con las condiciones actuales de uso y sobreexplotación de la tierra.

Se investigó un software adecuado para construir este modelo de simulación de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal resolviendo usar DINAMICA EGO, en el cual sus siglas EGO hacen referencia al concepto “Environment for Geoprocessing Objects (Entorno para Objetos de Geo-procesamiento).

DINÁMICA, como un sistema Automata Celular, representa el paisaje como un arreglo regular de celdas n-dimensional que interactúan dentro de cierta vecindad y en donde el estado de cada celda en el arreglo depende de los estados previos de las celdas dentro del vecindario, según una serie de reglas de transición. Todas las celdas se actualizan simultáneamente en pasos de tiempo discretos (Soares - Filho et al. 2002).

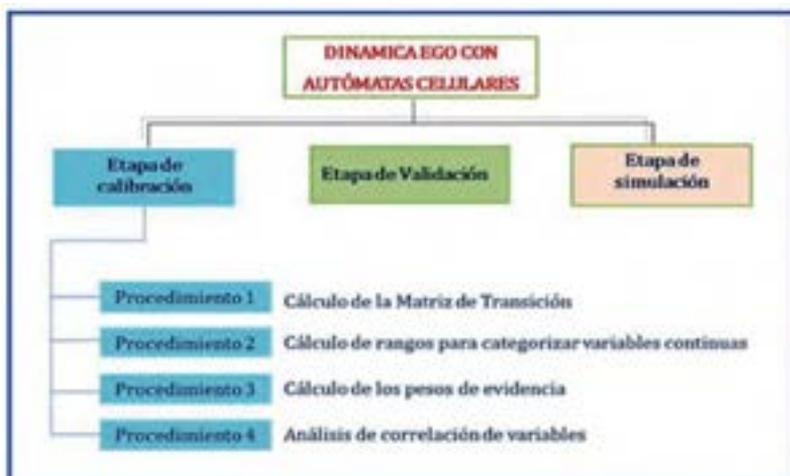
El algoritmo usado para hacer que las celdas interactúen localmente es conocido como regla local del AC, el cual emplea funciones de transición especialmente diseñadas para reproducir las dimensiones y formas del cambio de uso del suelo y cobertura (Almeida et al. 2003) y en este software, estas funciones se denominan: Patcher y Expander.

El modelo de simulación se ejecutó en 3 etapas, generando modelos independientes en cada una de ellas.

### Etapa 1: Calibración

En base a criterios socio-ambientales se ingresó 10 variables consideradas como influyentes en el cambio de cobertura vegetal y uso del suelo y fueron clasificadas de la siguiente manera: 4 variables categóricas que poseen datos discretos o cualitativos y 6 variables no categóricas que poseen datos continuos o cuantitativos.

Figura 5- Etapas de ejecución 1 del Software DINÁMICA EGO



Fuente: Elaboración propia.

## Etapa 2: Validación

En el procedimiento 6, se ingresó los valores de los parámetros del Patcher: Tamaño medio del Parche, Tamaño de la varianza e Isometría del Parche, mientras que en el procedimiento 7, además de éstos se ingresó los valores de los porcentajes de cambio para cada una de las coberturas.

El usuario tiene la libertad de modificar cuantas veces sea necesario (pero un solo parámetro a la vez) el valor de los parámetros del Patcher, hasta que se logre conseguir un modelo con un alto grado de semejanza con el mapa de Interpretación digital del 2001.

Figura 6. Etapas de ejecución 2 del Software DINÁMICA EGO



Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realizó el análisis de la cobertura vegetal y uso del suelo del año 1965 no se presentaron cambios en estos fenómenos por lo tanto todas las células presentaron un solo estado. Figura 7.

Figura 7. Estado del Autómata Celular para el período 1965



Fuente: Elaboración propia.

A partir del año 1989 aparecieron probabilidades de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio debido a la presencia de vías, plataformas y estaciones petroleras que trajo como consecuencia la colonización no planificada y la deforestación del bosque nativo.

Por lo tanto todas las células sufrieron un cambio en función de sus probabilidades y de un color tomate que presentaban en el año 1965 adquirieron un color distinto para los posteriores años. Figura 8.

- El Patcher es una función de transición diseñada para formar nuevos parches en los mapas a través de la búsqueda y selección inicial de una celda denominada semilla o núcleo para el nuevo parche que crece mediante agregación de celdas vecinas similares en función de sus probabilidades  $P_{ij}$  de cambio para luego ejecutar un cambio a la misma clase. Realiza transiciones de un estado  $i$  para un estado  $j$  cuando las vecindades contiguas de celdas tienen un lugar diferente de  $j$ . Opera a partir del sorteo de un número aleatorio entre 0 y 255. Si el número sorteado fuese menor que la probabilidad de transición de la celda (también en un intervalo 0-255), la celda transiciona para el estado  $j$ , y viceversa. (CIGA, Capítulo III: "Modelización Proyectiva De Cobertura Y Uso Del Suelo", 66).
- El Expander es una función de transición diseñada para la expansión o reducción de parches ya existentes de una clase en particular. Realiza transiciones de un estado  $i$  para un estado  $j$  cuando las vecindades contiguas de celdas tienen estado  $j$ , por lo tanto, una nueva " $P_{ij}$ " probabilidad de cambio depende de la cantidad de celdas del tipo  $j$  alrededor de una celda tipo  $i$ .

Figura 8. Estado del Autómata Celular para el período 1989



Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 3: Etapa de Simulación

Una vez determinados los parámetros del Patcher y Expander y obtenido un confiable modelo de simulación para el período 2001, estos mismos parámetros fueron utilizados para realizar los modelos proyectivos para los años 2011 y 2020.

Figura 9. Etapas de ejecución 3 del Software DINÁMICA EGO



Fuente: Elaboración propia.

## 5. RESULTADOS

Se hizo una comparación entre las dos técnicas (Interpretación Digital Vs. Modelo Autómata Celular para el período 2001) y para ello se empleó la matriz de errores (Tabla 1), con el fin de calcular el porcentaje de error existente entre cada cobertura.

$$error (\%) = \left( \frac{(AC - ID)}{ID} \right) * 100$$

Donde:

AC= Valor del método Autómata Celular

ID= Valor de la interpretación digital

Tabla nº 1: Matriz de errores de las coberturas del año 2001 (Modelo Automata Celular)

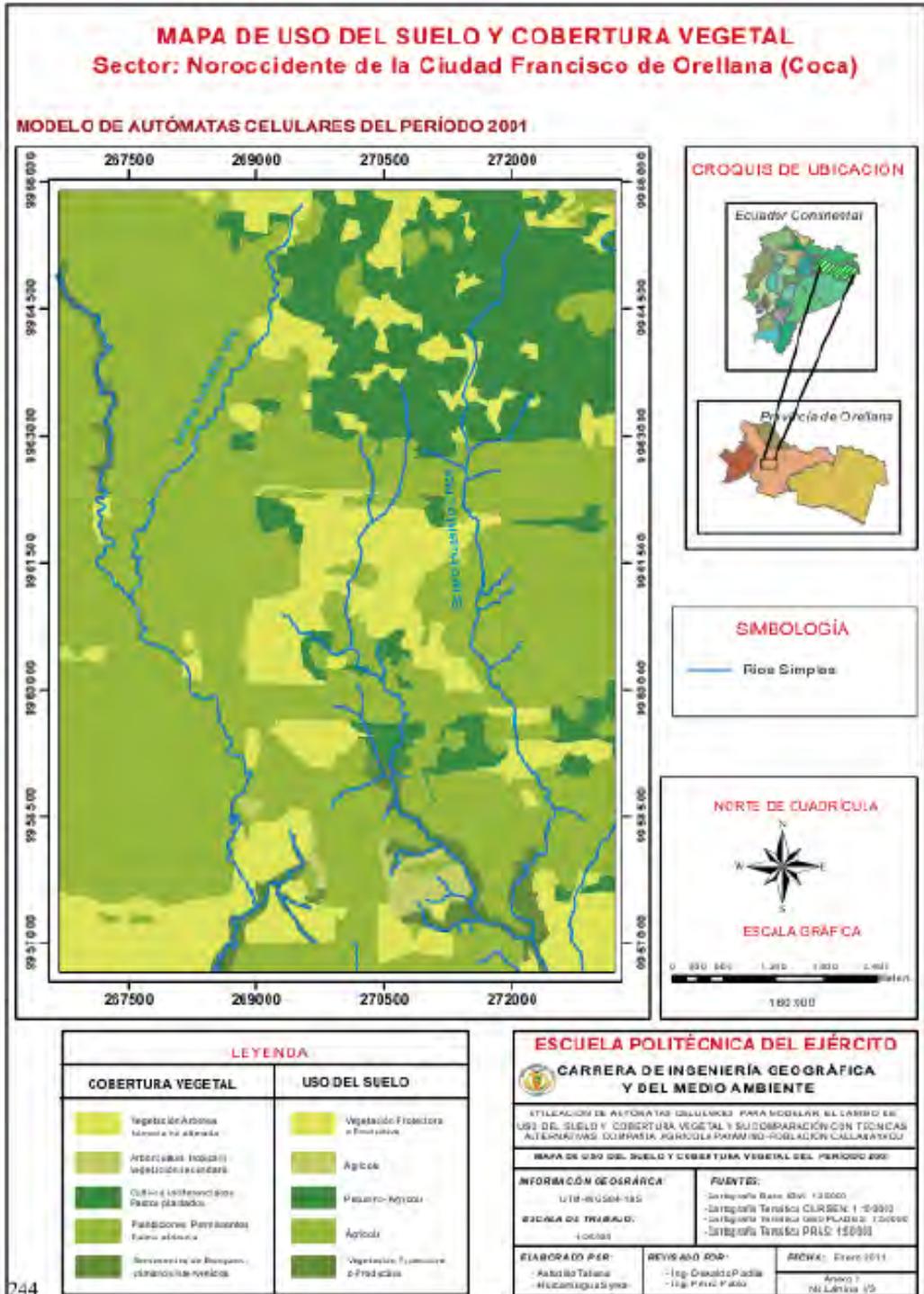
	<i>Coberturas del año 2001</i>				
<i>Coberturas del Año 2001 (Modelo Automata Celular)</i>	<i>Vegetación Arbórea húmeda no alterada</i>	<i>Cultivos indiferenciados - pastos plantados</i>	<i>Palma africana</i>	<i>Remanentes de Bosques primarios y secundarios intervenidos</i>	<i>Arboricultura tropical y vegetación secundaria</i>
<i>Vegetación Arbórea húmeda no alterada</i>	4,16	-----	-----	-----	-----
<i>Cultivos indiferenciados - pastos plantados</i>	-----	0,43	-----	-----	-----
<i>Palma africana</i>	-----	-----	1,54	-----	-----
<i>Remanentes de Bosques primarios intervenidos</i>	-----	-----	-----	2,79	-----
<i>Arboricultura tropical y vegetación secundaria</i>	-----	-----	-----	-----	9,29

Fuente: Elaboración propia.

Realizando un promedio de los errores en la matriz: se obtuvo que el modelo Automata Celular a través del uso de DINAMCA EGO, tiene un ajuste del 96,36% de confianza, por lo tanto, la técnica Automata Celular en comparación con la técnica de Interpretación Digital generó un error del 3,64%.

Figura 10. Mapa 1: Modelo de Autómatas Celulares del período 2001

Fuente: Elaboración propia



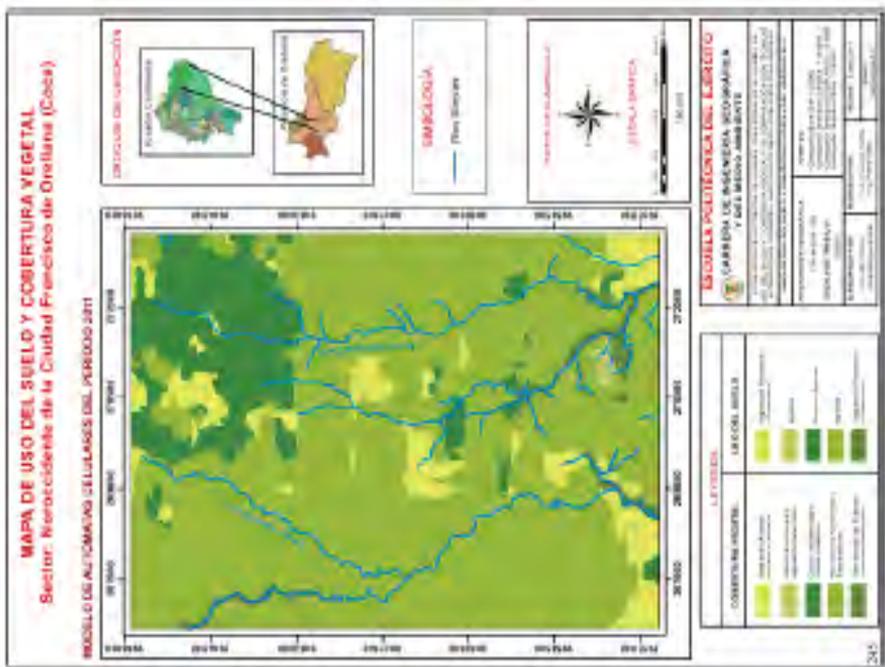


Figura 11. Mapa 2: Modelo de Automatas Celulares del periodo 2011  
Fuente: Elaboración propia

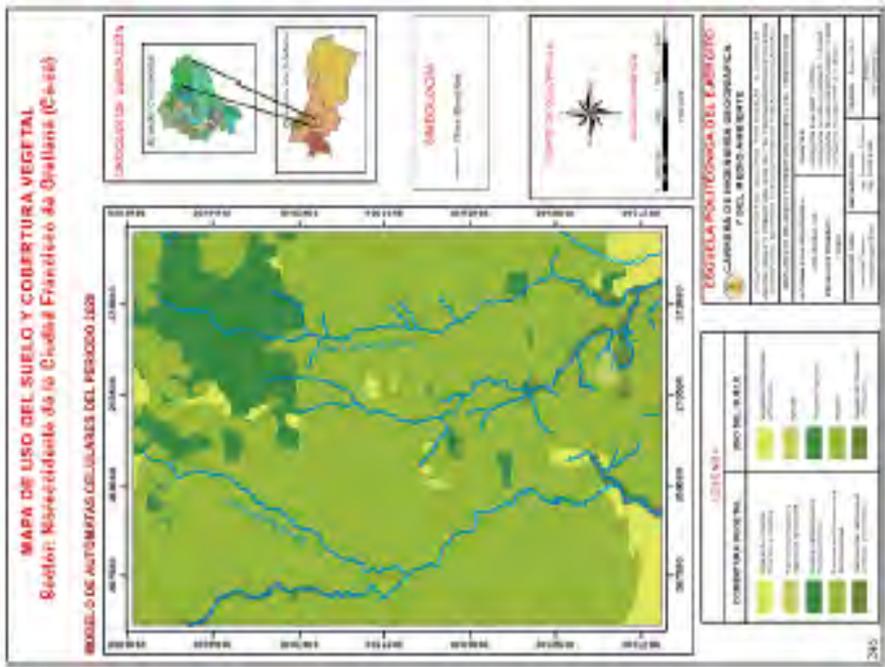


Figura 12. Mapa 3: Modelo de Automatas Celulares del periodo 2020  
Fuente: Elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

- Para el período 1965 se determinó que el área de estudio estuvo constituida en su totalidad por la categoría denominada Vegetación Arbórea Húmeda no alterada, período en el que la intervención antrópica era nula, mientras que para 1989 y 2001 esta categoría llegó a constituir el 49,98% y 19,40% respectivamente, masa forestal que en éstos años fue desapareciendo aceleradamente, debido al aumento demográfico en la región amazónica.
- Debido a la variedad de software aplicables a modelos espaciales, se consideró a DINAMICA EGO como el aplicativo computacional más adecuado para desarrollar el Modelo de Autómatas Celulares, pues a más de ser un software libre en la web, está especializado en modelar el cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo, permitiendo la construcción de diferentes escenarios tendenciales.
- El ajuste del Modelo de Autómatas Celulares para Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del período 2001 se determinó en 96,36% de acuerdo a la matriz de errores, y se concluyó que esta técnica es confiable en la medida en que se establezcan los parámetros para las reglas locales del AC: *patcher* y *expander*, utilizadas por DINAMICA EGO.
- El Modelo de Autómatas Celulares indicó que en el período 2011, la categoría denominada Vegetación Arbórea Húmeda no alterada constituye el 8,61% del área total, porcentaje comprobado en campo, al observar que el bosque nativo ha sido sustituido por plantaciones permanentes de palma africana, palmito y teca, cultivos de maíz y malanga y por frutos tropicales como naranjilla, guabas, frutipan y limón mandarina; de continuar con las mismas condiciones actuales, el modelo indicó que para el período 2020 el bosque representará únicamente el 4,51% de la totalidad del área con tendencia a desaparecer por completo.
- En base a criterios socio-ambientales se precisó 4 variables categóricas: Geología, Isotermas, Isoyetas y Uso del suelo, y 6 variables no categóricas: Modelo digital del terreno, Pendientes, Distancia a ríos, Distancia a vías, Distancia a centros poblados y Distancia a plataformas; consideradas como parámetros más influyentes en la alteración del ecosistema natural en el área de estudio.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Almeida Padilla, O. (2005): "Autómatas Celulares una Alternativa para la Geosimulación", en Universidad de Alcalá Henares, España, 10 p.

### Publicaciones Internet:

- Almeida, C. M; Batty, M; Vieira, A; Câmara, G; SoaresFilho, B. S; Cerqueira, G. C. y Lopes P. (2003): Stochastic Cellular Automata Modeling of Urban Land Use Dynamics: Empirical Development and Estimation. Computers, Environment and Urban Systems, p. 481-509.
- Britaldo S. SoaresFilho, Hermann O. Rodrigues, William L. (2009): Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG), Costa, p. 59-90.
- Cuevas, G. (2008): Aplicación de un modelo espacial para la elaboración de escenarios uso/cobertura del suelo en la Huacana, Michoacán, México, p. 17-51.
- Itzhak, B; Torrens. (2004): Geosimulation Automata-based Modeling of Urban Phenomena. Inglaterra.
- Soares, Filho, B. S; Alencar, A; Nepstad, D; Cerqueira, G; Vera-Diaz, M., Rivero, S. L. & Voll, E. (2004): Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. Global Change Biology 10, p. 745-764.

# *Mapeo de ambientes en el Parque Nacional Los Glaciares, Provincia de Santa Cruz – Argentina (Glaciar Upsala y Perito Moreno), mediante datos ópticos y radar e integración en un SIG*

Alfredo Rafael Cuello, Miriam Esther Antes, Mirta Aída Raed, Alicia Avelina Sedeño, Luciano Enrique Delise, Jorge Marcelo Gari y Leonardo Alfredo Di Franco

## **Resumen:**

El Parque Nacional los Glaciares se encuentra ubicado en la región conocida como Andes Australes del territorio argentino, al sudoeste de la provincia de Santa Cruz, en el límite con Chile, el mismo fue declarado “Patrimonio Mundial” por la UNESCO en el año 1981. Gran parte de este Parque estuvo cubierto por glaciares y los ríos de hielo dieron forma al paisaje con montañas de laderas abruptas y amplios valles. Actualmente, los hielos ocupan una superficie total aproximada de 2.600 km<sup>2</sup>, con 47 glaciares mayores. El área de estudio corresponde al Glaciar Perito Moreno, ubicado sobre el Brazo Sur del Lago Argentino, al Glaciar Upsala, ubicado sobre el Brazo Norte del mismo lago y a las áreas aledañas a los mismos. El uso de geotecnologías basado en la utilización de información satelitaria representa una alternativa de importancia práctica como herramienta de monitoreo y evaluación de recursos naturales. El objetivo de este estudio fue realizar un mapeo temático de los recursos naturales presentes en el área, para identificar y caracterizar los tipos de ambientes y las unidades fisonómicas forestales nativas, generando una cartografía temática de las unidades identificadas. Para generar dicha cartografía se utilizó información correspondiente a imágenes radar (RADARSAT-2, polarimétricas), en combinación con imágenes ópticas Landsat 5 TM; se utilizaron técnicas de procesamiento digital, clasificaciones multiespectrales y análisis polarimétricos, integrando los datos de radar y ópticos, aprovechando el aporte que ofrecen ambas tecnologías. La cartografía temática generada será integrada en un SIG territorial.

**Palabras claves:** SAR / cartografía / bosques / geotecnologías / SIG

**Abstract:**

Los Glaciares Argentina National Park is located in Andes Patagonicos and it belongs to Santa Cruz province and it limits with Chile country. It was declared Natural Patrimony of Mankind by the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) in 1981. An important part of this Park is covered by glaciers and the ice rivers give form to the landscape with abrupt hillsides mountains and wide valleys. Nowadays, the ice occupies approximately an area of 2.600 km<sup>2</sup>, with 47 major glaciers. The study area of this work is the Glacier Perito Moreno located over Brazo Sur that belongs to the Lago Argentino and the Glaciar Upsala located over Brazo Norte of the same lake. Besides, the environment surrenders of both glaciers are taken into account to carry out a complete study of this important area. Satellite data has proved to be very important for monitoring and evaluating natural resources. The objective of this paper is to carry out a thematic map of the natural resources of this area. In this way the different environment can be identified, characterized and the physiognomic natural forest unities described so a thematic cartography of the different identified unities are obtained. Polarimetric RADARSAT-2 and optical Landsat 5 TM images were used to generate this cartography. Digital processing, supervised classification, polarimetric analysis techniques are applied to integrate radar and optical data, taking into account both technologies at the same time. All the thematic cartography will be added to a GIS.

**Keywords:** SAR / cartography / forestry / geotechnologies / GIS

---

**Alfredo Rafael Cuello** (alfredo.cuello@gmail.com), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Miriam Esther Antes** (selperargentina@gmail.com), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Mirta Aída Raed** (m\_raed\_ar@yahoo.com.ar), CSR-FAA y PRODITEL-UNLu; **Alicia Avelina Sedeño** (aamsed@yahoo.com), CSR-FAA; **Luciano Enrique Delise** (ciano.delise@gmail.com), CSR-FAA; **Jorge Marcelo Gari** (j\_gari\_ar@yahoo.it), CSR-FAA y UTN; **Leonardo Alfredo Di Franco** (difranco\_leo@yahoo.com.ar), PRODITEL-UNLu y UNGS.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener información sobre recursos naturales de carácter forestal y de ambientes asociados, es fundamental para establecer políticas de acción que optimicen las funciones y actividades relativas a la conservación y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como a su control y fomento, logrando de esta manera un manejo sostenible de los mismos.

La teledetección espacial se ha mostrado como una herramienta de importancia práctica para la evaluación y el monitoreo de los recursos forestales, acrecentada por el desarrollo tecnológico de los últimos años que ha posibilitado una amplia disponibilidad de información de distintos tipos de sensores, procesos y algoritmos que permiten obtener una gran variedad de productos utilizados en proyectos de gran complejidad.

Este trabajo está orientado a la utilización de imágenes ópticas y de radar para obtener información temática de cubiertas naturales; en el caso de las aplicaciones forestales el uso de ambos datos, ópticos y de radar resulta necesario ya que permite superar limitaciones que cada uno de los tipos de datos tienen por separado; aunque existen métodos de obtención de índices y clasificación de vegetación mediante datos ópticos, estos no pueden ser utilizados en regiones cubiertas frecuentemente por nubes como lo es la región andino-patagónica. La señal radar retrodispersada por una superficie vegetal depende de dos tipos de factores: (i) factores geométricos relativos a la estructura del suelo y de la cubierta vegetal y, (ii) factores dieléctricos principalmente controlados por la humedad del suelo y del dosel (Dobson, 1995). En términos generales, las superficies más secas producirán una señal más baja. La influencia de las propiedades estructurales sobre la señal devuelta al sensor por una cubierta vegetal es mucho más compleja puesto que se ve afectada por la frecuencia, la polarización y el ángulo incidente de la señal enviada por el sensor. Los parámetros estructurales de mayor importancia son la arquitectura del dosel (tamaño, forma y orientación de elementos retrodispersantes: hojas, ramas y troncos) y la rugosidad del suelo. Por otro lado la topografía constituye otro factor que causa dificultades para identificar los distintos estratos altitudinales de vegetación y que debe ser considerada en el momento del análisis de los resultados. En este sentido, este trabajo demuestra la complementariedad de ambos tipos de datos en estudios de cubiertas forestales.

La generación de cartografía de uso del suelo a partir del tratamiento digital de las imágenes de satélite es una de las aplicaciones de la teledetección más prolífica, siendo en muchas ocasiones la fase culminante del tratamiento digital de las imágenes (Chuvieco, 2002).

En este contexto, se plantea como objetivo general del presente trabajo generar una cartografía temática de las unidades de vegetación existentes en el área de estudio que puedan ser identificadas y categorizadas mediante el análisis digital y reconocimiento a campo de los diferentes tipos forestales: (*Nothofagus pumilio*, *lenga*; *Nothofagus Antarctica*, *ñire* y *Nothofagus betuloides*, *guindo*); la vegetación de estepa (arbustos pequeños, espinosos y pastizales) y una zona de transición (especies típicas del bosque y de la estepa patagónica). Asimismo es de interés el mapeo de otras cubiertas presentes en el área tales como suelo desnudo (roca), hielo de glaciar (zona de ablación y acumulación) y nieve, con el objetivo de evaluar los mecanismos de interacción de estas cubiertas con la señal del radar polarimétrico, utilizando metodologías de procesamiento y análisis de imágenes. El desarrollo del mismo permitirá generar información para estudios científicos y técnicos, así como para la planificación e implementación de estrategias de gestión sustentable del Parque Nacional, coherentes con sus características ambientales.

## MATERIALES

### Área de estudio

El área de estudio, Parque Nacional los Glaciares, Provincia de Santa Cruz, Argentina se localiza entre los 49°43' y 50°53' de latitud Sur y los 71°52' y 73°43' de longitud O (Figura 1).

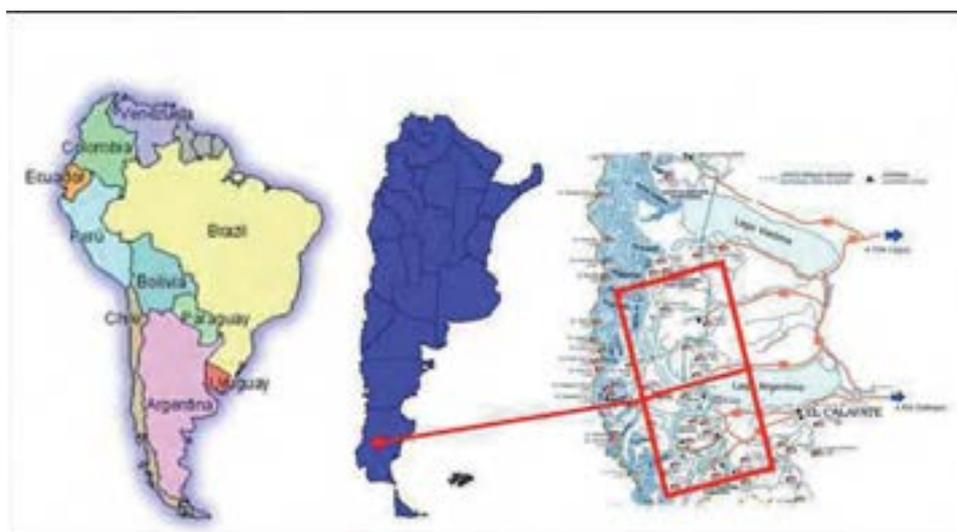
En ella se pueden distinguir fisiográficamente tres fajas que corren en forma paralela al eje de la cordillera de sur a norte: 1- Cordillera Principal o región andina, 2- Región Pre-andina, 3- Región Sub-andina.

La primera corresponde a una extensa masa montañosa con alturas superiores a los 2500 m, su mayor ancho se estima entre 50 y 60 km. En la parte central está cubierta por campos de hielos denominado Hielo Continental Patagónico, de los cuales descienden lenguas glaciarias a dos grandes lagos, el Lago Argentino y el Lago Viedma, entre ellas podemos identificar 13 grandes glaciares.

La segunda región está conformada por un gran valle que desciende desde el cerro Norte hasta la estancia Cristina, el brazo Norte, el brazo Spegazzini, el Canal de los Témpanos y el brazo Sur (todos ellos brazos del Lago Argentino). Las cadenas montañosas bajan desde alturas superiores de los 2000 m y se encuentran desprovistas de hielo. La tercera región sub-andina se compone de mesetas que se levantan abruptamente sobre el nivel del Lago Argentino y van disminuyendo hacia el este confundiendo gradualmente con la altiplanicie patagónica (Feruglio, 1944).

En esta etapa del proyecto se seleccionaron como áreas pilotos: el Glaciar Perito Moreno, el Glaciar Upsala y zonas aledañas a ambos glaciares.

Figura 1. Localización del área de estudio



## Imágenes ópticas y de radar

### *Imagen óptica*

La imagen óptica seleccionada fue la del Landsat 5 TM, Path/Row 231/095, de fecha 20 de febrero de 2011, con ancho de barrido de 185 km y resolución espacial de 30 m, del banco de datos del Centro de Sensores Remotos, provista por CONAE (Figura 2), la misma fue escogida considerando características de baja nubosidad, buena calidad radiométrica.

Figura 2. Imagen Landsat 5 TM FCC (R/Irm/lrc – A/V/R)



Fuente CONAE

### *Imágenes radar*

Las imágenes empleadas en el presente estudio corresponden al sensor SAR a bordo del satélite RADARSAT-2. Se contó con dos imágenes RADARSAT-2, SAR, ID 36726 e ID 36757, ambas del 27 de abril de 2009, adquiridas bajo el programa Science and Applications Research (SOAR) de la Agencia Espacial Canadiense. El satélite RADARSAT-2 fue lanzado en diciembre de 2007 y está gestionado por la empresa MacDonald-Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) y el gobierno de Canadá.

El tipo de imagen empleada en este trabajo es el denominado Fine Quad-Polarization con cuatro canales de polarización (HH, VV, HV, VH), ancho de barrido nominal 25 km y una resolución espacial de 10 m.

El SAR interferométrico y polarimétrico (PolInSAR) utiliza la información de la energía retrodispersada, que dependiendo de las características de la superficie incidente, la misma tiene un ángulo preferente de polarización. Utilizando filtros de polarización tanto en la emisión como en la recepción de la señal, es posible estudiar la misma, en cuatro configuraciones angulares para cada punto de la superficie: HH, VV, HV y VH.

El PolInSAR emplea una información muy rica, pues para cada punto de la superficie dispone no sólo del módulo de la retrodispersión, sino también de su fase y de sus características angulares. Con esta información es posible procesar los datos basándose en modelos físicos que predicen la retrodispersión en función de una serie de parámetros de la superficie que pueden ser medidos en el terreno.

### *Software*

- ENVI 4.7
- NEST 4.C (ESA)
- POLSARPRO V4.2.0 (ESA)
- ARC-VIEW 3.2

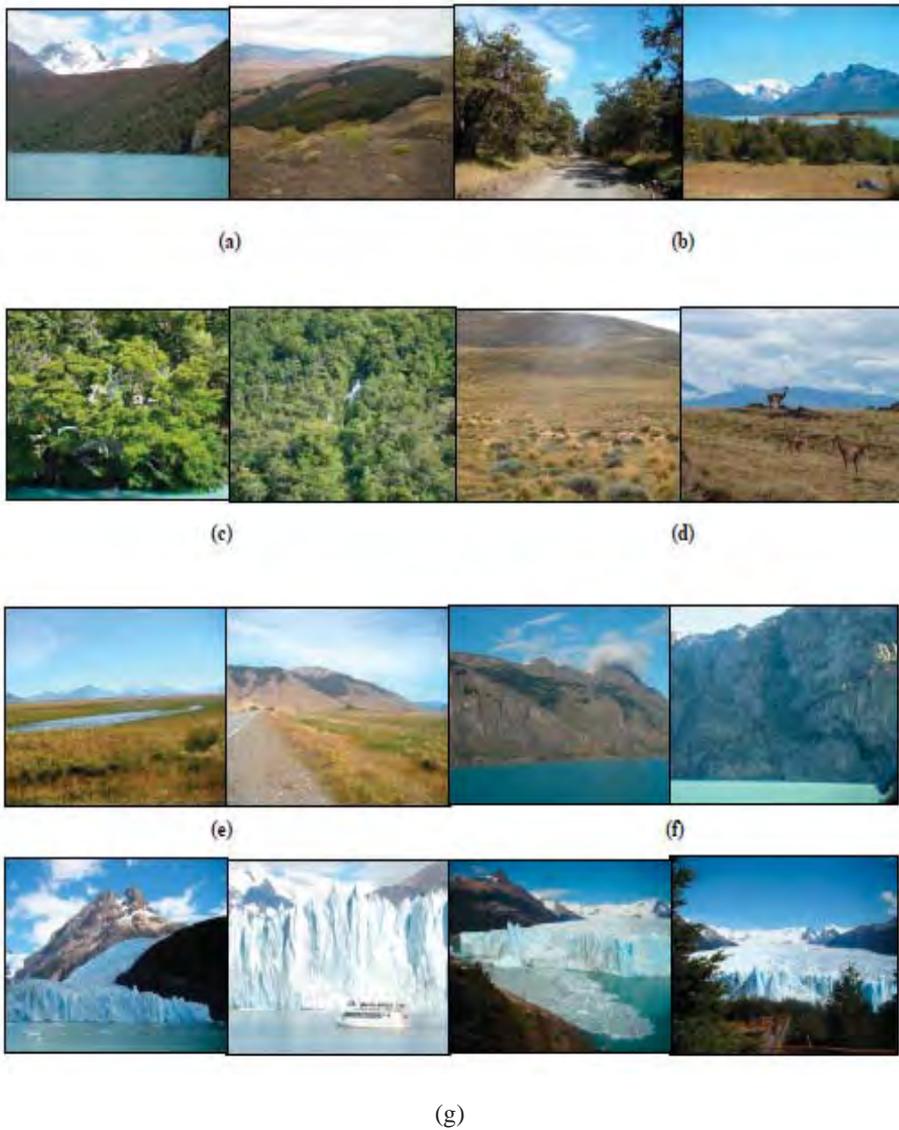
## **METODOLOGÍA**

Para caracterizar el área de estudio, se realizó una revisión de los trabajos existentes relacionados con la utilización de datos ópticos y de radar en ambientes de bosques y glaciares, su cartografía e interpretaciones. A partir de esos datos y del análisis de imágenes satelitales provenientes de diferentes sensores, ópticos y radar, se estructuró una nueva serie de mapas temáticos correspondientes a las comunidades de vegetación y de ambientes presentes.

Se evaluaron a través del análisis visual, sitios característicos de los diferentes ambientes presentes en el área de estudio utilizando como apoyo para este trabajo productos mejorados a través de procesos digitales simplificados (Ensanche de contraste y Realce de bordes), aplicados a la imagen Landsat 5 TM empleada.

Se realizó un relevamiento de campo con el objetivo de identificar y validar cada una de las clases temáticas que fueron establecidas en la interpretación visual preliminar y considerando antecedentes de trabajos realizados en el área de estudio. El control de campo consistió en recorrer el terreno localizando, con GPS, muestras de los distintos tipos de cobertura vegetal boscosa (Bosque de lenga, Bosque de ñire y Bosque asociado), vegetación de estepa, mallines y otras cubiertas asociadas como hielo de glaciar, nieve, roca, etc. (Figura 3). Estos sitios de entrenamiento sirvieron como base para definir patrones espectrales a ser utilizados en la clasificación digital supervisada de la imagen Landsat y para el análisis de los mecanismos de interacción en los datos radar.

Figura 3. Fotos de relevamiento a campo. (a) Bosque de lenga, (b) Bosque de ñire, (c) Bosque asociado, (d) Vegetación de estepa, (e) Mallines, (f) Roca y (g) Hielo de glaciar y Nieve



Fuente: Elaboración propia

La clasificación digital es un proceso que consiste en la agrupación automática de los píxeles de una imagen, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen (reflectancia), en distintas categorías (leyen-

da), ya sean predefinidas por el usuario (clasificación supervisada) o por el sistema de clasificación utilizado (clasificación no supervisada); de este proceso resulta un archivo raster temático de una sola banda, con diferentes categorías, cuyos valores representan categorías temáticas conocidas o por definir (Chuvienco, 2002).

La imagen Landsat fue ajustada geoméricamente mediante el método imagen-imagen, utilizando como referencia una escena Landsat 7 ETM +, ortogeoreferenciada, WRS-2, path/row 231/95, del 14 de octubre de 2001, el sistema de referencia corresponde a la proyección UTM, zona 18 sur, con Datum WGS84 (Fuente USGS/ GLCF).

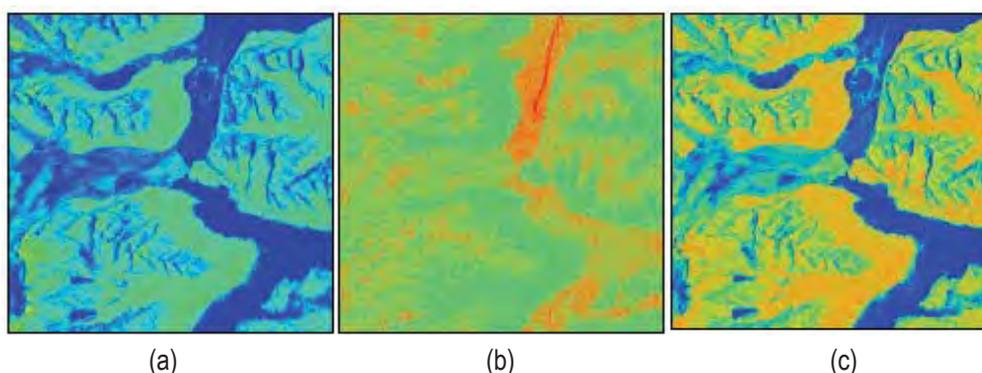
Se realizó una clasificación digital multiespectral supervisada, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve. Se verificó la buena separabilidad de clases y se redistribuyeron las mismas. Para la evaluación del comportamiento y separabilidad espectral de las distintas clases se aplicó el análisis de divergencia transformada. El algoritmo utilizado en la clasificación fue el de Máxima Verosimilitud.

Las imágenes RADARSAT-2, se calibraron radiométricamente, por la variación del ángulo de incidencia. El ángulo local de incidencia del haz, aumenta gradualmente entre los puntos situados en el rango cercano y el lejano. Asumiendo el caso más sencillo de una superficie plana, esto produce una atenuación en la respuesta para los puntos situados en el rango lejano, para compensar este efecto es que las imágenes radar deben ser calibradas. Asimismo, se les aplicó el filtro Frost con ventana de 3x3 para disminuir el ruido speckle.

Se realizó el análisis polarimétrico, la descomposición de Pauli y de Sinclair en las imágenes RADARSAT-2. El análisis polarimétrico es relevante solamente si una parte de la onda retro-dispersada es predominante. La evaluación de las matrices de retrodispersión y coherencia permite cuantificar las dos partes de la onda (polarizada y no polarizada) (Chan, 1981). La descomposición de los blancos permite la definición de los parámetros polarimétricos tales como el análisis de la Entropía, Anisotropía y Alpha; estos parámetros reúnen la información polarimétrica y la descomponen en términos de los mecanismos de retrodispersión que se producen en las cubiertas, lo que está directamente relacionado con su naturaleza (Cloude and Pottier 1996). La Entropía (H) representa el grado de

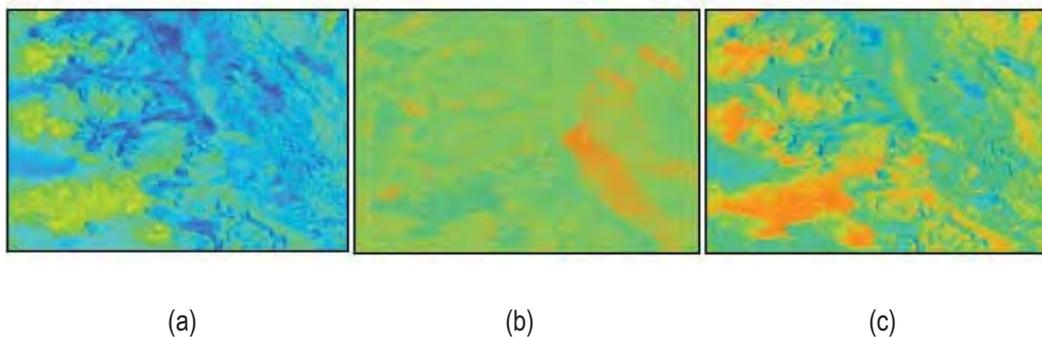
aleatoriedad o desorden estadístico de la dispersión. Varía entre 0 (reflexiones de primer orden) y 1 (mezcla aleatoria de mecanismos de reflexión). El ángulo Alpha proporciona un valor relativo al mecanismo de retrodispersión dominante, oscila entre  $0^\circ$  (dispersión superficial) y  $90^\circ$  (reflexión de esquina), con valores intermedios  $45^\circ$  ilustrando la dispersión de volumen. Por último, la Anisotropía (A) cuantifica la proporción entre los dos mecanismos de dispersión no dominantes. Su valor varía entre 0 y 1 y da idea de la homogeneidad de la cubierta; valores bajos corresponden a cubiertas homogéneas y viceversa (Figuras 4, 5, 6 y 7).

Figura 4. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



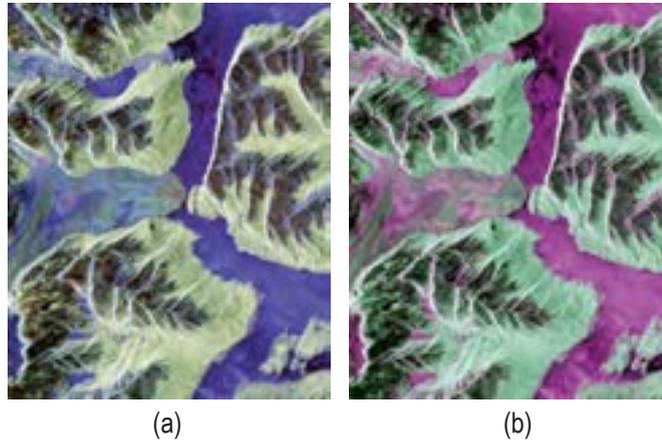
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Parámetros polarimétricos en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala. (a) Alpha, (b) Anisotropía y (c) Entropía



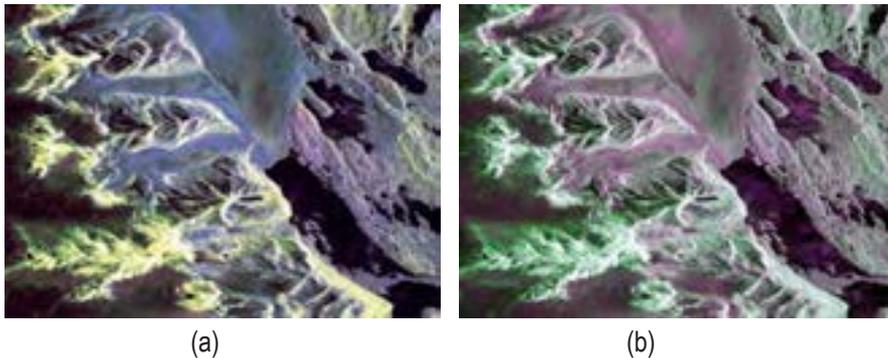
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Perito Moreno



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Descomposición de Pauli (a) y Descomposición de Sinclair (b) en la imagen RADARSAT-2, correspondiente al área del glaciar Upsala



Fuente: Elaboración propia

El teorema Pauli, utiliza las matrices de Spin Pauli para expresar  $[S]$  en términos de dispersión única (superficie plana, esfera, o triedro) y mecanismos diédricos con una orientación de  $0^\circ$  y  $45^\circ$ , estos algoritmos permiten descomponer las observaciones en parámetros que ofrecen una interpretación física de la interacción ocurrida (por ejemplo dispersión superficial, dispersión de volumen o doble rebote) (Freeman and Durden 1992; Lee et al., 1999; Ouarzeddine et al., 2007). Las descomposiciones se pueden utilizar para interpretar la naturaleza de las cubiertas e incluso realizar clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Alberga, 2007; Rodríguez et al., 2003).

## RESULTADOS

A partir del análisis de la cartografía vigente, la interpretación visual y de la clasificación digital multiespectral de la imagen Landsat (Figura 8 y Tabla 1) se generó un mapa temático con las categorías objeto de estudio, en este caso el resultado es el mapa de unidades de vegetación y ambientes, considerando las clases temáticas: bosque de lenga, bosque de ñire, bosque asociado, vegetación de estepa, mallines, roca, hielo glaciario y nieve.

### Clases temáticas identificadas:

**Bosque de lenga:** corresponde a la especie lenga (*Nothofagus pumilio*) como especie predominante en dos tipos, arbóreo y achaparrado. Según donde crezca la lenga y en función de su distribución altitudinal puede medir desde 35 m de altura y diámetros en la base de hasta 2 m, conformando árboles de gran porte, transformándose en la altura de las laderas, en forma de arbusto de pocos metros de altura.

**Bosque de ñire:** corresponde a la especie ñire (*Nothofagus antartica*), es una especie bastante rústica, de la familia de las fagáceas, se encuentran bosques puros, con árboles de hasta 15 m de altura, en la zona de transición entre el bosque y la estepa y también asociado con la lenga en los faldeos. También puede presentarse en forma arbustiva.

**Bosque asociado:** corresponde a un bosque mixto, que crece en sitios con condiciones más favorables, como faldeos con mayor insolación y cercanos a orillas de lagos, está conformado principalmente por otra especie de la familia de las fagáceas, el guindo, (*Nothofagus betuloides*), con individuos de gran porte, perennifolio, alcanzando los 20 a 30 m de altura y asociado a la lenga, notro, (*Embothrium coccineum*), canelo, (*Drimys winteri*) y sauco (*Sambucus spp.*).

**Vegetación de estepa:** la clase vegetación de estepa se compone de especies de herbáceas perennes como los coirones y pastizales que forman matas bajas y compactas, con presencia de subarbustos bajos formando matas circulares, como el neneo (*Mulinun spinosum*), la mata mora (*Senecio filaginoides*), la mata negra (*Junellia tridens*) etc.

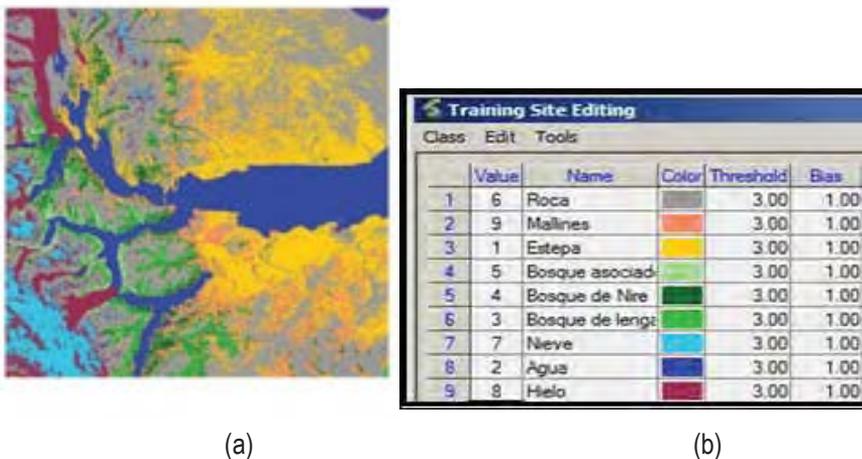
Mallines: son praderas húmedas que se encuentran en la estepa, generalmente asociadas con los cursos de ríos o arroyos o con los fondos de los valles. En ellos, la alta disponibilidad de agua, debida a la redistribución local, determina una fisonomía enteramente diferente. La cubierta vegetal frecuentemente supera el 100% y las especies dominantes son los pastos mesofíticos (*Poa pratensis*, *Deschampsia flexuosa*, etc.), juncos (*Juncus balticus*) y ciperáceas (*Carex spp.*).

Roca: corresponde a áreas de roca pelada o suelo expuesto, se distinguen varios sectores rocosos, en la parte alta de las montañas, luego de los bosques de lenga achaparrada y en sectores bajos como la Península Herminita o alrededores de la Estancia Cristina donde se denotan los efectos de la erosión glaciaria.

Nieve: áreas cubiertas de nieve ubicadas en la zona de acumulación de los glaciares.

Hielo de glaciar: áreas de hielo y lenguas glaciarias ubicadas en el campo de Hielo Patagónico Sur, allí podemos encontrar 48 grandes glaciares que desaguan desde la cordillera de los Andes hacia el Pacífico y el Atlántico. Están unidos en la zona de acumulación por un campo de hielo denominado Hielo Patagónico Sur, con una altitud promedio de 1600 m y un área de 13000 km<sup>2</sup>. Esta clase identifica el hielo de los glaciares en la zona de ablación, incluyendo las morenas.

Figura 8. Imagen Landsat 5 TM clasificada (a) y sitios de entrenamiento (b)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Resultado de la clasificación. Superficie por clase temática

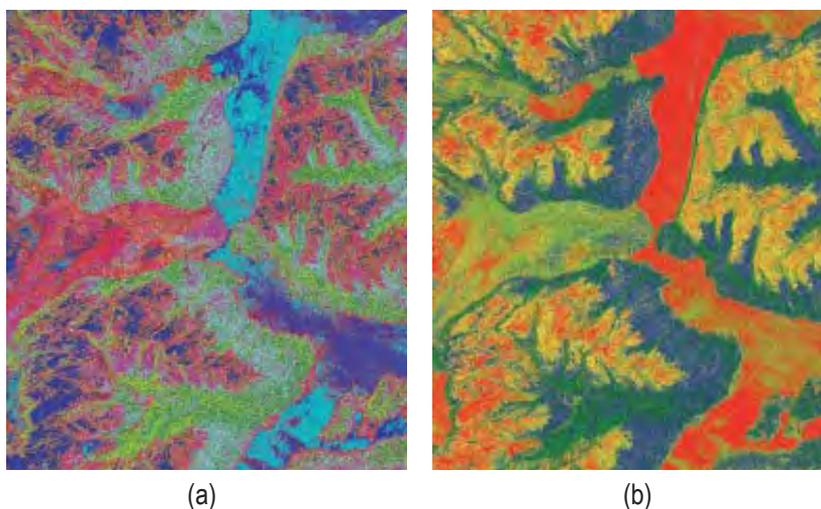
CLASE	PERITO	INFAGEN	HAZ
Hielos	2992422	19.90	269317.98
Vegetación	2062004	13.71	185580.36
Formaciones rocosas	539647	3.59	48568.23
Formaciones arenosas	770412	5.12	69337.08
Formaciones de sedimentos	308844	2.05	27795.96
Urbanización	5199592	34.57	467963.28
Agua	735441	4.89	66189.69
Formaciones de lava	1123586	7.47	101122.74
Montañas	1308772	8.70	117789.48
Terreno	15040720	100.00	13513664.8

Average accuracy = 97.08 / Overall accuracy = 98.21 / KAPPA COEFFICIENT = 0.98251

Fuente: Elaboración propia

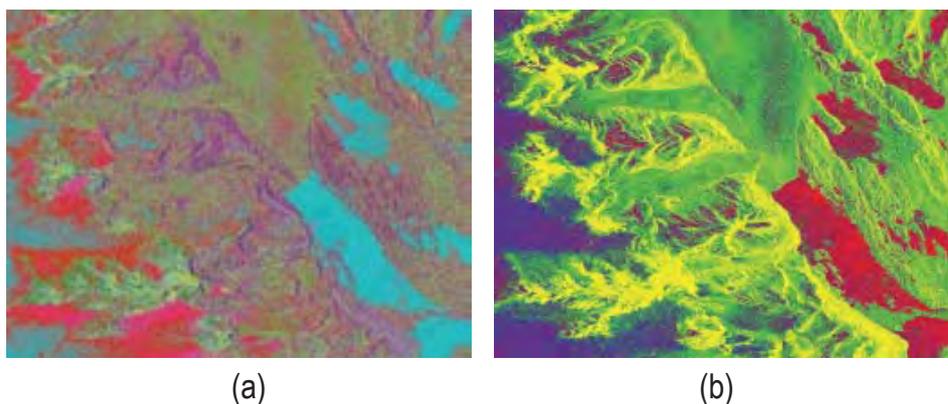
Se realizaron clasificaciones polarimétricas supervisadas y no supervisadas (entropía/alfa/anisotropía), Wishart-H/A/Alpha, con 9 clases, a fin de observar distintas características de hielos, vegetación y rocas, en ambas áreas de estudio (Figuras 9 y 10).

Figura 9. Clasificación Wishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Perito Moreno



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Clasificación Whishart. (a) no supervisada y (b) supervisada. Upsala



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

La clasificación supervisada realizada a la imagen Landsat 5 TM, arrojó buenos resultados utilizando las mismas clases temáticas que se definieron a través de la interpretación visual, el relevamiento de campo y por el análisis de las estadísticas (separabilidad de clases), (matriz de confusión).

En el análisis polarimétrico realizado sobre las imágenes RADARSAT-2 se observó mayor despolarización (mayores componentes de polarización cruzada HV, VH) en las zonas de bosques, según lo esperado, y también en algunas zonas de hielos de glaciar.

Es imprescindible considerar y corregir los efectos del relieve en las imágenes SAR de bosques en áreas montañosas o con importantes gradientes topográficos.

Si bien los mecanismos de interacción entre las microondas y los componentes de la vegetación son complejos, el tipo de información ofrecida por los datos SAR demuestra su importancia como dato único y complementario para estudios forestales. El desarrollo de radares en Banda L, polarimétricos, como el SAOCOM Argentino, promete aumentar la utilidad de estos datos para estudios de bosques y contribuir en aplicaciones operativas.

Como conclusión final se demostró la importancia del aporte de la información radar aún en zonas de alto relieve con presencia de deformaciones geométri-

cas, para la confección de mapas temáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberga, A. (2007): "A study of land cover classification using polarimetric SAR parameters", *International Journal of Remote Sensing*, 28 (17) págs. 3851-3870
- Chan, C. K. (1981): "Studies on the power scattering matrix of radar targets", University of Illinois, Chicago, USA
- Chuvieco, E. (2002): "Teledetección Ambiental". La observación de la tierra desde el espacio. Ediciones Ariel Ciencia, Madrid, España
- Cloude, S.R.; Pottier, E. (1996): "A review of target decomposition theorems in radar polarimetry". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 34, n. 2, págs. 498–518
- ENVI (2002). The Environment for Visualizing Images. Version 3.6
- ENVI 4.7.: Manuales de Usuario. ITT
- ESA NEST 4. 1C, (2012): Tutoriales de Nest ESA SAR Toolbox
- ESA POLSARPRO, (2011): Tutoriales Polarimetric decompositions and Polarimetric SAR data classification
- Feruglio, E. (1944): "Estudios geológicos y glaciológicos en la región del Lago Argentino. Patagonia". (Expedición Alberto M. De Agostini 1930-31). Editor Academia Nacional de Ciencias, pág. 255
- Freeman, A., Durden, S. L. (1992): "A three component scattering model to describe polarimetric SAR data". *Proc. SPIE, Radar Polarimetry*, 1748, págs. 213-225
- GLCF. Fuente de datos perteneciente al Global Land Cover Facility, <http://www.landcover.org>

- Lee, J. S., Grunes, M. R., Ainsworth, T. L., Lijen, D. U., Schuler, D. L., Cloude, S. R. (1999): "Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier". IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 37/1(5). Págs. 2249 -2258
- Ouarzeddine, M., Souissi, B., Belhadjaissa, A. (2007): "Unsupervised classification using Wishart classifier". Proc. of ESA POLINSAR. Workshop.
- Rodrigues, A., Corr, D. G., Pottier, E., Ferro-Famil, L., Hoekman, D. H., (2003): "Landcover classification using Polarimetric SAR data". Proc. of ESA POLINSAR Workshop
- Ouarzeddine, M., Souissi, B., Belhadjaissa, A. (2007): "Unsupervised classification using Wishart classifier". Proc. of ESA POLINSAR. Workshop.
- Rodrigues, A., Corr, D. G., Pottier, E., Ferro-Famil, L., Hoekman, D. H., (2003): "Landcover classification using Polarimetric SAR data". Proc. of ESA POLINSAR Workshop

## Agradecimientos

A la CONAE por la provisión de las imágenes satelitales. Al Centro de Sensores Remotos Canadiense por la provisión de imágenes RADARSAT 2 en el marco del Programa SOAR.

# *Cambio climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) y vulnerabilidad de las comunidades residentes en la cuenca hidrográfica del Río Piedras: San Juan, Puerto Rico*

José Seguinot Barbosa

## **Resumen:**

El propósito principal de este estudio fue medir el impacto del cambio climático (ascenso (ANM) del nivel del mar, inundaciones (IN) y salinidad (SAL)) en las diferentes comunidades de la cuenca del río Piedras, principal cuerpo de agua de la ciudad de San Juan, Puerto Rico. También se determinó mediante una encuesta la percepción de los residentes sobre el ANM, la salinidad y las inundaciones y los efectos de éstos parámetros sobre su salud, propiedad y calidad de vida. Se contrastó y modeló en cada comunidad la situación percibida respecto a la realidad existente. Para estos análisis fueron utilizados el modelo de elevación Digital (DEM) y el gráfico de líneas digitales (DLG) creado por el USGS, así como otros datos topográficos recogidos en el campo con un Sistema de Posición Global (SPG) y datos procedentes de un muestreo de agua para salinidad, conductividad, PH, oxígeno disuelto, granulometría y salinidad del suelo. También se crearon modelos del ANM y se compararon con los realizados por NASA. Los estudios de vulnerabilidad se llevaron a cabo utilizando interpolaciones, regresiones espaciales y análisis bivariado. Los análisis fueron realizados mediante el uso de los programas de ArcGIS, Excel, Eplnfo y Stata. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al cambio climático (CC) son: Ocean Park y Reparto Metropolitano. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al CC son: La Sierra y Las Curías. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al ANM son: Ocean Park y el Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al ANM son: Las Curías y La Sierra.

---

**Palabras clave:** Cambio climático/ Vulnerabilidad/ Cuenca del río Piedras/ Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## **Abstract**

The main purpose of this study was to measure the effect of climate change (sea level rise, flooding and salinity) in several communities of the río Piedras River watershed. I also determined the perceptions of residents about the effects of sea level rise (SLR), salinity and floods over their health, property, and quality of life. I tested and modeled the perceived situation against the existing reality for each community. For this analysis I used Digital Elevation Model and Digital Line Graph created by the USGS and other survey data collected in the field with a Global Positioning System, as well as data on soil salinity and particle size from water sampling for salinity, conductivity, pH, and dissolved oxygen. Models were also created for SLR and were compared with those made by NASA. Vulnerability studies were carried out using interpolation, spatial regression, and multivariable analysis. These analyses were performed using ArcGIS, Excel, Stata, and EPINFO software programs. Communities with the highest level of vulnerability to climate change were: Ocean Park and Reparto Metropolitano. Communities with a lower index of vulnerability to climate change were: La Sierra and Las Curías. Communities with a higher index of vulnerability to SLR were: Ocean Park and Old San Juan. Communities with a lower index of vulnerability to SLR were: Las Curías and La Sierra.

**Keywords:** Climate change/ Vulnerability/ Río Piedras River Watershed/ Geographic Information Systems.

---

**José Seguinot Barbosa** (jose.seguinot@upr.edu), Departamento de Salud Ambiental, Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de Puerto Rico. Apartado 365067, San Juan, PR 00936-5067.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto socio-ambiental surge como parte de la implantación de la propuesta aprobada bajo el programa ULTRA (Urban long Term Research Area) y auspiciada por la National Science Foundation (NSF) y el United States Forest Service (USFS) titulada en inglés: *San Juan, Puerto Rico: Social-Ecological System Change, Vulnerability, and the Future of a Tropical City*. Esta propuesta pretendió abordar dos tipos de preguntas fundamentales en la investigación socio-ecológica. El primer grupo de preguntas plantea, ¿Cómo los factores biofísicos, económicos e institucionales afectan la vulnerabilidad natural y humana dentro del sistema de la cuenca hidrográfica del río Piedras, ¿Cómo éstos han cambiado espacial y temporalmente durante los últimos setenta años? y ¿En qué medida estos factores de vulnerabilidad han influenciado la sostenibilidad de la ciudad de San Juan?

El segundo grupo de preguntas cuestiona lo siguiente: ¿Cuáles son los diversos escenarios e indicadores para estudiar el desarrollo futuro de la Cuenca del río Piedras? ¿Qué políticas públicas y redes organizacionales los apoyan, y hasta qué punto éstos influyen la vulnerabilidad y capacidad adaptativa para la sostenibilidad urbana? Para abordar estas preguntas se han establecido dos enfoques primordiales: intensivo y extensivo. El enfoque extensivo explora la relación espacial y temporal entre la infraestructura (gris), el nivel social, la gobernanza y los procesos bio-físicos. Los estudios intensivos pretenden coleccionar información primaria sobre las prácticas de manejo, las instituciones sociales y los elementos socio-económicos, culturales y ecológicos a lo largo de un gradiente de influencia humana en la cuenca y sub-cuencas del río Piedras.

La hipótesis planteada bajo el primer grupo de preguntas considera que las personas y comunidades residentes en la Cuenca del río Piedras más vulnerables a los cambios socio-económicos y ambientales tales como inundaciones y los cambios en las estructuras y funciones de los ecosistemas son aquellos que constituyen el grupo social con menos capacidad económica de acuerdo a su ingreso, nivel educativo y edad (Pontius 2001, Seguinot-Barbosa 1996, Giusti 2010, Lugo 2002). Esta hipótesis sirve como punto de partida para este estudio donde se abordan los efectos del cambio climático (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) en San Juan, Puerto Rico. Para corroborar la hipótesis planteada se realizó un estudio transversal basado en una encuesta sobre la percepción poblacional acerca

de los riesgos a inundaciones, al ascenso del nivel del mar y la salinidad en varias comunidades localizadas dentro y fuera de la cuenca hidrográfica del río Piedras.

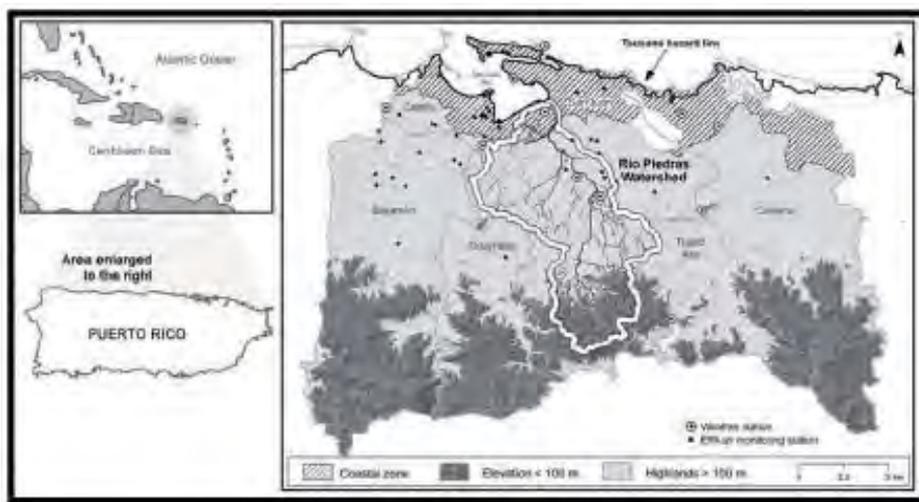
El objetivo central del estudio fue medir la vulnerabilidad de las comunidades al cambio climático. Para ello definimos las personas vulnerables como aquellas que por distintos motivos se sienten susceptibles a una situación de peligro. La vulnerabilidad social es aquella que se produce como consecuencia de determinantes sociales como la edad, la salud, el ingreso o la distancia al centro del peligro. Una zona vulnerable es aquella que aparece expuesta a un fenómeno con potencialidad destructora. Por tanto la vulnerabilidad es igual a la suma del peligro o agente dañino más el nivel de susceptibilidad del individuo o comunidad (factores sociales y de infraestructura).

La percepción del cambio climático varía según las condiciones sociales y económicas de una determinada población. La percepción, por tanto se define como la acción y efecto de percibir (recibir por uno de los sentidos las imágenes, impresiones o sensaciones externas, o comprender y conocer algo). El cambio climático para efectos de este estudio se define como la modificación en los elementos del clima que ha tenido lugar respecto a su escala local, regional y/o global causada por factores naturales y/o humanos. Los elementos del cambio climático que estudia este trabajo son el ascenso del nivel del mar, las inundaciones y la salinidad. Por ascenso del nivel del mar (ANM) se entiende como la elevación del mar sobre su nivel medio registrado por un mareógrafo en un intervalo de tiempo. La inundación (IN) se define como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel de un río, lago u otro cuerpo de agua y la salinidad (SAL) se refiere a la presencia excesiva de sales en el suelo, aire, agua o vegetación. Se mide por la cantidad de sólido disuelto en un kilogramo de agua de mar.

Para estudiar la situación real y la percibida por la población respecto a estos elementos de cambio climático se recurrió a dos herramientas estadísticas espaciales provista por los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ellas fueron la interpolación y la regresión espacial. La regresión es un método de análisis de los datos que sirve para poner en evidencia las relaciones que existen entre diversas variables. La interpolación, según el sub-campo matemático del análisis numérico, comprende la construcción de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

El área de estudio comprendió la cuenca hidrográfica del río Piedras localizada dentro de los límites del municipio de San Juan, Puerto Rico (Mapa1). La cuenca tiene un área de unos 49 km<sup>2</sup> y está localizada dentro de dos regiones geográficas de Puerto Rico: el valle aluvial costero y las montañas húmedas del norte. El río Piedras es, junto al río Puerto Nuevo, uno de los dos ríos que existen en el municipio de San Juan. Se origina a 150 metros de elevación en el barrio Caimito y fluye al norte por espacio de 16 km pasando por los sectores de Río Piedras, Hato Rey, y Puerto Nuevo hasta su desembocadura en el Caño Martín Peña de la Bahía de San Juan (Lugo *et al*, 2011). El río Piedras constituye fundamentalmente una cuenca urbana, aunque aun presenta remanentes de estilos de vida suburbano y rural localizados mayormente en la parte alta de la cuenca en los barrios de Cupey y Caimito. El nivel de desarrollo urbano ha afectado seriamente a este río por lo que su estudio y conservación es de vital importancia dado que aun constituye una zona de alto valor ecológico social y natural para la ciudad de San Juan.

Figura 1. MAPA 1: Puerto Rico en el Caribe y mapa de los límites de la cuenca del río Piedras y sus municipios aledaños (FNC y SFF Propuesta, 2010).



## 2. DISEÑO DE LA MUESTRA

Las variables ambientales tomadas en consideración para el diseño del muestreo incluyeron la selección de puntos que estuvieran localizados dentro del canal principal del río Piedras o sus tributarios, puntos que representaran usos del suelo urbano y rural y diferentes tipos de vegetación, suelos y formaciones geológicas.

También, se buscó asegurar que los puntos de muestreo fueran representativos de los diferentes niveles topográficos (Costero  $\leq 1$  metro, Tierras bajas: de 1- 100 metros y Tierras altas:  $>100$  metros. En el caso específico de nuestro proyecto se deseaba estimar la prevalencia del conocimiento sobre el ascenso del nivel del mar ( $p=0.5$ ). El marco muestrear se basó en los siguientes criterios de población. 1. *Densidad*: debía ser mayor de 160 personas por Km cuadrado 2. *Cantidad total de población*: la población debía ser mayor de 1000 personas 3. *Ingreso*: el ingreso anual por familia debía ser mayor de \$1,500 dólares. Estos datos se obtuvieron de la base de datos del Censo de los Estados Unidos del año 2000, según el nivel de bloques censales.

Los análisis geográficos y espaciales se llevaron a cabo sobre la capa de información de la cuenca y sus tributarios. Para ello se levantaron las capas correspondientes a la hidrología, bloques censales, topografía, suelo, cuenca hidrográfica del río Piedras y municipios de San Juan y Guaynabo en el sistema de información geográfica ArcGIS 10.0. Allí se determinaron mediante análisis de selección de puntos y búsquedas cuáles fueron los puntos que cumplían con los criterios establecidos. Se escogieron 70 puntos de los cuáles fueron incluidos unos 13 como el marco muestral de la cuenca del río Piedras. Alrededor de cada punto seleccionado se construyó un radio de medio km y dentro de esa zona se determinó el tamaño de la muestra poblacional y los bloques censales a ser muestreado. Finalmente se determinaron las calles a ser muestreadas. Dado que estos bloques y calles correspondían a determinadas comunidades se seleccionaron por tanto las trece comunidades representativas de la cuenca. Para ello se utilizó ArcGis, EpiInfo y Excel, respectivamente.

Los setenta puntos de muestreo del estudio se establecieron utilizando como base los límites territoriales de la cuenca del río Piedras. La herramienta principal en la determinación aleatoria de los puntos de muestreo fue el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.0 de la compañía ESRI. Además, se utilizó el programa estadístico EpiInfo para determinar el total del tamaño de la muestra. Para la selección aleatoria de los bloques censales y de las calles donde se llevaría a cabo la aplicación de los cuestionarios se utilizó Excel. En la preparación de las capas digitales utilizadas en el análisis para la determinación de los puntos de muestreo por el SIG se utilizaron fotos aéreas (Mapa 2) de alta resolución con fechas del 2008 provistas por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en inglés) en Puerto Rico.

De los setenta puntos se escogió el 20% como la muestra representativa siguiendo los criterios geográficos establecidos por Lounsbury y Aldrich (1986). A base de este criterio se seleccionaron 14 puntos como el marco muestral usando la función de búsqueda del SIG. Se escogió el 20% de los setenta puntos ya que este número es suficiente para tener una muestra representativa de la población y realizar los análisis ecológicos alrededor de la cuenca del río Piedras. Al final de esta etapa solo quedaron 13 puntos ya que no se logró la accesibilidad física a uno de los puntos. De estos trece puntos salieron las 13 comunidades seleccionadas para este estudio.

Los puntos y comunidades seleccionadas (Mapa 2) se distribuyeron en tres divisiones de la cuenca y un área control:

- Tres comunidades en la parte alta de la cuenca (Caimito, Los Gallegos, Las Curías)
- Tres comunidades en la parte media de la cuenca (La Sierra, Reparto Metropolitano, Las Lomas)
- Tres comunidades en la parte baja de la cuenca (Puerto Nuevo, University Gardens, Villa Nevares)
- Tres comunidades control en el área de la costa y la Bahía de San Juan (Ocean Park, Viejo San Juan, Vietnam)

La comunidad de Montehiedra que originalmente había sido seleccionada para este estudio fue descartada por falta de accesibilidad por lo cual el trabajo realizado se llevó a cabo en 12 comunidades. Las tres comunidades control localizadas fuera de la cuenca del río Piedras fueron utilizadas como base comparativa con las comunidades que están dentro de la cuenca. Estas comunidades se usaron como base para obtener datos sobre la geología, suelo, vegetación, calidad del agua y percepción ambiental del ascenso del nivel del mar, etc. De igual forma sirvieron para poder ver las diferencias ambientales y poblacionales con respecto a las comunidades que ubican en el interior de la cuenca hidrográfica del río Piedras. El tamaño total de la muestra poblacional para el estudio de percepción fue de 447 persona procedente de las 12 comunidades estudiadas. Estas personas contestaron el cuestionario de percepción sobre los efectos del cambio climático en su salud y propiedad.

Figura 2. MAPA 2: Localización de las comunidades de San Juan estudiadas



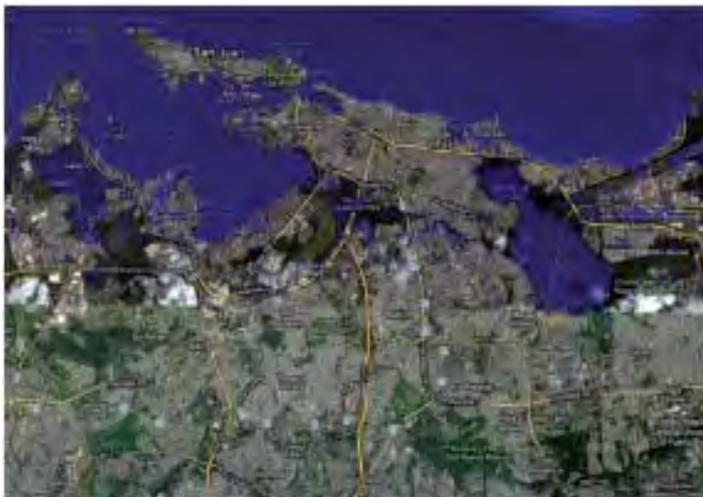
### 3. METODOLOGÍA

Para cumplir con el propósito de medir el impacto del aumento (ANM) en el nivel del mar, así como el efecto de las inundaciones y la salinidad en las diferentes comunidades de la cuenca del río Piedras se llevó a cabo un muestreo de las variables salinidad, conductividad y PH, entre otras variables durante los meses de enero a diciembre de 2011. Ello nos permitió delimitar los niveles de salinidad en agua y suelo en la cuenca del río Piedras, así como en las comunidades adyacentes. Este muestreo nos permitió verificar si las proyecciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático y los modelos creados por NASA tenían correspondencia espacial. Se utilizaron el modelo de elevación Digital (DEM) y el gráfico de líneas digitales (DLG) creado por el USGS, así como otros datos topográficos recogidos en el campo con un Sistema de Posición Global (SPG) y datos procedentes del muestreo de agua y suelo para hacer las interpolaciones espaciales (Mapa 3). También se crearon modelos del ANM en el SIG y se compararon con los realizados por NASA. De esta manera este estudio estableció a corto plazo (33 años) y largo plazo (100 años) la vulnerabilidad de las comunidades al impacto de la subida del nivel del mar y su efecto sobre las inundaciones y la vulnerabilidad de los residentes (Mapa 4).

Figura 3. MAPA 3: Modelo Ascenso del nivel del Mar para San Juan según datos del Panel Gubernamental de Cambio Climático (Seguinot, 2010)



Figura 4. MAPA 4: Modelo de Ascenso del Nivel del Mar para San Juan según NASA



La percepción de los residentes se midió mediante la aplicación de un cuestionario compuesto por unas 30 preguntas. El cuestionario fue tabulado en Excel y con ese programa se realizaron los gráficos de todos los datos crudos. Las in-

terrogantes median en primer lugar las características demográficas de la población estudiada. Para ello se preguntaba la dirección, sexo, edad, estado civil, nivel educativo, número de personas residentes en el hogar, ingreso y ocupación. Para evaluar la percepción general de la vulnerabilidad por parte de la población se preguntó cuánto tiempo hacia que residía en el área. Simultáneamente, se realizaron las siguientes preguntas: ¿Qué tipo de actividad se lleva a cabo en su comunidad? ¿Entiende usted que las condiciones del mar, río o quebrada han cambiado? ¿En qué manera cree usted que han cambiado las condiciones del mar, río o quebradas aledañas? ¿Usted se siente en peligro o en riesgo por la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Cómo usted cree que le afecta la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Desde cuándo usted piensa que le ha comenzado a afectar la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad? ¿Cuándo usted cree que podría afectarle en el futuro la presencia del mar, río o quebrada en su vecindad?

TABLA1: Indicadores y variables de la vulnerabilidad a Inundaciones, al ANM y la salinidad.

Variable	Indicador
B. 9. ¿Entiende usted que las inundaciones es un problema presente en su comunidad?	(1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 10. ¿Cómo se podría remediar el problema de inundaciones en su comunidad?	(1) Canalizando el río o quebrada; (2) Elevando la altura de las casas; (3) Mudando la comunidad; (4) Avisando cuando ocurra una inundación; (5) Creando refugios seguros; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 11. ¿Quiénes son los grupos que entiende usted son los más afectados por las inundaciones?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 12. ¿Entiende usted que la salinidad de los cuerpos de aguas y/ o del terreno es un problema presente en su comunidad?	(1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 13. ¿Cómo se podría remediar el problema de salinidad en la comunidad que usted vive?	(1) Bloqueando la entrada de agua salada; (2) Rellenando los suelos con material no salino; (3) Ayudando económicamente a la comunidad; (4) Educando a los residentes; (5) Dejando que la naturaleza lo resuelva por sí misma; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 14. ¿Quiénes son los grupos que usted entiende pueden ser los más afectados por la presencia de la salinidad?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé
B. 15. ¿Entiende usted que el ascenso del nivel del mar es un problema presente en su comunidad?	(1) Sí; (2) No; (3) No sé
B. 16. ¿Cómo se podría remediar el problema de ascenso del nivel del mar en su comunidad?	(1) Construyendo una muralla; (2) Elevando la altura de las casas; (3) Mudando la comunidad; (4) Avisando cuando ocurra una marea o alto oleaje; (5) Creando refugios seguros; (6) Ninguno; (7) No sé.
B. 17. ¿Quiénes son los grupos que usted entiende pueden ser los más afectados por el ascenso del nivel del mar?	(1) Los niños; (2) Los viejos; (3) Los adultos; (4) Las mujeres; (5) Los hombres; (6) Ninguno; (7) No sé

Para el análisis integrado de la vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad se establecieron los objetivos presentados en la Tabla 2. Estos objetivos responden a las preguntas y respuestas presentadas en el cuestio-

nario. La sección, el número de la pregunta y de respuestas aparecen identificadas con letras negrillas.

TABLA 2: Objetivos de investigación- Análisis de vulnerabilidad

**E**valuar si la población más pobre se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. **A8(2)+B9(2)+B12(2)+B15(2)**

**E**valuar si la población de más edad se percibe como la más vulnerable al Acenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad.

**E**valuar la relación entre el género y los grupos que las comunidades perciben como vulnerables. **A3(2)+B11(5)+B14(5)+B17(5)**

**E**valuar si la población de menos educación se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. **A6(4)+B9(2)+B12(2)+B15(2)**

**E**valuar si la población que lleva menos tiempo en el área se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. **B1(2)+ B9(2)+B12(2)+B15(2)**

**E**valuar si la población rural (Caimito, Las Curias y Los Gallegos) o urbana (otras comunidades) se perciben como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar, Inundaciones y Salinidad. **R+ B9(2)+B12(2)+B15(2)**

**E**valuar si la población más cercana al río Piedras o alguno de sus tributarios se percibe como la más vulnerable a Inundaciones. **D+ B9(2)**

**E**valuar si la población más cercana al río Piedras o alguno de sus tributarios se percibe como la menos vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar. **D+ B15(2)**

**E**valuar si la población más cercana al mar se percibe como la más vulnerable al Ascenso del Nivel del Mar. **D+ B15(2)**

**E**valuar si la población que vive en zonas inundables se percibe como más vulnerables a inundación. **I+ B9(2)**

**E**valuar si la población que vive en zonas salinas se percibe como más vulnerable a la salinidad. **S+B12(2)**

**E**valuar si la población más saludable es la menos vulnerable a Inundaciones, Ascenso del Nivel del Mar y Salinidad. **C1(3)+ B9(2)+B12(2)+B15(2)**

**E**valuar como la temperatura y la precipitación se relacionan con los cambios de Mar, Río y Quebrada. **T+P+B4(4)**

También se diseñó un cruce de variables según el siguiente esquema (Tabla 3). En este esquema se plantearon las preguntas y respuestas asociadas a la percepción como las variables dependientes. Aquellas que estaban asociadas a los datos demográficos (edad, ingreso, género, estado civil, etc.) se definieron como las variables independientes. Las asociadas a factores geográficos como la distancia al cuerpo de agua, el clima (temperatura y precipitación), inundable (si-no), ANM (si-no) y el tiempo de residencia constituyeron las variables exploratorias. Estas últimas ayudaron a definir los niveles de exposición de las comunidades a los elementos climáticos.

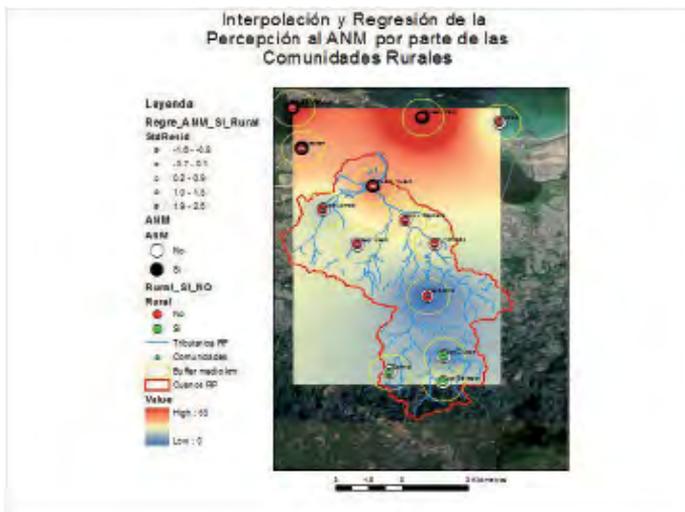
TABLA 3: Cruce de variables dependientes, independientes y exploratorias

Percepción (Variables Dependientes):	Socio Demográfica (variables independientes) y Vulnerabilidad (variables exploratorias):
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio General (rio, quebradas, mar) (B3, B4)=9</li> <li>• Peligro General (rio, quebradas, mar) (B5)=3</li> <li>• Efecto General (rio, quebradas, mar) (B6)=6</li> <li>• Efecto General en el pasado y futuro (B7, B8)=16</li> <li>• Peligro por Inundaciones (B9)=3</li> <li>• El remedio para las inundaciones (B10)=7</li> <li>• Los grupos afectados por inundaciones (B11)=7</li> <li>• Peligro por Salinidad (B12)=3</li> <li>• Remedio para la Salinidad (B13)=7</li> <li>• Grupos afectados por Salinidad (B14)=7</li> <li>• Peligro ascenso del Nivel del Mar (B15)=3</li> <li>• Remedio de Ascenso del Nivel del Mar (B16)=7</li> <li>• Grupos afectados al Ascenso del Nivel del Mar (B17)=7</li> <li>• Estado de General de Salud (C1)=6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Socio Demográfica</li> <li>• Género (A3)=2</li> <li>• Género (A3)=2</li> <li>• Edad (A4)=1</li> <li>• Estado Civil (A5)=6</li> <li>• Educación (A6)=10</li> <li>• Personas en la vivienda (A7)=2</li> <li>• Ingreso (A8)=5</li> <li>• Vulnerabilidad (variables exploratorias):</li> <li>• Tiempo (B.1)=7</li> <li>• Distancia al cuerpo de agua (Medir en GIS)=1</li> <li>• Rural o Urbano (si o no)=2</li> <li>• Inundable (si o no), salinidad, ANM=6</li> <li>• Temperatura y precipitación</li> </ul>

El análisis bivariado se hizo mediante regresiones espaciales usando el programa ArcGIS 10.0 en su función del Geographical Weight Regression. La regresión asociaba el valor real de ANM (si-no), inundación (si-no) y salinidad (si-no) con la percepción de la población respecto a la misma condición. Si el valor asociaba positivamente se le asignó un valor de 1 en la matriz que resumía el cruce de variables. Si de lo contrario no asociaba se le asignó un valor de 0. Así fue como se determinó la asociación positiva o negativa entre las variables cruzadas. Cada variable cruzada respondía a uno de los objetivos de la vulnerabilidad planteado en la Tabla 2 y éste a su vez respondió al diseño del cuestionario. Para la interpretación de los datos en forma cualitativa se hizo una clasificación de la vulnerabilidad en alta, mediana y baja a base de los valores máximos y mínimos obtenidos. De esta manera se pudo distinguir entre las comunidades más vulnerables a cada uno de los elementos (ascenso del nivel del mar, inundaciones y salinidad) de cambio climático estudiados. Los mapas representando el cruce de cada variable dependiente con alguna de las variables independiente u exploratoria fueron hechos en el programa ArcGIS 10.0. Ellos representan en forma de capas geográficas la regresión de cada una de las variables dependientes con una de las variables exploratorias, así como la interpolación de cada una de las variables independientes que sirvió de base para hacer el cruce. Unos 60 mapas fueron realizados para visualizar las relaciones o regresiones entre cada una de las variables estudiadas.

Un ejemplo de este tipo de mapa lo constituye el Mapa 5. Este mapa muestra las comunidades que son rurales (Caimito, los Gallegos y Las Curias) y las que son urbanas (comunidades restantes). La variable interpolada es la percepción de la población respecto al ANM. El mapa también muestra las comunidades que estarían afectadas por el ascenso del nivel del mar (ANM-si y no) en 100 años. Estas son Ocean Park, Viejo San Juan, Vietnam y Puerto Nuevo. Al hacer la regresión espacial entre lo rural y el ANM-si y no, se crea la capa llamada Regre\_ANM\_Si\_Rural. Los colores rojo y rosado muestran una relación positiva, el amarillo muestra una relación media con tendencia positiva y los colores grises y azul muestran la relación negativa. Por tanto en dos de las tres comunidades rurales (Los Gallegos y las Curias) se confirma el hecho que por ser rural no interpretan el ANM como un peligro. El caso de Caimito es una excepción porque aunque es una comunidad rural, ellos interpretan de forma media (color amarillo) que el ANM puede afectarle. Ello se debe al alto nivel de conciencia ecológica que existe en esta población. El mismo análisis puede hacerse para el contexto urbano. Las comunidades costeras (Ocean Park, Viejo San Juan y Puerto Nuevo) reconocen que el ANM les está afectando. Sin embargo Vietnam piensa que no les afecta a pesar de estar a unos 100 metros de distancia del mar. Nosotros atribuimos esa diferencia al bajo nivel educativo de esta población y a la necesidad de una mayor orientación sobre los efectos del cambio climático en esta comunidad urbana y costera.

Figura 5. MAPA 5: Percepción del ANM por parte de las comunidades rurales y urbanas



### 3. RESULTADOS

Las variables cruzadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población al ANM incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 15. ¿Entiende usted que el ascenso del nivel del mar es un problema presente en su comunidad? La respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500-ANM), la población con más de 65 años de edad (Edad+65-ANM), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-ANM) y (M-V-ANM), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Ed-8-ANM), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5). Las variables exploratorias fueron la distancia al río Piedras (Drío-ANM), la distancia al mar (Dmar-ANM), si es rural o urbano (Rur-ANM) y la condición de salud (Saud-ANM). Luego del cruce de estas variables mediante la regresión espacial de ArcGIS si los resultados obtenidos se presentan como valores positivos (1) significa que bajo esa relación la población de esa comunidad es vulnerable. Si por el contrario el valor es 0 significa que esa comunidad no es vulnerable bajo esa relación (Tabla 4).

TABLA 4: Indicadores y valores para el Ascenso del Nivel del Mar\*

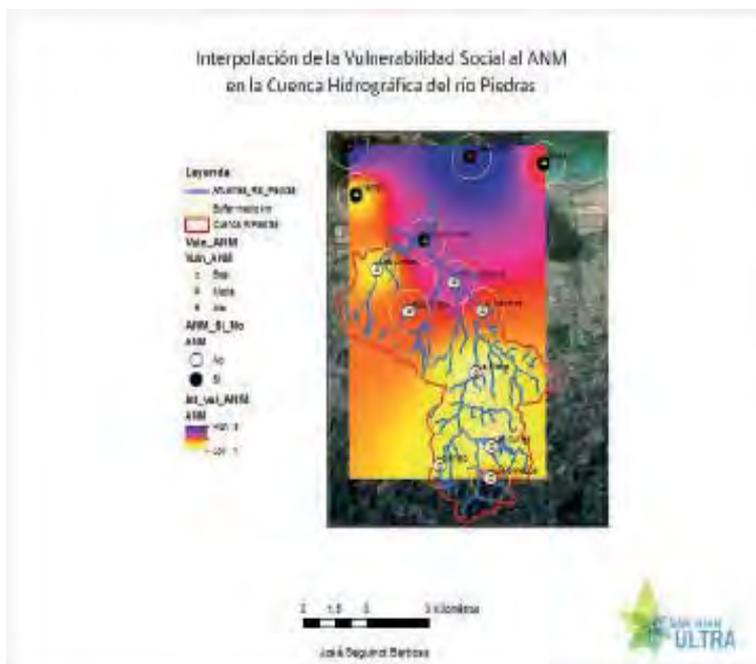
Nombre	<500-ANM	Eda+65 ANM	F-V- ANM	M-V- ANM	Ed-8- ANM	T<5- ANM	Rur- ANM	Drío- ANM	Dmar- ANM	Sau- ANM	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	8
Viejo San Juan	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	6
Vietnam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Las Lomas	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Rep. Metrop. Caimito	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3
Los Gallegos	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3
Las Curias	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
La Sierra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
V. Nevárez	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3
Univ. Gardens	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	4

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

En la tabla de indicadores y valores para el ascenso del nivel del mar (Tabla 4) se pueden apreciar estas relaciones. Así vemos como la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural y en la distancia al río Piedras porque dada su distancia a éste, ello no es un factor que determina el ANM. No obstante pasa todo lo contrario con la distancia al mar (Dmar-ANM). Dado que ubica tan cerca del mar esta distancia si es un factor que afecta el impacto del ANM sobre esta comunidad. Al sumar todos los valores del ANM encontramos que Ocean Park y el Viejo San Juan son las comunidades más vulnerables al ANM según la percepción de su propia población. Ello coincide claramente con la realidad establecida por el modelo de ANM para 100 años establecidos por la NASA y por nuestros modelos geográficos y espaciales.

Constituye una excepción a la regla la situación presentada por la comunidad Vietnam de Guaynabo. Esta comunidad presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo (2) para todos los indicadores de ANM usados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad dado que se encuentra muy cerca del mar (unos 100 metros), es una comunidad muy pobre y su situación de salud no es nada buena. El hecho de que ellos se consideren poco vulnerables tiene una explicación. Durante nuestra visita varios de los residentes plantearon que el municipio de Guaynabo quería expropiarles sus terrenos y ellos no querían dar ninguna razón documentada que luego sirviera de excusa para expropiarlos. Ello explica el por qué ellos durante todos este estudio fueron consistentes y no se consideraron vulnerable a nada (Mapa 6) Por otro lado el desconocimiento de los riesgos y vulnerabilidades a los cuales esta comunidad está expuesta explica el bajo nivel de educación que ellos tienen respecto a los peligros que les afectan, particularmente aquellos asociados al cambio climático. El resto de las comunidades presentan resultados esperados. Las comunidades de Puerto Nuevo y University Garden se consideran medianamente expuestas a los efectos del ANM y el resto de las comunidades localizadas en la parte media y alta de la cuenca del río Piedras no se consideran vulnerables al ANM.

Figura 6. Mapa 6: Mapa de la vulnerabilidad al ANM en San Juan



Las variables estudiadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población a las inundaciones (IN) incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 9. ¿Entiende usted que las inundaciones es un problema presente en su comunidad? Las respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500), la población con más de 65 años de edad (Edad-IN), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-IN) y (M-V-IN), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Edu-IN), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5-IN). Las variables exploratorias fueron la distancia al río Piedras (Drío), la distancia al mar (Dmar), si vive en la zona inundable (Vive-IN), si es rural o urbano (Rur-IN), la condición de salud (Saud-IN) y el efecto de la precipitación en los cuerpos de aguas (P+IN). Los resultados del cruce de estas variables mediante la regresión espacial de ArcGIS que se presentan como valores positivos (1) significa que bajo esa relación la población de esa comunidad es vulnerable. Si por el contrario el valor es 0 significa que esa comunidad no es vulnerable bajo esa relación. Los resultados se sintetizan en la siguiente Tabla 5.

TABLA 5: Indicadores y valores para las inundaciones\*\*

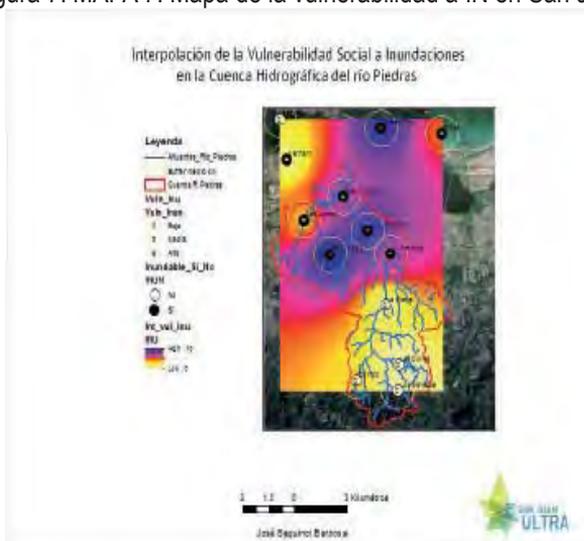
Nombre	<\$500- IN	Edad- IN	F-V- IN	M- V- IN	Edu- IN	T<5- IN	Rur- IN	Drío- IN	Vive-IN	Sau- IN	P+IN	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	9
Viejo San Juan	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Vietnam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Las Lomas	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3
Rep. Metrop.	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10
Caimito	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Los Gallegos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Curls	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Sierra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
V. Nevárez	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	6
Univ. Gardens	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	9
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	6
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

De acuerdo a la interpretación de la Tabla 5 la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural y en el tiempo de residencia porque la mayor parte de la población encuestada no lleva más de cinco años residiendo en esa comunidad y por lo tanto ello no es un factor que determina la forma como esta población percibe el nivel de inundabilidad. No obstante, pasa todo lo contrario con la distancia al mar (Dmar-ANM), al río (Drío-IN) y el nivel de precipitación (P+IN) que sí son factores que influyen la opinión de la población sobre el nivel de inundabilidad que sufre la comunidad. Al sumar todos los valores de IN encontramos que Reparto Metropolitano, University Gardens y Ocean Park son las comunidades más vulnerables a IN según la percepción de su propia población. Ello coincide claramente con la realidad establecida por el modelo geográfico de zonas inundables establecidos por FEMA y la Junta de Planificación y corroborados por nuestros modelos geográficos y espaciales.

La comunidad de Vietnam ubicada en Guaynabo presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo para IN (2) de acuerdo a los indicadores utilizados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad dado que se encuentra ubicada en una zona inundable, pero ellos se consideran poco vulnerables por las razones políticas y educativas que hemos explicados anteriormente (Mapa 7). El resto de las comunidades presentan resultados esperados. Las comunidades de Puerto Nuevo y Villa Nevares se consideran medianamente expuestas a los efectos de las inundaciones (IN) y el resto de las comunidades localizadas en la parte media y alta de la cuenca del río Piedras, así como el Viejo San Juan, no se consideran vulnerables a las IN (Mapa 7).

Figura 7. MAPA 7: Mapa de la vulnerabilidad a IN en San Juan



\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

Las variables estudiadas para construir la matriz sobre la cual se calculó el nivel de vulnerabilidad de la población a la salinidad (SAL) incluyeron como variable dependiente la pregunta B. 12. ¿Entiende usted que la salinidad de los cuerpos de aguas y/ o del terreno es un problema presente en su comunidad? Las respuestas usadas fueron Si o No. Las variables independientes usadas fueron el ingreso de la población con menos de 500 dólares mensuales (<500-SAL), la población con más de 65 años de edad (Edad-SAL), el género (hombre o mujer) y su percepción sobre los viejos como grupo vulnerable (F-V-SAL) y (M-V-SAL), la población que tiene una educación menor del octavo grado (Edu-SAL), la población que tiene un tiempo de residencia mayor a los 5 años (T<5-SAL). Las variables exploratorias fueron si es

rural o urbano (Rur-SAL), si vive en zonas salinas (Vive-SAL) y la condición de salud (Saud-SAL). Los resultados de las regresiones entre las variables se sintetizan en la siguiente tabla (Tabla 6).

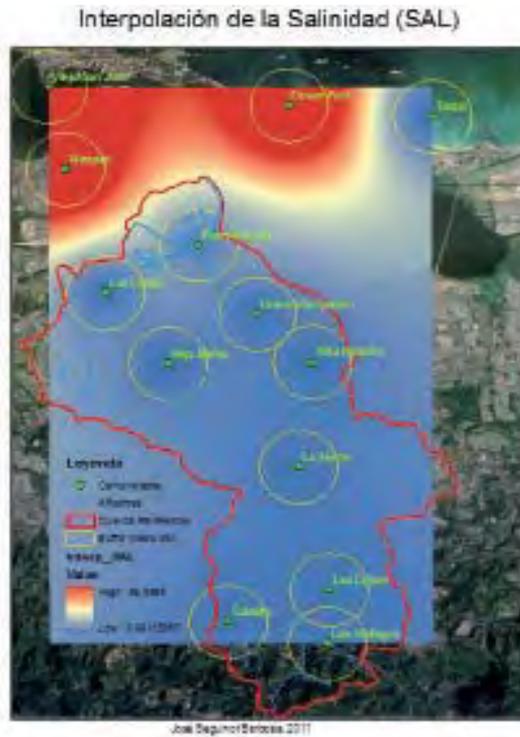
TABLA 6: Indicadores y valores para la salinidad\*\*

Nombre	<\$500-SAL	Edad-SAL	F-V-SAL	M-V-SAL	Edu-SAL	T<5-SAL	Rur-SAL	Vive-SAL	Sau-SAL	TOTAL
Ocean Park	1	1	1	1	1	1	0	1	1	8
Viejo San Juan	1	0	0	0	1	1	0	1	1	5
Vietnam	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Las Lomas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Rep. Metro. Caimito	1	1	0	0	1	1	0	1	0	5
Caimito	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5
Los Gallegos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Las Curiás	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
La Sierra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V. Nevárez	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Univ. Gardens	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Puerto Nuevo	1	0	0	0	1	0	0	1	1	4
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*\*1= Es vulnerable; 0=No es vulnerable

De acuerdo a la interpretación de la tabla de los indicadores y valores para la salinidad la comunidad de Ocean Park dio positiva en todas las regresiones, excepto en la rural porque esta no es una comunidad rural, sino urbana. No obstante, dado que esta comunidad ubica en una zona costera muy cercana al mar ellos reconocen que viven en una zona salina lo cual los hace altamente vulnerable a la salinidad. Al sumar todos los valores de los indicadores de SAL encontramos que además de Ocean Park, El Viejo San Juan presenta una percepción alta en relación a su exposición a la salinidad. Ambas percepciones corresponden perfectamente con la realidad de nuestros análisis de altas concentraciones salinas tanto en el agua como en el suelo. Las mediciones de salinidad media también corresponden de forma correcta con las percepciones de vulnerabilidad media que tienen las comunidades de University Garden, Puerto Nuevo y Reparto Metropolitano (Mapa 8).

Figura 8. MAPA 8: Mapa de la interpolación de la salinidad (SAL)



0.00135057Interpolación de la Salinidad (SAL)

Nuevamente la comunidad de Vietnam ubicada en Guaynabo presenta un valor de vulnerabilidad muy bajo para SAL (2) de acuerdo a los indicadores utilizados. Es una comunidad que debiera tener una alta vulnerabilidad (Mapa 8) dado que se encuentra ubicada en una zona altamente salina, pero ellos se consideran poco vulnerables. Con la comunidad de Caimito ocurre lo opuesto. Ellos se consideran medianamente expuestos a la salinidad y sin embargo los valores reales de la salinidad para Caimito son muy bajos. Una posible explicación es el alto nivel de conciencia ambiental que tiene esta población combinado con la falta de información sobre el impacto de la SAL y del ANM sobre su territorio. Las comunidades de Las Lomas, Los Gallegos, las Curias, La Sierra y Villa Nevares presentan bajos valores en la percepción del efecto de la salinidad. Ello concuerda perfectamente con los bajos valores de la salinidad que obtuvimos en los muestreos de suelo y agua realizado en estas comunidades (Mapa 9).

Figura 9. MAPA 9: Mapa de la vulnerabilidad a la salinidad en San Juan, Puerto Rico Interpolación de la Vulnerabilidad Social a Salinidad en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras



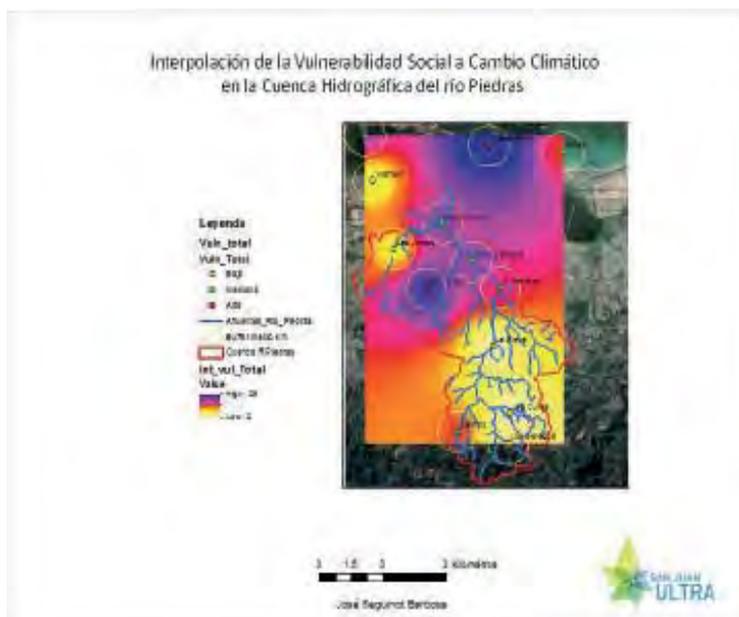
Para poder determinar la vulnerabilidad al cambio climático basado en los tres parámetros usados para este estudio (Ascenso del nivel del mar- V+ANM, inundaciones-V+IN y salinidad-V+SAL) se realizó una análisis combinado de la vulnerabilidad que se presenta en la Tabla 7. Según este análisis la comunidad que presenta una mayor vulnerabilidad al cambio climático (CC) es la comunidad de Ocean Park. En ella coinciden la percepción y la realidad objetiva medidas según el muestreo de campo y el desarrollo de los modelos geográficos. Ella es una comunidad altamente vulnerable al ascenso del nivel del mar por estar muy cercana a éste (unos 100 metros), es una zona inundable con una alta frecuencia de inundaciones durante el año y ubica en una región altamente salina. La comunidad de Vietnam que presenta una vulnerabilidad baja debiera ser tan vulnerable como Ocean Park porque también ubica en una zona inundable, es altamente salina y ubica cerca del mar. No obstante, su población se percibe como poco vulnerable dado que se están protegiendo del proceso de expropiación que el municipio de Guaynabo tiene en su contra y dado que sus niveles de información sobre los efectos del cambio climático en su comunidad son extremadamente limitados.

TABLA 7: Análisis combinado de vulnerabilidad

Nombre	V+ANM	TOTAL	V+SAL	Total	V+IN	Total	Puntos	Vulnerabilidad al Cambio Climático
Ocean Park	Alta	8	Alta	8	Alta	9	25	Alta
Viejo San Juan	Media	6	Media	5	Baja	2	13	Media
Vietnam	Baja	2	Baja	2	Baja	1	5	Baja
Las Lomas	Baja	2	Baja	1	Baja	3	6	Baja
Rep. Metro	Baja	3	Media	5	Alta	10	18	Media
Caimito	Baja	2	Media	5	Baja	3	10	Baja
Los Gallegos	Baja	3	Baja	1	Baja	0	4	Baja
Las Curias	Baja	1	Baja	1	Baja	0	2	Baja
La Sierra	Baja	1	Baja	0	Baja	1	2	Baja
V. Nevarez	Baja	3	Baja	2	Media	6	11	Baja
Univ. Gardens	Media	4	Media	1	Alta	9	14	Media
Puerto Nuevo	Media	4	Media	4	Media	6	14	Media

Las comunidades que se son medianamente vulnerables al cambio climático son en orden descendente de puntuación: Reparto Metropolitano, University Gardens, Puerto Nuevo y el Viejo San Juan. Las primeras tres son comunidades vulnerables a las inundaciones, mientras que el Viejo San Juan es medianamente vulnerable al ascenso del nivel del mar y a la salinidad. Las comunidades que no se perciben y que no están expuestas a los efectos directos-al menos en 100 años-del cambio climático (ANM, IN, SAL) son: Las Lomas, Villa Nevares, La Sierra, Las Curias, Los Gallegos y Caimito (Mapa 10). De forma general este mapa presenta los límites espaciales de los efectos reales del cambio climático según ha sido medido para el ascenso del nivel del mar, las inundaciones y la salinidad y la percepción sobre este asunto que tiene la población dentro y fuera de la cuenca del río Piedras. Siguiendo los contornos geográficos de la ciudad de San Juan podemos concluir que el área más vulnerable al cambio climático está conformada por un corredor de vulnerabilidad que va del noreste de la ciudad de San Juan (Ocean Park) pasando por el centro geográfico (Puerto Nuevo, University Gardens) y culminado en la parte suroeste de la ciudad (Reparto Metropolitano) (Mapa 10). También existe un corredor de baja vulnerabilidad que se desplaza del punto noroeste (Vietnam) pasando por el centro geográfico (Las Lomas) y culminando en la parte ubicada al sureste de la cuenca (La Sierra, las Curias y Los Gallegos).

Figura 10. MAPA 10: Mapa integral de la vulnerabilidad al Cambio Climático en San Juan



Interpolación de la Vulnerabilidad Social a Cambio Climático en la Cuenca Hidrográfica del río Piedras

#### 4. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones específicas: Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al cambio climático (CC) son: Ocean Park y Reparto Metropolitano. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al CC son: La Sierra y Las Curías. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad al ANM son: Ocean Park y el Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad al ANM son: Las Curías y La Sierra. Las excepciones por falacia ecológica, es decir porque existe una percepción incorrecta de la realidad, son: Vietnam y Las Lomas. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad a las inundaciones son: Ocean Park, Reparto Metropolitano y University Gardens. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad a las inundaciones son: La Sierra, Las Curías, Los Gallegos y Las Lomas. La excepción por falacia ecológica son: Vietnam y Las Lomas. Las comunidades con un mayor índice de vulnerabilidad a la salinidad son: Ocean Park y Viejo San Juan. Las comunidades con un menor índice de vulnerabilidad a la salinidad son: La Sierra y Las Curías. Las excepciones por falacia ecológica son: Vietnam y Caimito.

Este estudio refleja que los criterios más importantes para determinar una percepción acorde con la realidad es la capacidad del individuo de mantenerse correctamente informado sobre su realidad geográfica. La falta de educación y de información fidedigna de lo que sucede en su entorno son los principales factores para desarrollar una percepción incorrecta. Los grupos humanos que tienen mejor posición económica, son los que tienen mayor educación, tienen mejor salud y viven en zonas menos peligrosas. Estos grupos son los que presentan una situación de menos vulnerabilidad ante las inundaciones, el ANM y la salinidad en la cuenca del río Piedras. Lo opuesto también es válido para los grupos de menos poder adquisitivo. Por lo tanto, se confirma la hipótesis que señala que los grupos menos privilegiados de la cuenca del río Piedras son los más vulnerables al cambio climático, específicamente al ascenso del nivel del mar (ANM), las inundaciones (IN) y la salinidad (SAL).

En el caso de San Juan la comunidad de Vietnam que debiera ser la más vulnerable es la que se percibe como menos vulnerable. Esta es una comunidad muy pobre, de bajo nivel educativo y con muy poca salud. Su desconocimiento sobre los peligros que le acechan y la poca información que poseen sobre los efectos del cambio climático hacen que no se reconozcan como vulnerables. En el otro extremo ubica la comunidad de Ocean Park que es una comunidad con un mayor nivel educativo y con mejor poder adquisitivo. Esta comunidad reconoce su alta vulnerabilidad al cambio climático. Esto demuestra que el factor económico y educativo es fundamental para determinar que una población perciba correctamente su realidad geográfica.

A modo de conclusión general podemos señalar que este estudio demuestra que no todas las comunidades de San Juan son vulnerables a los mismos elementos del cambio climático. Por lo tanto su nivel de vulnerabilidad real y su percepción varía según su nivel socio-económico y educativo. Ello nos lleva a la conclusión de que el nivel de sostenibilidad y de justicia ambiental existente también varía espacialmente de acuerdo a los niveles de exposición a los riesgos climáticos, así como a sus propias características demográficas, económicas y ambientales.

## 5. REFERENCIAS

- Burke R. y otros, (2004): *Getting to Know ArcGIS*. California, Ed. ESRI Press.

- Fundación Nacional de Ciencias y Servicio Forestal Federal (FNC y SFF), Propuesta, (2010): *San Juan, Puerto Rico: Social-Ecological System Change, Vulnerability, and the Future of a Tropical City*.
- Giusti J., (2010): Research Project on the Environmental History of the Río Piedras Watershed, 1880/1900 to 1970, ULTRA, San Juan, Puerto Rico.
- Lounsbury, J.F. y Aldrich, F.T., (1986): *Introduction to Field Methods and Techniques*. Columbus, Ed. Charles E. Merrill.
- Lugo, A. E. Ramos, O. y Rodríguez-Pedraza, C., (2011): The Río Piedras Watershed and Its Surrounding Environment, International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico (FS-980).
- Lugo, A. E., (2002): Can we manage tropical landscapes? An answer from the Caribbean perspective, *Landscape Ecology* 17: 601-615 pp.
- Muñoz-Erickson, T.A. Aguilar-Gonzalez, B.J. y Sisk, T.D., (2007): Linking ecosystem health indicators and collaborative management: a systematic framework to evaluate ecological and social outcomes. *Ecology and Society* 12 (2): 6 pp.
- Moreno, A. y otros, (2005): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*, Madrid, Editorial Ra-Ma.
- Pontius Jr, R. G. Cornell, J. and Hall, C. A. S., (2001): Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, (1-3): 191-203 pp.
- Seguinot Barbosa, J., (1983): Coastal modification and land transformation in the San Juan Bay area: Puerto Rico, Disertación, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, LA.
- Seguinot-Barbosa, J., (1996): The urban ecology of San Juan (a social geographic interpretation). (La ecología urbana de San Juan (una interpretación geográfico social)), *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 16: 184, 161, pp.

- Seguinot-Barbosa, J., (1997): San Juan, Puerto Rico: la ciudad al margen de la bahía, Ed. Geo, San Juan, 142p.
- Seguinot- Barbosa J. (2001): *Geonatura: Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en las Ciencias Ambientales y de la Salud*. San Juan, Publicaciones CD.
- Skidmore A., (2002): *Environmental modeling with GIS and Remote Sensing*. London, Ed. Taylor and Francis.

## Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo surge como parte de la implantación de la propuesta aprobada bajo el programa ULTRA (Urban long Term Research Area) y auspiciada por la National Science Foundation (NSF) y el United States Forest Service (USFS). Agradezco al *Dr. Ariel Lugo* y a la *Dra. Tischa Muñoz*, por darnos la oportunidad de colaborar en este proyecto y por revisar el escrito. Los estudiantes doctorales *Omar García* y *Ruben Hernández* trabajaron el diseño del muestreo y la aplicación del cuestionario. Por otra parte la estudiante graduada *Alia El Burai* trabajó la base de datos, graficó los datos crudos de las variables y preparó varios mapas. Finalmente, la estudiante doctoral *Glory Ann Rivera* preparó las presentaciones del proyecto, editó las tablas y mapas del escrito y trabajó con los cuestionarios. El resto de los estudiantes graduados colaboraron en la aplicación del cuestionario en las diferentes comunidades, la toma de muestras en los puntos de muestreo y en la preparación de los mapas. Estos estudiantes fueron los siguientes: *Abdiel Acevedo, Denismar Arocho, Sandra Carpio, Mónica Resto, Brenda Vázquez, Germaine Vázquez, Samarys Seguinot, Nichole Ortiz Cruz, Ailed Cruz Collazo, Alejandro A. Nieves, Luis A. Beniquez, Israel Rodríguez, Laura Rivera, Mónica Velez, Josephine Acevedo, Yanitza Hernández, Jimmy de León, Alberto Pujols, Julieanne Miranda, Janice Pérez*. Un profesor que colaboró con esta investigación como investigador y asesor fue el *Dr. Pablo Mendez Lázaro*. Muchas gracias a todos por su generosa contribución a este proyecto.



# SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA



# *Falta de cobertura de los servicios de salud y factores de localización óptima*

Giovanna Santana Castañeda, Adrián Guillermo Aguilar  
Martínez y Marcela Virginia Santana Juárez

## **Resumen:**

El objetivo de este trabajo es realizar un diagnóstico actual de la localización de los servicios públicos de salud primarios, en relación a su estructura, dinámica y relaciones en la Zona Metropolitana de Toluca, y al mismo tiempo elaborar una propuesta desde el punto de vista de los factores necesarios para la localización óptima de dichos servicios.

El principal argumento de este trabajo es que las desigualdades en los servicios de salud están determinadas por factores de localización, socioeconómicos, geográficos, de recursos, de servicios, normativos y por características propias de los individuos.

Se presenta una propuesta sobre los criterios que desde el punto de vista holístico son necesarios para la ubicación óptima de los servicios señalados; estos criterios se refieren a los siguientes indicadores: (i) socioeconómicos (densidad de población, género, edad, tasa de crecimiento, población derechohabiente, población analfabeta, viviendas con agua, drenaje y energía eléctrica, población económicamente activa y vías de comunicación); (ii) geográficos (elevaciones, cuerpos de agua, uso de suelo); (iii) de recursos y servicios (personal médico, unidades médicas, población usuaria o demanda).

**Palabras clave:** Factores de localización / servicios de salud pública / cobertura deficiente / Toluca.

## **Abstract:**

The goal of this project is to obtain a present diagnosis of the localization of the primary health services regarding its structure, dynamic, and its correlations in the area called "Zona Metropolitana de Toluca" a proposal of optimal locations of health services infrastructure will be developed regarding the basic elements needed for its establishments.

The main argument of this paper is that the inequality in the health services is deter-

mined by the localization, socioeconomics-geographic factors, availability of human and natural resources also the norms and unique characteristic of the personality of the people. The present paper a proposal for the criteria of the elements needed for the optimal area for the establishment of a health service center the elements are as follow: (i) Socioeconomic elements (Population density, gender, age, growth rate, population with insurance, analphabetic population, homes with basic services such as running water and electricity, working population, and road links); (ii) geographic elements (elevation, water masses, land use); (iii) resources and services (Health personal, Health units, demanding population).

**Keywords:** Localization Factors / public health services/inefficient health cover/ Toluca

---

**Giovanna Santana Castañeda** (gsantanac@uaemex.mx), Instituto de Geografía UNAM, Ciudad de México, México; **Adrián Guillermo Aguilar Martínez** (adrianguillermo1@gmail.com), Instituto de Geografía UNAM, Ciudad de México, México; **Marcela Virginia Santana Juárez** (mvsantana7@hotmail.com), Facultad de Geografía, UAEM, Cuidad de Toluca, México.

## MÉTODO

En el presente escrito se desarrollan los factores que juegan o deberían jugar un papel importante cuando se toman decisiones sobre la nueva ubicación de un nuevo servicio de salud público; comenzando con los factores geográficos, normativos y socioeconómicos.

Después se muestra un diagnóstico sobre el sistema de salud público considerando su infraestructura, los recursos y servicios.

La escala de análisis es a nivel localidad, los datos son obtenidos de diferentes instituciones oficiales como el INEGI, SEDESOL, CONAPO, SSA.

## CONCEPTOS INTRODUCTORIOS

La Constitución de la OMS establece que “el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social”. También menciona que “el derecho a la salud obliga a los Estados a generar condiciones en las cuales todos puedan vivir lo más saludablemente posible. Esas condiciones comprenden las disponibilidades garantizadas de servicios de salud, condiciones de trabajo saludables y seguras, vivienda adecuada y alimentos nutritivos, por tanto el derecho a la salud no se limita al derecho a estar sano”.

El derecho a la salud incluye el acceso a una atención sanitaria oportuna, aceptable, accesible y de calidad satisfactoria.

Por lo tanto es importante desarrollar las teorías y conceptos importantes como accesibilidad y cobertura.

Las teorías de distribución de los servicios enfocados a la salud se basadas en el principio de justicia, en donde todos los individuos tienen derecho a los servicios de salud pública; algunas de estas teorías son: la utilitaria<sup>1</sup>, igualitaria<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Teoría utilitaria: La idea principal, es la utilidad del colectivo, y el bienestar se corresponde por el placer.

<sup>2</sup> Teoría igualitaria: caracterizada mediante la igualdad de recursos. Es una concepción de justicia genuinamente igualitaria debe ser parcialmente definida por referencia a la pertenencia o identidad cultural; y definen la justicia mediante la igualdad de oportunidades, y la igualdad fundamental de las personas.

justicia social<sup>3</sup> y justicia espacial<sup>4</sup>; estas teorías muestran un panorama basadas en un principio de justicia para la población en general.

Es necesario desarrollar el concepto de accesibilidad cuyo significado es la “facilidad con que un servicio pueda ser alcanzado desde una localización” (Dalvi, 1978 cit. en Arentze et. al. 1992) en la actualidad el dinamismo de las personas promueve la creciente movilidad asociada a la capacidad de elección de las personas para frecuentar ciertos servicios produciendo una polarización en el territorio.

En este sentido una distinción que en los estudios sobre localización de equipamientos colectivos es: bienes públicos puros y bienes públicos impuros. Los primeros son libres y están equitativamente distribuidos por parte del Estado entre todos los ciudadanos como la radio y la televisión; los segundos son aquellos en donde los desplazamientos hacia los servicios son necesarios y por lo tanto producen condiciones más ventajosas para unos y en desventaja para otros. Por lo tanto tenemos que incluir los conceptos sobre equidad, igualdad, justicia espacial, entre otros.

La equidad se puede concebir como imparcialidad o justicia, generalmente aplicada a la distribución de ingresos y otras oportunidades; en un contexto geográfico la equidad en la distribución entre áreas distintas se alcanza si las diferencias o desviaciones desde la igualdad son proporcionales a las diferencias aceptadas como necesidades (Jensen-Butler, 1999).

Para conseguir una verdadera justicia territorial o espacial no basta la igualdad en la inversión de recursos, sino que es necesario la igualdad en los resultados cuando se toman en cuenta las necesidades sociales (Olivera, 1993).

---

<sup>3</sup> Teoría de justicia social: Definen la justicia mediante la igualdad de oportunidades. Existen dos principios fundamentales: primero: cada persona ha de tener un derecho igual al esquema más extenso de libertades básicas que sea compatible con un esquema semejante de libertades para los demás; segundo: las desigualdades sociales y económicas habrán de ser conformadas de modo tal que a la vez se espere razonablemente que sean ventajosas para todos y se vinculen a empleos y cargos posibles para todos.

<sup>4</sup> Teoría de la justicia espacial, territorial o locacional: Planea la distribución de los costos ambientales desde el objetivo de su reparto igualitario en el terreno. Cuando no bastan las reformas de salud, y tampoco las medidas económico-políticas, sino que es también necesario que la sociedad apueste por nuevas formas de vida, dentro de un marco de justicia y así lograr una transformación de la vida social.

Considerando lo antes mencionado algunos autores conceptualizan el término de justicia espacial o territorial como la minimización de diferencias en relación a la distancia recorrida o como la igualdad en relación a las necesidades satisfechas.

Por último, el concepto de cobertura se maneja de manera frecuente en la normatividad o en las políticas de planificación cuando se trata de servicios públicos, exigiendo que la demanda o población quede dentro de un radio de distancia o tiempo de desplazamiento hacia el punto de servicio más próximo; esta distancia es interpretada como satisfactoria y por lo tanto la población que se encuentra incluida dentro de ese radio gozaría de un nivel de accesibilidad aceptable a dicho servicio (Bosque, 2004).

## RESULTADOS

La Secretaría de desarrollo social (SEDESOL), el Consejo nacional de población (CONAPO) y el Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI, 2007) publicaron un libro titulado “Delimitación de las zonas metropolitanas” en donde se pusieron de acuerdo para determinar las Zonas metropolitanas como elementos de mayor jerarquía del sistema urbano en donde señalan que hay 56 en la República Mexicana, compuestas por 345 municipios y agrupadas en cuatro regiones: centro, norte-noreste, occidente-centro-norte y sur-sureste; en la región centro se encuentra la región de estudio que es la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) en donde se incluyen 14 municipios: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec con una población total en el año 2010 de 1'846,116 habitantes, de los cuales el 48.6% pertenecen al sexo masculino y el 51.4% al femenino, con una tasa de crecimiento<sup>5</sup> de 6.3 entre los años 2005 y 2010; la superficie territorial es de 2,004 km<sup>2</sup> y su densidad media urbana

<sup>5</sup> La tasa de crecimiento es el cambio en la población en determinado periodo, cuya fórmula es:

$$\text{Tasa de Crecimiento} = \left( \sqrt[N]{\frac{\text{Cantidad final}}{\text{Cantidad inicial}}} - 1 \right) * 100$$

Dónde:

**N** es el número de años entre el período

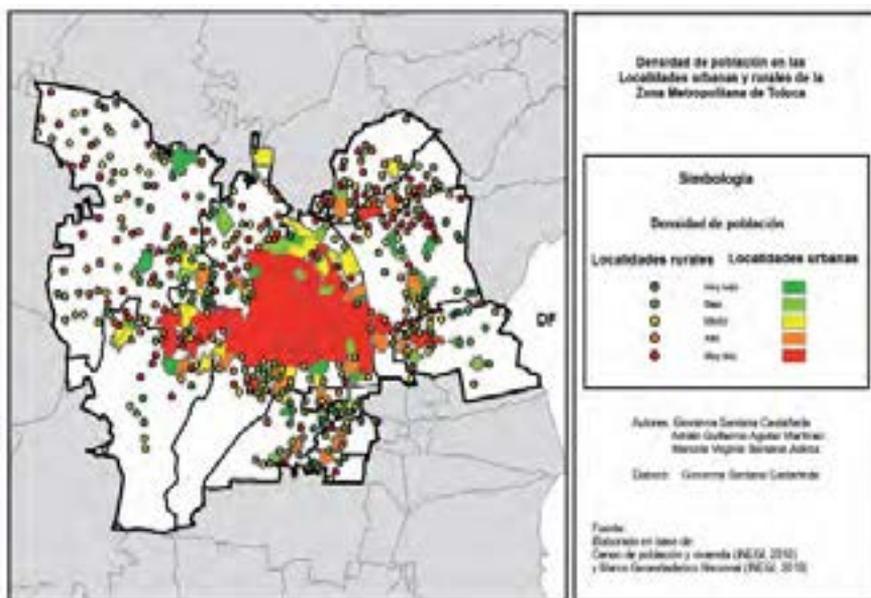
**Cantidad final** es el valor del año final del período.

**Cantidad inicial** es el valor del año inicial del período.

en el año 2010 es de 921.2 habitantes por km<sup>2</sup> (mapa 1).

La ZMT es la que ocupa el 5º lugar de las zonas metropolitanas de México, después de la ZM del Valle de México, Monterrey, Guadalajara y Puebla.

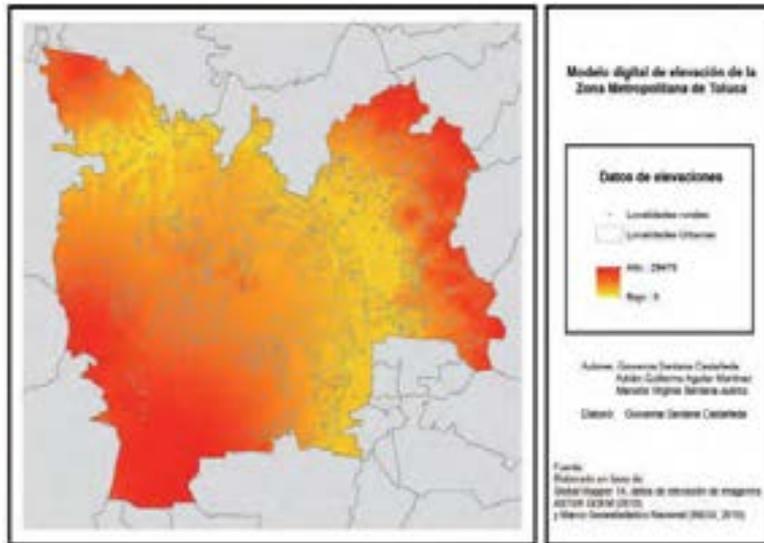
Mapa 1: Densidad de población de la ZMT, 2010.



## Características geográficas

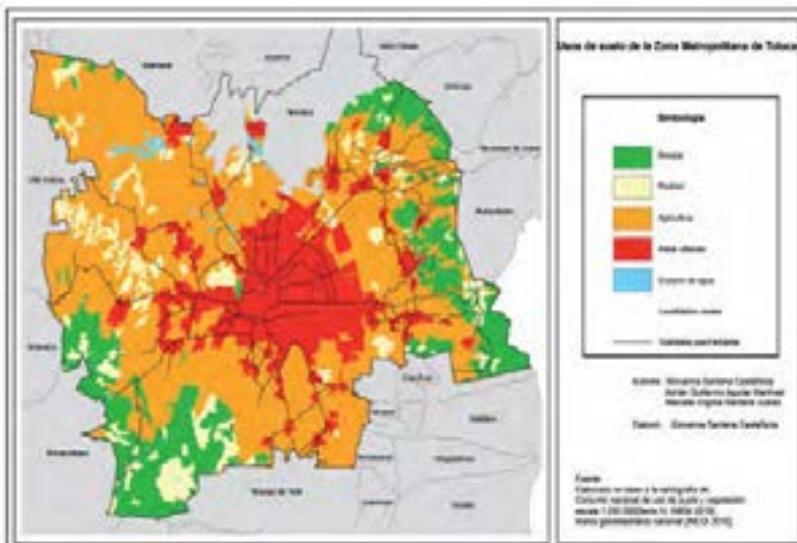
La ZMT se caracteriza por tener elevaciones desde los 1 800 metros hasta los 4 600 metros de altura y la distribución de las localidades tanto rurales como urbanas de la ZMT en su gran mayoría se localizan en la parte centro con terrenos de poca pendiente, entre 1 800 y 3 000 metros (Mapa 2).

Mapa 2: Modelo digital de elevación de la ZMT



En la ZMT existe una diversidad de usos de suelo, dentro de ellos se encuentra el bosque con 16.6% y una superficie de 331.9 km<sup>2</sup>; el pastizal con 9.5% y 89.8 km<sup>2</sup>; el suelo agrícola con 53.8% y 1078.8 km<sup>2</sup>; el área urbana con 19.3% y 387.4 km<sup>2</sup>; y los cuerpos de agua con 0.8% y 15.8 km<sup>2</sup> (mapa 3).

Mapa 3: Usos de suelo en la ZMT



## Normatividad

El sistema normativo de equipamiento urbano es una publicación de seis tomos, realizada en 1999, con la colaboración de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Subsecretaría de desarrollo urbano y vivienda (SEDUVI) y la Dirección general de infraestructura y equipamiento; en el tomo II señalan las normatividades para la salud y asistencia social, en las que participaron el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), El Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), La Secretaría de Salud (SSA) y la Cruz Roja Mexicana (CRM) y establecen que los equipamientos y servicios considerados en dicho escrito son determinantes del bienestar social, debido a que la salud es parte integrante del medio ambiente y en ella inciden la alimentación y educación, así como las condiciones físico-sociales de los individuos.

En dicho escrito dividen a las unidades médicas de primer nivel, en centros de salud rural para la población concentrada y centros de salud urbana.

Los primeros se encuentran en localidades entre 2 500 y 15 000 habitantes, con una cobertura de 3 000 a 9 000 habitantes y de 1 a 3 consultorios en una superficie territorial de 600m<sup>2</sup> por cada centro de salud. Los segundos cuentan de 3 a 6 consultorios con una cobertura de 3 000 habitantes por consultorio, ubicados en localidades con más de 15 000 habitantes y con una superficie de terreno de 1200m<sup>2</sup> (cuadro 1).

Los servicios que según la normatividad deberían ofrecer en ambos centros de salud son consulta externa general, observación, urgencias, referidos, vigilancia en casos epidemiológicos, educación para la salud, saneamiento ambiental, fomento sanitario, organización de la comunidad, primeros auxilios, laboratorio y rayos X, sin embargo no en todos los consultorios se ofrecen los mismos servicios.

En la tabla 4, se agregan los demás factores que el sistema normativo toma en cuenta, incluyendo dentro de las columnas el tipo de elemento si es que es un centro de salud rural con población concentrada o es un centro de salud urbana, el primero aunque se describe en el texto del documento no se mencionan los indicadores para las demás columnas; hay otra columna en donde se describe la jerarquía urbana que adquieren los servicios que se ofertan; las demás columnas señalan los demás factores que se toman o deberían de tomar en cuenta para ubicar un nuevo

servicio, si es indispensable la ubicación de algún otro servicio, o no es necesaria.

### 1. Tabla de factores normativos para localizar servicios de salud públicos

SUBSISTEMA	ELEMENTO	IERARQUÍA URBANA	HABITACIONAL	COMERCIO, OFICINAS Y SERVICIOS	INDUSTRIAL	NO URBANO (agrícola, pecuario, etc.)	RASTRO DE SERVICIO	USUARIO	STADÍSTICA CALLE LOCAL	VALLEADAD CALLE PRINCIPAL	VALLEADAD SECUNDARIA
1 SALUD	Centro de Salud Rural Población Concentrada	REGIONAL	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1 SALUD	Centro de Salud Rural Población Concentrada	ESTATAL	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2 SALUD	Centro de Salud Urbana	REGIONAL	Indispensable	Indispensable	No necesario	No necesario	De 5 a 15 km. O 30 min.	40% población total	Indispensable	Indispensable	Indispensable
2 SALUD	Centro de Salud Urbana	ESTATAL	Indispensable	Indispensable	No necesario	No necesario	1 km. O 30 min.	40% población total	Indispensable	Indispensable	Indispensable
SUBSISTEMA	ELEMENTO	IERARQUÍA URBANA	Agua potable	Alcantarillado y/o drenaje	Energía eléctrica	Alcantarilla pública	Teléfono	Facilities	Recolección de basura	Transporte público	
1 SALUD	Centro de Salud Rural Población Concentrada	REGIONAL	/	/	/	/	/	/	/	/	
1 SALUD	Centro de Salud Rural Población Concentrada	ESTATAL	/	/	/	/	/	/	/	/	
2 SALUD	Centro de Salud Urbana	REGIONAL	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	
2 SALUD	Centro de Salud Urbana	ESTATAL	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Indispensable	

Fuente: Sistema normativo de equipamiento urbano  
Tomo II: Salud y asistencia social, SEDESOL, 1999.

## DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE SALUD PÚBLICO

En México el sistema de seguridad social está dividido en (IMSS), para trabajadores formales de empresas privadas, y el (ISSSTE) para trabajadores de empresas públicas, además de otros sistemas corporativos como el de los trabajadores de PEMEX, y los sistemas de trabajadores de cada estado, todos con ramas de salud y pensiones. El Estado de México, se caracteriza por tener al menos 6 instituciones dedicadas a la prestación de Servicios de Salud.

En la ZMT las unidades médicas de nivel primario en operación son 293, de las anteriores más del 90 por ciento pertenecen a: secretaria de salud (58.3 %); Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia (20.1%); Servicios Médicos Estatales (9.2%); e Instituto Mexicano del Seguro Social (4.7%). La localización de estos servicios obedecen fundamentalmente a dos criterios que se relacionan a: el número de población, y accesibilidad a las vías de comunicaciones, que en esencia son factores económicos, por lo que no se atiende a toda la población de manera igual o justa, particularmente a la población más pobre y aquella situada en áreas

periféricas, concentrando los servicios con especialidades en la parte central de la ZMT.

El municipio que cuenta con más unidades médicas es Toluca con 134 y una superficie territorial de 426 km<sup>2</sup>, continuando con Metepec que tiene 34 y 67 km<sup>2</sup> y Almoloya de Juárez con 29 unidades médicas y una superficie de 477 km<sup>2</sup>, como se aprecia en la tabla 2.

2. Tabla de unidades médicas en operación (Abril, 2012)

Municipio	Instituciones de Salud								Total personal	Superficie territorial en km <sup>2</sup>	Densidad de unidades médicas
	Secretaría de Salud	Mediana del Seguro Social	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado	Secretaría de la Defensa Nacional	Sistema Nacional de Información de la Diferida	Centros Médicos	Servicios Médicos Estatales	Servicios Médicos Privados			
ALMOLOYA DE JUÁREZ	29					1		2	29	477	0.1
CALIMAYA	4								6	92	0.0
CHIAPULTEPEC	1								1	12	0.0
LERMA	15	1		1		1		1	19	216	0.0
METEPEC	34	1				0	1	1	34	67	0.0
MEDICALZINGO	1					1			1	13	0.0
OLIMULCAL	4			1		1		1	9	109	0.0
OTZOMOTEPEC	11			1				1	15	112	0.0
RAYÓN	1								1	19	0.0
SAN ANTONIO LA BEA	2					1			4	29	0.0
SAN MATEO ATENCO	4	1				1			8	19	0.1
TIRÚCÁN	29	0		2		15	1	18	14	426	0.0
XONACÁTLAN	4					1			7	57	0.0
XONACAHUATL	14	1		1		2		1	18	98	0.0
Zona Metropolitana de Toluca	171	34		6	1	39	2	27	12		

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema nacional de información en salud, 2012.

Los propósitos fundamentales para el funcionamiento de los programas de salud son, entre otros, hacer posible que después de un diagnóstico bien determinado se puedan plantear las actividades o acciones que permitan combatir las insuficiencias, corregir las ineficiencias y amenorar la inequidad en la asignación de los recursos disponibles. El sistema de salud en México, ha tomado un curso interesante, y una consecuente importancia de modo continuo y en aumento, por ejemplo en el año 2001 las unidades médicas eran 124 distribuidas en su mayoría en el municipio de Toluca (34), Almoloya de Juárez (23) y Lerma (12), mientras que para el año 2011 ya eran 142 a pesar de ello la distribución y aumento de servicios es inequitativa entre estos municipios (tabla 3).

Un análisis de tendencia monótona de series de tiempo<sup>6</sup> (del año 2001 al

2011, de la tabla 3), demuestra que existen 3 municipios con tendencia a aumentar las unidades médicas, mientras que la mayoría de los municipios tienden a permanecer igual o aumentar lentamente, lo que quiere decir que todavía se necesitan hacer más esfuerzos para generar más apoyos en este sector (mapa 4).

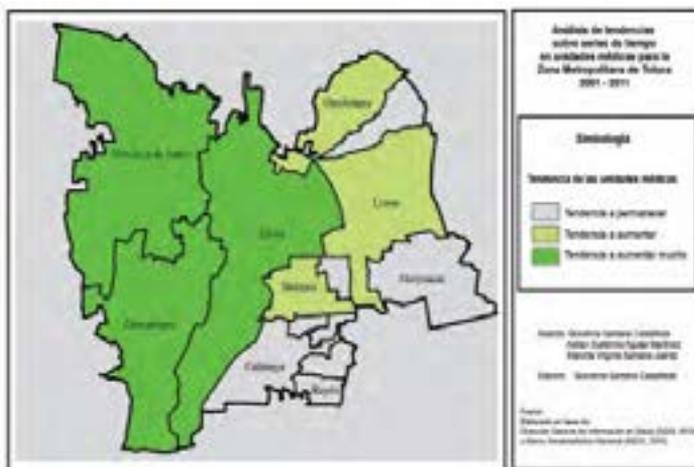
3. Tabla de número de unidades médicas (2001-2011)

Municipio	Año											Análisis de tendencia monótona (Series de tiempo)
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
AMILCOYA DE JUARÉ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Permanecer
CALIMAYA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Permanecer
CHIAPULTEPEC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Permanecer
FORMA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	Aumentar
METEPEC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	Aumentar
MEXICALTZINGO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Permanecer
OCHVACAC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	Permanecer
OTZOMOTEPEC	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	Aumentar
BAYÓN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Permanecer
SAN ANTONIO DE LA ISLA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Permanecer
SAN MATEO ATIMIXC	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Permanecer
TILIXCA	24	24	24	24	24	24	24	24	40	40	40	Aumentar (en 2010)
XOBACATLÁN	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Permanecer
ZINCUÁNTEN	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	Aumentar (en 2010)
Zona Metropolitana de Toluca	124	124	124	124	126	127	127	127	143	140	142	

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema nacional de información en salud, 2001-2011

<sup>6</sup> El análisis de tendencia monótona genera un indicador de tendencias no lineales que mide el grado en el que una tendencia aumenta o disminuye consistentemente. Tienen un alcance de -1 a +1. Un valor de +1 indica un tendencia que aumenta continuamente y que nunca disminuye; cuando tiene un valor de -1 ocurre lo opuesto; un valor de 0 indica que no hay una tendencia consistente.

Mapa 4: Análisis de tendencia para unidades médicas (2001-2011)



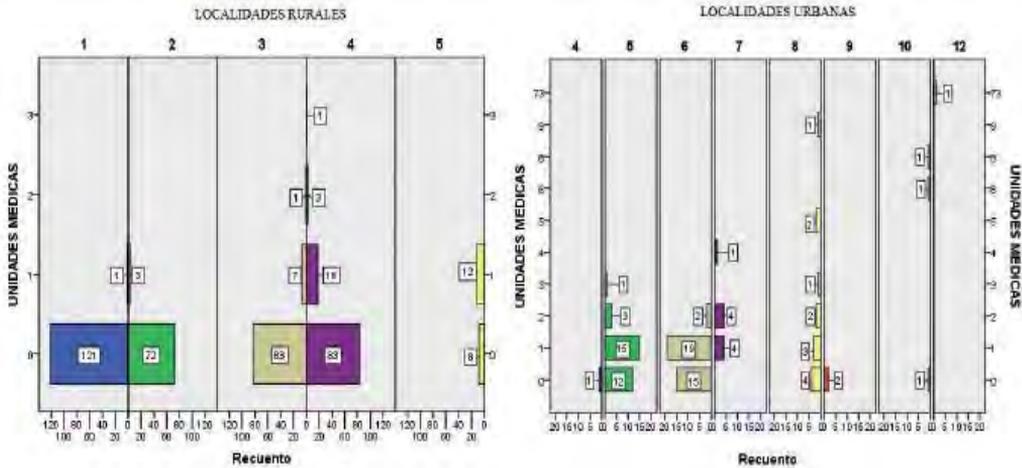
En el año 2010 la ZMT se encuentra constituida por 14 municipios dentro de los cuales se encuentran 509 localidades, 413 pertenecen a localidades rurales caracterizadas por tener una población no mayor a 5 000 habitantes, y 96 localidades son urbanas con una población mínima de 2 017 y una máxima de 489 333 habitantes, según el INEGI, 2010.

En el año 2012 la distribución del tamaño de las localidades<sup>7</sup> con respecto a las unidades médicas con las que cuentan cada una es muy diferente entre las rurales y urbanas; en la figura 1 se muestra el tamaño de las localidades con los números de la parte de arriba, en los costados se expresa la información sobre el número de unidades médicas y los datos manifiestan las localidades tanto rurales como urbanas, de tal modo que dentro de las localidades que son rurales incluidas en los tamaños desde 1 hasta 5, la gran mayoría no cuenta con servicios de salud públicos: 121 localidades con tamaño 1, 72 con tamaño 2, 83 con tamaño 3, 83 con tamaño 4 y 8 localidades con tamaño 5; observándose que su distribución es inequitativa puesto que solo 46 localidades tienen este tipo de servicios y de esas 46 la mayoría que son 41 localidades tienen un centro médico, solo 4 de las 46 localidades tienen 2 unidades médicas y una sola tiene 3 unidades médicas. Por otra parte las localidades urbanas con un tamaño de localidad que va desde 4 hasta 12,

<sup>7</sup> INEGI (2010): El tamaño de las localidades es de 1 (1-249 habitantes), 2 (250-499), 3 (500-999), 4 (1000-2499), 5 (2500-4999), 6 (5000-9999), 7 (10000-14999), 8 (15000-29999), 9 (30000-49999), 10 (50000-99999), 11 (100000-249999), 12 (250000-499999), 13 (500000-999999) y 14 (1000000 y más)

presentan una mejor distribución en los servicios de salud públicos, con un sesgo en la ciudad de Toluca de Lerdo que tiene el tamaño máximo que es 12 y 73 unidades médicas.

Figura No. 1

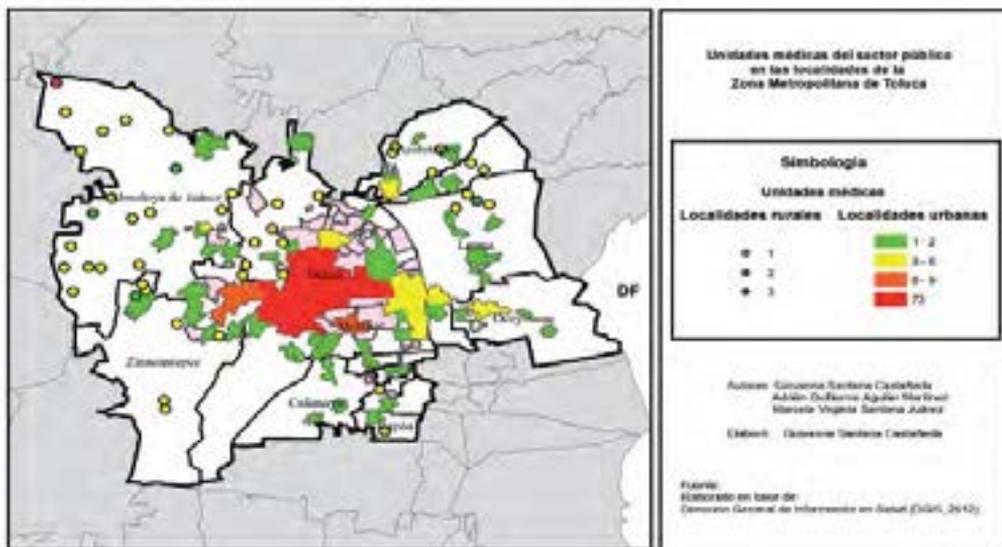


Sin embargo las desigualdades son muy marcadas cuando se examinan muy de cerca las localidades rurales y urbanas, por ejemplo en las localidades rurales: el 0.2% representa una localidad llamada Palos amarillos, municipio de Almoloya de Juárez y cuenta con tres unidades médicas; el 0.9% de las localidades cuentan con dos unidades médicas y están representadas por: Ejido la Gaviota y Salitre de Mañones (municipio de Almoloya de Juárez), El Curtidor (municipio de Zinacantepec) y San Lorenzo (municipio de Lerma) y el 9.9% representado por 41 localidades cuentan con una unidad médica. Lo anterior significa que solo 11% de las localidades rurales tienen unidades médicas.

Por otra parte las localidades urbanas en donde el 1% cuenta con 73 unidades médicas representado solo por la ciudad de Toluca de Lerdo, municipio de Toluca, la localidad que le sigue es Metepec con solo 9 unidades médicas, muy de cerca de la ciudad de San Miguel Zinacantepec con 8 unidades médicas, continua San Mateo Atenco con 6, después hay dos localidades que cuentan con 5 unidades médicas estas son Ocoyoacac y Lerma de Villada, la localidad de Villa Cuahutemoc cuenta con 4 unidades médicas; las localidades de San Andrés Cuexcontitlán y Villa de Almoloya de Juárez cuentan son tres unidades médicas cada una; cabe resaltar que la mayoría de las localidades antes mencionadas forman parte de la cabecera municipal de sus respectivos municipios; sin embargo a medida que se alejan de la

zona centro disminuyen el número de unidades médicas, por ejemplo el 11.4%, representado por 11 localidades cuentan con solo dos unidades médicas, y el 42.7%, representado por 41 localidades cuentan solamente con una unidad médica (mapa 5).

Mapa 5: Unidades médicas del sector público en las localidades de la ZMT

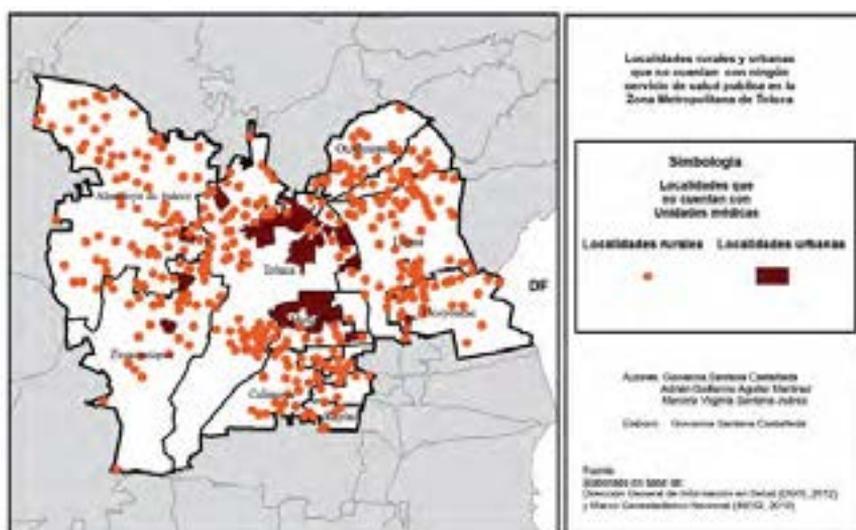


Antes se presentaron las localidades tanto rurales como urbanas que tienen unidades médicas que atiendan las necesidades de salud de la población, sin embargo, es necesario mencionar las localidades que no cuentan con estos servicios.

Con respecto a las localidades rurales, solo el 11.1% (46 localidades y una población de 90 151 personas) cuenta con servicios de salud públicos; lo que quiere decir, que el 88.8% representado por 367 localidades rurales y con una población en total de 255 622 personas no cuentan con ningún servicio médico, siendo estas localidades las de mayor desventaja aunado a que se encuentran lejos de las localidades que si cuentan con dichos servicios, la distancia mínima entre las localidades que no cuentan con servicios de salud y las que sí tienen, es de medio kilómetro y la mayoría se encuentran en el centro y noreste de la ZMT; mientras que la distancia máxima es de 10 kilómetros y la mayoría de las localidades con esta desventaja se encuentran hacia el sur y noroeste de la ZMT.

Con relación a las localidades urbanas, el 63.5% representado por 61 localidades y una población de 1 131 791 personas cuentan por lo menos con una unidad médica, sin embargo el 36.4% correspondiente a 35 localidades y con una población total es de 368 552 personas no cuentan con ningún servicio de salud, todas esas localidades se localizan en la periferia de la región centro de la ZMT, cuya distancia mínima hacia alguna localidad que si tiene servicios de salud es de un kilómetro, en contraparte con la distancia máxima que es de 10 kilómetros semejante al fenómeno que ocurre con las localidades rurales (ver mapa 4).

Mapa 6: Localidades que no cuentan con servicios de salud pública



Los datos obtenidos sobre recursos humanos son a nivel estatal, por lo que no es comparable con los demás factores, sin embargo, cabe mencionar que el Estado de México comparándolo con los demás estados de la República Mexicana, en el año 2009 ocupó el 29° lugar en porcentaje de médicos con 24.2% y 7'779 médicos, mientras que la media nacional fue de 27.5; el 30° de enfermeras con 32.9% y 10'565 enfermeras quedando un poco por debajo de la media nacional que fue de 35.2%; el 30° lugar en trabajo social con un porcentaje de 1.4 y 452 personas mientras que la media nacional es de 2.3%; ocupó el primer lugar de auxiliares con 12.5% y 4'018 quedando por encima de la media que fue de 8.0%; el 7° lugar de administrativos con 12.5% y 4'026 personas por encima de la media nacional que fue de 11.8% ;y ocupó el 31° lugar de personal en intendencia con 3.1% y 992 personas quedando por debajo de la media nacional que fue de 5.8% (tabla 4).

El personal sanitario representa uno de los principales componentes del sistema de salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo define como “toda persona que lleva a cabo tareas que tienen como principal finalidad promover la salud” y ha puesto una cifra mínima de 23 médicos, enfermeras y parteras por cada 10’000 habitantes para prestar servicios esenciales de la salud.

El Estado de México, tenía una población de 14’805,994 habitantes en el año 2009 y como anteriormente se mencionó había una matrícula de 7’779 médicos y 10’565 enfermeras, lo que quiere decir que existían 5.2 médicos y 7.1 enfermeras por cada 10’000 habitantes, lo que hace al sistema de salud deficiente con 17.8 médicos y 15.8 enfermeras faltantes para cubrir el estándar mínimo declarado por la OMS.4.

Tabla de porcentaje de recursos humanos en las unidades médicas, 2009

Porcentaje de recursos humanos en unidades médicas, 2009							
Entidad federativa	Médicos	Enfermeras	Trabajo Social	Auxiliar	Administrativo	Intendencia	Otros
Aguascalientes	25.1	38.6	1.8	6.0	13.8	5.7	9.1
Baja California	27.7	39.6	1.6	4.3	13.6	7.4	5.7
Baja California Sur	23.8	34.9	3.0	8.8	10.1	9.3	10.1
Campeche	27.5	37.0	2.7	7.5	10.4	5.7	9.2
Coahuila	28.2	37.8	1.5	9.1	10.0	4.4	9.0
Colima	29.6	40.0	2.1	5.2	7.9	5.7	9.5
Chiapas	26.4	38.0	2.6	9.9	11.0	4.0	8.1
Chihuahua	28.2	37.5	1.4	8.0	8.9	6.0	10.0
Distrito Federal	28.2	30.7	5.0	6.5	15.5	4.9	9.3
Durango	31.3	34.3	1.9	7.7	13.1	4.2	7.4
Guerrero	29.7	42.3	2.4	7.3	8.7	1.9	7.7
Guerrero	30.1	36.6	2.2	8.2	8.9	5.9	8.1
Hidalgo	28.1	36.8	2.5	8.8	9.5	5.3	9.0
Jalisco	26.8	37.7	2.3	5.7	9.8	9.0	8.7
<b>México</b>	<b>24.2</b>	<b>32.9</b>	<b>1.4</b>	<b>12.5</b>	<b>12.5</b>	<b>3.1</b>	<b>13.5</b>
Michoacán	33.2	35.1	1.6	6.9	6.6	7.0	9.5
Morelos	27.7	38.9	2.2	7.5	8.1	5.9	9.6
Nayarit	33.4	34.9	1.5	6.9	10.6	6.3	6.5
Nuevo León	31.7	34.3	1.4	7.7	8.3	5.2	11.4
Oaxaca	29.9	37.4	1.4	5.8	11.6	3.9	10.1
Puebla	32.0	37.6	1.5	5.9	9.8	4.3	8.8
Quintana Roo	34.0	38.1	2.4	6.5	7.8	6.5	4.8
Quintana Roo	32.7	38.9	3.0	8.5	8.1	4.4	4.3
San Luis Potosí	30.2	34.8	1.9	6.9	5.2	3.6	17.4
Sinaloa	29.7	35.4	2.1	6.5	11.7	5.4	9.3
Sonora	23.4	37.7	2.6	7.7	12.5	9.3	6.8
Tabasco	26.3	32.0	3.5	7.7	11.6	8.9	10.1
Tamaulipas	23.8	34.9	2.3	6.2	14.8	9.0	9.0
Tlaxcala	26.8	35.7	2.7	6.3	12.7	5.5	10.2
Vermont	30.3	35.7	2.4	6.4	11.2	5.5	8.5
Yucatán	27.7	38.8	1.8	5.1	10.8	4.6	11.2
Zacatecas	28.8	38.8	1.6	7.0	10.1	4.0	9.6
<b>Nacional</b>	<b>27.6</b>	<b>36.2</b>	<b>2.3</b>	<b>8.0</b>	<b>11.8</b>	<b>6.8</b>	<b>9.4</b>

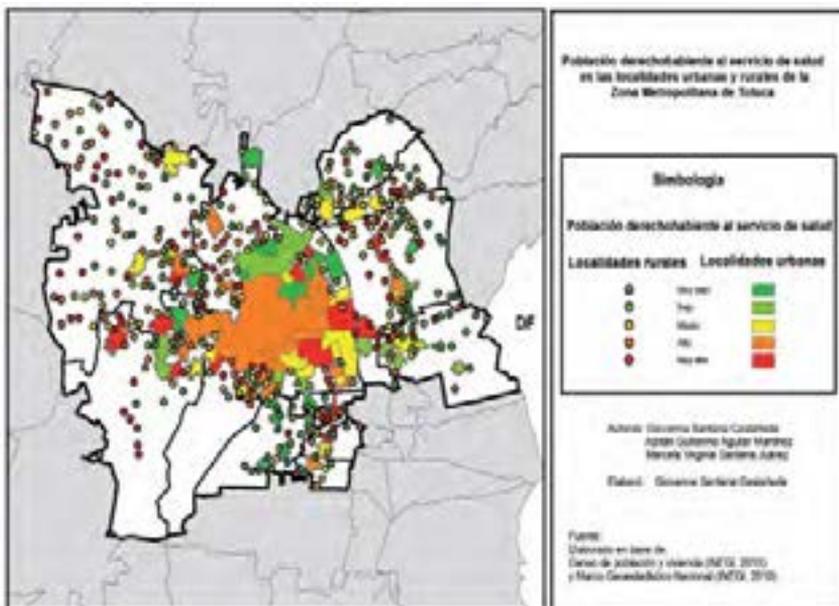
Fuente: INEGI (2009) Anuario estadístico – recursos humanos

## Población Derechohabiente

En el año 2010, según el censo de población y vivienda realizado por el INEGI, el 64.6% de la población es derechohabiente en algún órgano de salud pública como el IMSS, ISSSTE, Seguro popular etc.; los municipios que tienen mayor porcentaje son Chapultepec con 75.8% y Metepec con 70.9%, la mayoría de los municipios cuentan con más del 50% de población derechohabiente, sin embargo los municipios más bajos son Mexicaltzingo con 49.2% y Calimaya con 54.7%.

A un nivel más detallado las localidades urbanas que tienen mayor porcentaje de población derechohabiente son Colonia los Cedros (municipio de Lerma) con 86.6%; Conjunto Urbano la Loma (municipio de Zinacantepec) con 79.8%; Fraccionamiento Colinas del Sol (municipio de Almoloya de Juárez) con 78.6%; mientras que el 7.3% (7 localidades) tienen abajo del 50% de población derechohabiente; las localidades de menores cifras son Santiaguito Tlalcalcali (municipio de Almoloya de Juárez) con 45.8%; San Jerónimo Acazulco (municipio de Ocoyoacac) con 46.1%; y San Lorenzo Cuauhtenco (municipio de Calimaya) con 48.9% (mapa 7).

Mapa 7: Población derechohabiente en la ZMT, 2010.



## Índice de marginación

El análisis de la relación entre la distribución de servicios de salud y las características socioeconómicas de la población contempla el índice de marginación, realizado por la CONAPO en el año 2011 con datos del censo de población y vivienda 2010, de los tabulados del cuestionario básico se obtuvieron la mayoría de los indicadores, y de los tabulados del cuestionario ampliado (muestra censal) se obtuvo la información de ingresos. Los nueve indicadores que se miden son: Población total, porcentaje de población de 15 años o más analfabeta, porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa, porcentaje de viviendas particulares sin excusado, porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica, porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada, promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas, porcentaje de viviendas particulares con piso de tierra, porcentaje de viviendas particulares sin refrigerador.

“La marginación como fenómeno estructural expresa la dificultad para pagar el progreso en el conjunto de la estructura productiva, pues excluye a ciertos grupos sociales del goce de beneficios que otorga el proceso de desarrollo. La precaria estructura de oportunidades sociales para los ciudadanos, sus familias y comunidades los expone a privaciones, riesgos y vulnerabilidades sociales que, a menudo, escapan al control personal, familiar y comunitario, cuya reversión requiere del concurso activo de los agentes públicos, privados y sociales” (CONAPO 2011, pp11).

Las 96 localidades urbanas con las que cuenta la ZMT están distribuidas en grado de marginación alto (con 22 localidades que representan un 22.9%), medio (con 22 localidades que representan 22.9%), bajo (con 35 localidades que representan 36.4%) y muy bajo (con 17 localidades que representan 17.7%), por lo que la mayoría de estas localidades ocupan un grado de marginación bajo, a pesar de ello existen porcentajes elevados en los grados de marginación alta y media. Por otra parte las localidades rurales resultan más inequitativas, mientras que en las localidades urbanas no existe el grado de marginación muy alto, las localidades rurales ocupan 3.8% con 16 localidades; y el grado de marginación alto casi concentra la mitad de las localidades rurales con el 47.4% y 196 localidades; para los demás grados que son: medio ocupan 22.5% y 93 localidades; bajo con 14.2% y 59 localidades y el grado de muy bajo ocupa un 5.8% con 24 localidades; sin embargo



de salud, entre otros.

Las instituciones dedicadas a la salud o a los derechos humanos sostienen que la salud es un derecho fundamental y de toda la población, sin embargo el Estado crea normas en las que no contemplan a las localidades con menor población, ni la dispersión, lejanía o cercanía al próximo centro de salud, por lo tanto existe un mínimo de población que justifica un servicio médico.

La localización de los servicios públicos de salud primarios en la ZMT presenta desigualdades tanto en localidades rurales como urbanas; siendo que la mayoría de ellos se concentran en el centro del municipio de Toluca o en la parte centro de la ZMT.

Por otra parte las localidades que no cuentan con servicios de salud pública se localizan distribuidas en todos los municipios que conforman la ZMT; ello incide en la salud de la población, toda vez que cuenta la lejanía la centro de la región o bien a la próxima localidad que si cuenta con centros de salud.

En la ZMT se presentan diferencias notables en relación a la marginación, puesto que en la mayor parte de las localidades rurales la marginación es muy alta y alta; pero también gran parte de las localidades urbanas registran marginación alta y media, y el grado de marginación influye notablemente en la salud y en la calidad de vida de la población.

El derecho a la salud no significa derecho a gozar de buena salud, ni tampoco que los gobiernos de países pobres tengan que establecer servicios de salud costosos para quienes no disponen de recursos. Significa que los gobiernos y las autoridades públicas han de establecer políticas y planes de acción destinados a que todas las personas tengan acceso a la atención de salud en el plazo más breve posible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arentze, T. Borgers, A y Timmermans, H. (1992). "Geographical information systems, accessibility and multipurpose travel: anew measurement approach" Ed. EGIS'92. Third European Conference on geographical information systems munich, pp. 348-450.

- Gatrell A. (1983). "Distance and space: a geographical perspective". Oxford, Clarendon Press.
- Garrocho C. (2008), "Análisis socioespacial de los servicios de salud: accesibilidad, utilización y calidad" ed. El colegio mexiquense: sistema para el desarrollo integral de la familia del estado de México.
- Pickenhayn J. (2009) "Salud y enfermedad en geografía" Ed. Lugar editorial, pp. 67-100.
- Jensen-Butler (1999). "Cities in competition: Equity issues", Ed. Urban Studies, pp. 865-891.
- Bosque Sendra J., Moreno Jiménez A. (2004) "Sistemas de localización geográfica y localización de instalaciones y equipamientos" Ed. RA-MA, pp. 17-51.
- Olivera, A. (1993). Geografía de la salud, Madrid, Síntesis, pp. 93-119.
- Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007): "Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005", México, Ed. SEDESOL/ CONAPO / INEGI, pp. 26-90.
- Dirección General de Información en Salud (DGIS). Base de datos de unidades médicas del sector público (en operación, %%%, 2012). [en línea]: Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS). [México]: Secretaría de Salud. <<http://www.sinais.salud.gob.mx>> [Consulta: 25 de febrero de 2013].
- Derecho a la salud, Organización Mundial de la Salud (Noviembre de 2012). [en línea]: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs323/es/>> [Consultada el 04 de marzo de 2013]
- Sistema normativo de equipamiento urbano, tomo II salud y asistencia social, [en línea] [http://www.issste.gob.mx/transparencia/rendicion/anexos\\_ampliacionhospitalaria/Anexo%20II.pdf](http://www.issste.gob.mx/transparencia/rendicion/anexos_ampliacionhospitalaria/Anexo%20II.pdf) (1999).

- Manual de Seguimiento y Evaluación de los Recursos Humanos para la Salud (2013); Organización Mundial de la Salud [http://www.who.int/hrh/workforce\\_mdgs/es/index.html](http://www.who.int/hrh/workforce_mdgs/es/index.html).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013); [en línea] <http://www.inegi.org.mx/>:
  - Secretaría de Desarrollo Social (2013), [en línea] <http://www.sedesol.gob.mx/>
  - Consejo Nacional de Población (2013), [en línea] <http://www.conapo.gob.mx/>
  - Secretaria de Salud (2013), [en línea] <http://www.sinais.salud.gob.mx/>

# *Sistemas de información geográficas aplicados en salud líneas de investigación*

Gustavo D. Buzai, Claudia A. Baxendale, Nicolás Caloni, María del Rosario Cruz, Hugo Delfino, Gimena Mora y Noelia Principi

## **Resumen:**

La estandarización completa de las metodologías geográficas cuantitativas en el ambiente computacional finalizó al comenzar el siglo XXI. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) presentan desarrollos que sintetizan procedimientos centrales del análisis espacial. En este contexto la Geografía de la Salud ha sido una de las líneas de investigación con mayores posibilidades de aplicación en el estudio de distribuciones espaciales de características poblacionales, enfermedades y la oferta de servicios orientados a la atención de la población.

Se presenta un panorama global y actualizado de la relación entre SIG y Geografía de la Salud como marco para la presentación de diferentes ejemplos de resultados obtenidos de una década de trabajo. Los resultados obtenidos apoyan el proceso de toma de decisiones en investigación, planificación y gestión en aspectos espaciales de la salud.

**Palabras clave:** Geografía de la Salud / Geografía Médica / Geografía de los Servicios Sanitarios / Análisis Espacial / Geografía Aplicada.

## **Abstract:**

The complete standardization of geographical quantitative methodologies in computing environment ended at the beginning of the XXI century. The using of Geographic Information Systems (GIS) and Spatial Decision Support Systems (SDSS) present developments that synthesize core spatial analysis procedures.

In this context Geography of Health has been one of the research lines with the greatest potential for applications in the study of spatial distributions of population

characteristics, disease and offer services geared to the attention of the population. We present a comprehensive and updated overview of the relationship between Geographical Information Systems and Geography of Health as a framework for the presentation of different examples of results of a decade of work. The results support the decision making process in research, planning and management in spatial aspects of health.

**Keywords:** Health Geography, / Medical Geography / Geography of Health Services / Spatial Analysis / Applied Geography

---

**Gustavo D. Buzai** (Director); **Claudia A. Baxendale**; **Nicolás Caloni**; **María del Rosario Cruz**; **Hugo Delfino**; **Gimena Mora** y **Noelia Principi**. Universidad Nacional de Luján, Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Argentina. ([www.gesig-proeg.com.ar](http://www.gesig-proeg.com.ar)), ([gesig-proeg@unlu.edu.ar](mailto:gesig-proeg@unlu.edu.ar)).

## INTRODUCCIÓN

Hace tres décadas hemos comenzado a recorrer un camino que concluyó con la estandarización completa de las metodologías geográficas cuantitativas en el ambiente computacional.

La Geografía como ciencia generó metodologías y técnicas que brindaron sustento al desarrollo de las tecnologías geoinformáticas y ellas son utilizadas ampliamente para lograr la resolución de problemas socioespaciales (Buzai y Baxendale, 2011 y 2012). De estas tecnologías sobresalen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE).

En este contexto, de acuerdo al trabajo de Gatrell (2003), la Geografía de la Salud ha sido una de las líneas temáticas que ha podido tener mayor receptividad en el uso de tecnologías geodigitales basadas en la cuantificación. Ha incorporado un amplio espectro de metodologías para el estudio de las distribuciones y asociaciones espaciales entre enfermedades y condiciones sociales (Geografía Médica), y de las localizaciones e interacciones entre la población y los centros de atención (Geografía de los Servicios).

La presente ponencia tiene como objetivo presentar, en estos dos grandes bloques temáticos, la línea de investigación en Geografía de la Salud desarrollada en el Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) de la Universidad Nacional de Luján.

## EL ALCANCE TEMÁTICO

La temática se vincula de forma general al estudio de la salud formado por cuatro dimensiones (Howe, 1985): (1) biología humana, (2) ambiente, (3) forma de vida, y (4) sistema de asistencia médica.

De acuerdo con las tendencias actuales la Geografía como ciencia ligada al uso de las nuevas tecnologías geoinformáticas puede brindar utilidad principal en dos de estas dimensiones.

La dimensión 2 definiría el campo de la Geografía Médica la cual pone acento en la definición clásica de la relación hombre-medio, principalmente se ana-

lizan aquellas cuestiones del entorno que afectan la salud de la población.

La dimensión 4 definiría el campo de la Geografía de los Servicios de Salud considerando los centros de atención médica como puntos de oferta distribuidos entre la población de demanda.

Ambas dimensiones, ligadas a las líneas de abordaje temático, son las que comprenden el campo de la Geografía de la Salud (Olivera, 1994). Por lo tanto es de esperarse que ambas líneas tengan una importante autonomía en sus modelos de problemas y, al mismo tiempo, en los métodos aplicados para encontrar soluciones.

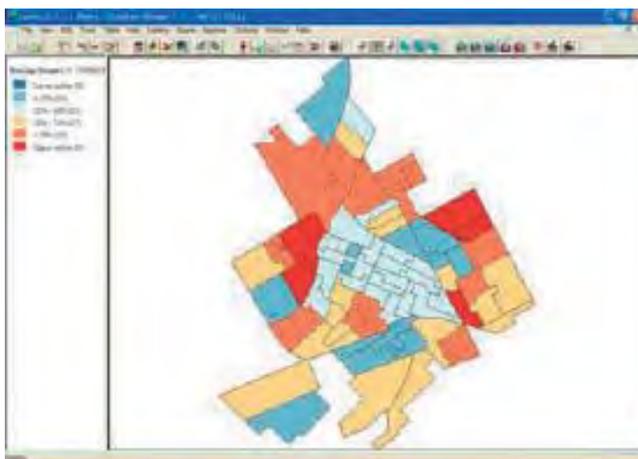
## **APLICACIONES EN GEOGRAFIA MÉDICA**

La aplicación de SIG+SADE en estudios de Geografía Médica son amplios y variados. Para el estudio de distribuciones puntuales se incluye el análisis de tendencia central o el cálculo de densidades kernel con la consiguiente capacidad de superposición temática. Para el estudio de distribuciones areales se incluye el análisis multivariado por cartografía temática, el análisis bivariado y trivariado dentro del análisis exploratorio de datos espaciales (ESDA), búsqueda de correspondencia por superposición cartográfica y técnicas de evaluación multicriterio. Procedimientos de clasificación multivariada en la búsqueda de áreas homogéneas, áreas de concentración espacial, análisis de autocorrelación espacial global y local, y la aplicación de métodos de regresión múltiple y simple ajustada geográficamente.

Los procedimientos aplicados en los proyectos de GESIG (Buzai, 2007a, 2007b, 2009 y 2013; Cruz, 2012) son los siguientes:

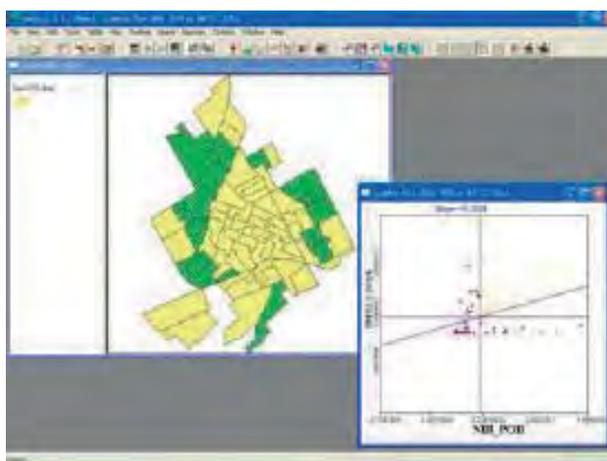
Aplicación del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) en el estudio de la distribución espacial univariada de enfermedades.

Figura 1: Luján. Box-map de enfermedades infecciosas



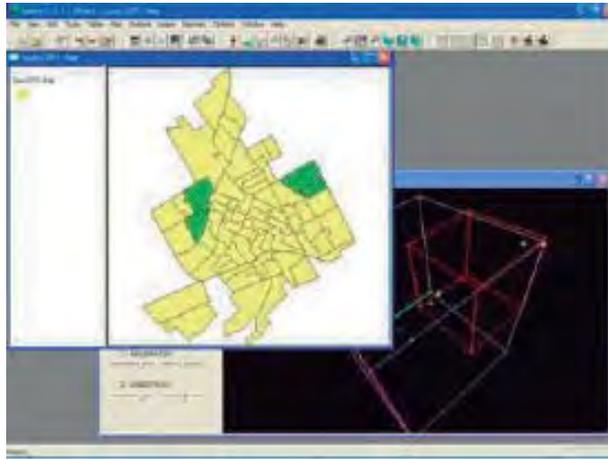
Aplicación del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) en el estudio de la distribución espacial bivariada de enfermedades con características sociales.

Figura 2. Luján. Distribución espacial de la selección del cuadrante ++



Aplicación del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) en el estudio de la distribución espacial trivariada de enfermedades.

Figura 3. Luján: Configuración espacial de la selección enfermedades: Infecciosas (x) - Respiratorias (y) - Digestivas (z)



Aplicación del Análisis de Autocorrelación Espacial en el estudio de la distribución espacial trivariada de enfermedades

.Figura 4. Luján. Autocorrelación espacial de enfermedades infecciosas

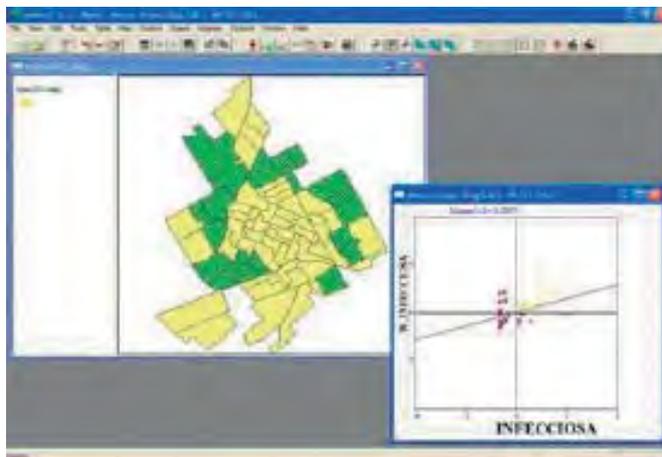


Figura 5. Test de aleatoriedad en la autocorrelación espacial

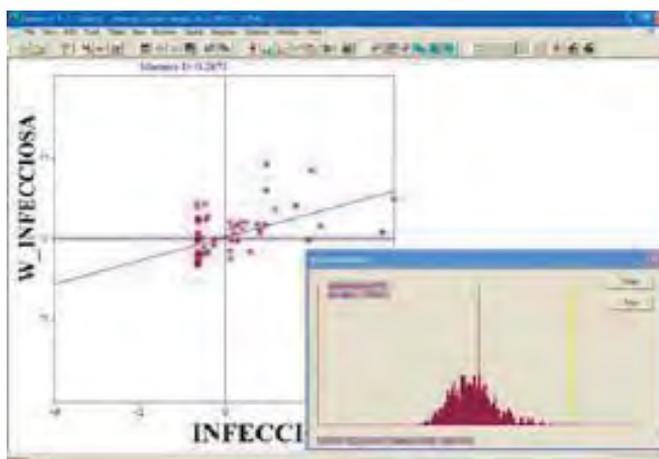
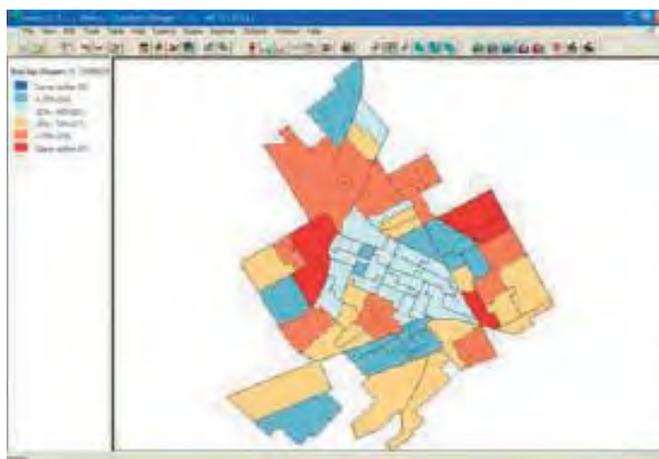
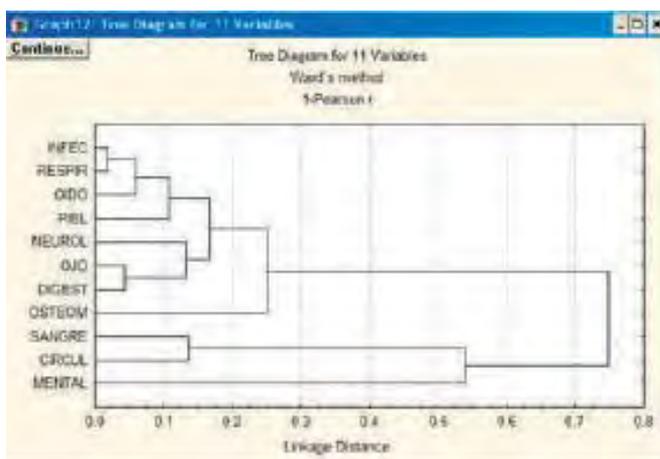


Figura 6. Luján. Cálculo de LISA y áreas de cúmulos



Aplicación del análisis multivariado en la correlación de diagnósticos para la determinación de agrupamientos a partir de los comportamientos espaciales comunes.

Figura 7. Dendrograma del agrupamiento de variables



## APLICACIONES EN GEOGRAFÍA DE LOS SERVICIOS DE SALUD

La aplicación de SIG+SADE en estudios de Geografía de los servicios de salud están orientados hacia aplicaciones de gran especificidad. Se incluyen las aplicaciones en evaluación multicriterio en la búsqueda de sitios candidatos para localizar nuevas instalaciones y el uso de modelos de localización-asignación que permiten evaluar la eficiencia y equidad espacial que produce cada una de ellas en el sistema espacial. Asimismo se encuentran aquí los análisis basados en la red, como los de áreas de influencia y caminos óptimos.

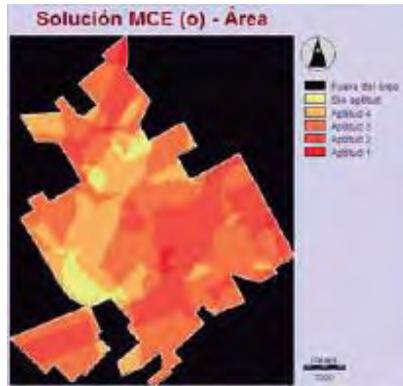
Los procedimientos aplicados en los proyectos de GESIG (Buzai, 2007a, 2007b, 2009, 2011, 2012 y 2013; Cruz, 2013) son los siguientes:

Aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio para la determinación de sitios candidatos para la localización de nuevos centros de atención de salud.

Figura 8. Luján. Resultado de riesgo mínimo



Figura 9. Luján. Resultado de riesgo creciente



Resultados por combinación lineal ponderada con mayor peso hacia la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)

Figura 10. Ponderación por ranking recíproco: CAPS (3), Colectivos (2), Hidrografía (4), Población con NBI (1). Orientación hacia las zonas de pobreza.

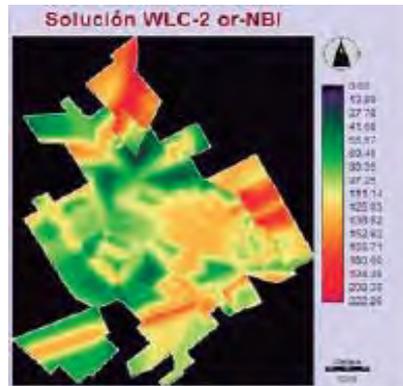
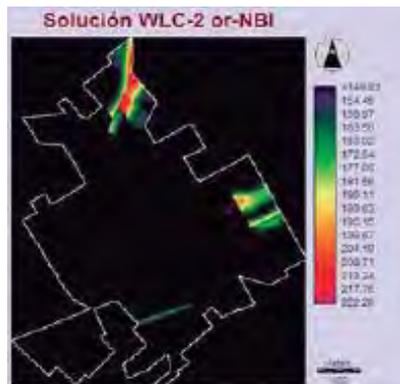


FIGURA 11. Resultado 10 con restricción. Representación con valores superiores a 150 puntos



Resultados por localización multi-objetivo a partir del cual se obtiene un mapa con posibilidades diferenciadas.

Figura 12. Resultado que combina orientaciones al NBI y a las vías de comunicación



Aplicación de análisis de distancia para para la determinación de áreas de influencia de centros de atención de salud a partir de la distribución espacial real.

Figura 13. Cálculo de áreas de influencia sin restricción

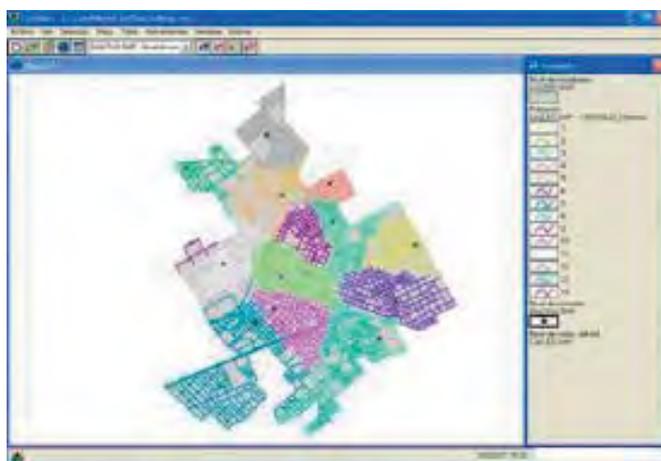
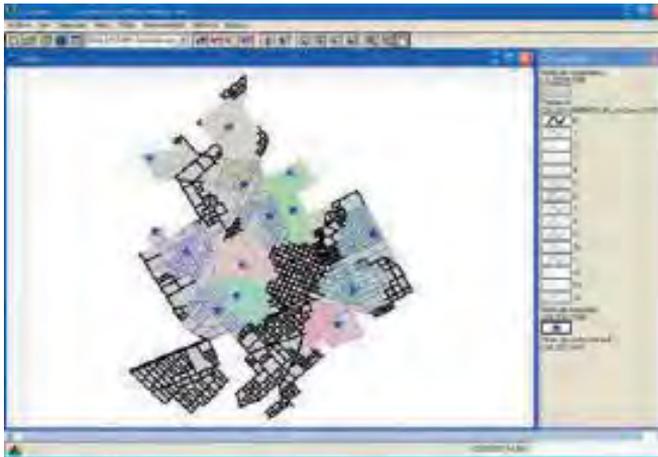


Figura 14. Cálculo de áreas de influencia con restricción de 1000 metros

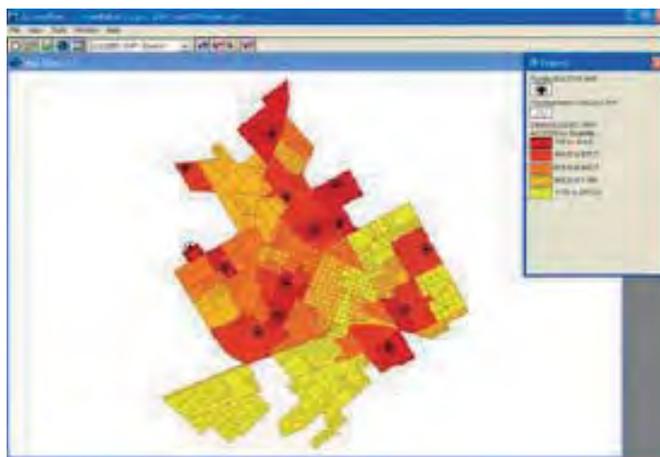
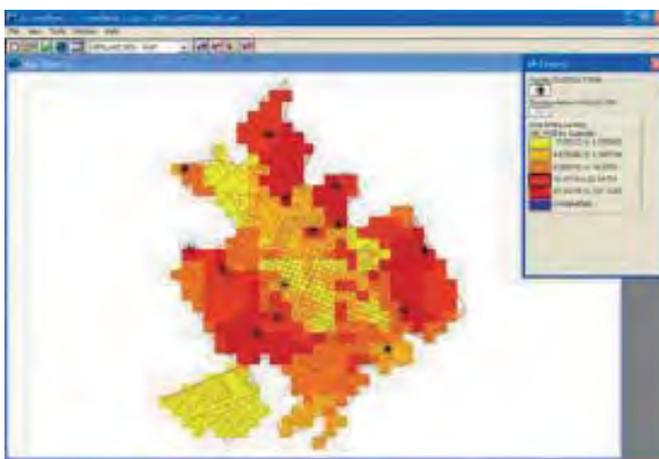


Aplicación de análisis de accesibilidad de la población hacia los centros de atención de salud a partir de la distribución espacial real.

Figura 15. Accesibilidad de la población total por distancia Manhattan



Aplicación del análisis de accesibilidad a partir del cálculo de densidades kernel.

Figura 16. Distribución de la población total – método *Kernel*  $r = 1000$ Figura 17. Distribución de la población con NBI – método *Kernel*  $r = 1000$ 

Aplicación de modelos de localización-asignación para la determinación de nuevos centros de atención de salud.

Figura 18. Luján. Áreas de influencia de los CAPS



Figura 19. Luján. Asignación de demanda potencial a los CAPS



## CONSIDERACIONES FINALES

La Geografía de la Salud es actualmente uno de los campos de estudio de mayor dinamismo al incorporar con claridad las tecnologías geoinformáticas y con ello obtener importantes resultados de aplicación.

Su división interna en Geografía Médica y Geografía de los Servicios de salud le ha permitido clasificar eficientemente sus diferentes metodologías y lograr una muy correcta especificidad en cada aplicación. En el presente trabajo se ha presentado una variedad de posibilidades.

En la primera línea están los estudios correspondientes a la distribución de enfermedades a través del análisis univariado realizado a través de cartografía temática, el análisis bivariado a través del ESDA y el análisis de autocorrelación espacial. En la segunda, para el estudio de la localización de centros de atención se aplican técnicas de evaluación multicriterio en la búsqueda de sitios candidatos y modelos de localización-asignación en la determinación de sitios.

Conociendo la imposibilidad de agotar el tema, los ejemplos presentados, realizados en investigaciones del GESIG han intentado presentar una gran variedad de aplicaciones realizadas en la temática.

La Geografía de la Salud, a través de las actuales tendencias en Geografía Aplicada, contribuye para que los conceptos geográficos centrales puedan hacerse operativos en la búsqueda de soluciones socioespaciales. Las tecnologías digitales basadas en la cuantificación se encuentran disponibles para apoyar su logro.

## BIBLIOGRAFIA

- Buzai, G.D. 2007a. *Geografía de la Salud en la ciudad de Luján*. Cuadernos de Trabajo 24. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Luján. Luján.
- Buzai, G.D. (ed.) 2007b. *Métodos cuantitativos en Geografía de la Salud*. Programa de Estudios Geográficos. Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G.D. 2009. *Sistemas de Información Geográfica en Geografía de la Salud*. En: J.A. Pickenhayn (ed.) *Salud y enfermedad en Geografía*. Lugar Editorial. Buenos Aires. pp. 111-134.
- Buzai, G.D. 2011. Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos. Análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS) en la ciudad de Luján, Argentina. *Cuadernos de Geografía / Revista*

*Colombiana de Geografía*. 20(8):111-123.

- Buzai, G.D. 2012. Identificación de sitios para localización de nuevos centros de atención primaria de salud: aplicación para la ciudad de Luján, Argentina. *Hygeia*. 8(15):201-202.
- Buzai, G.D. 2013. *Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de la salud*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- 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.
- Cruz, M.R. 2012. *Geografía de la Salud en el medio urbano. Diagnóstico socioespacial y morbilidad asistida en la ciudad de Luján*. Editorial Académica Española. Saarbrücken.
- Cruz, M.R. 2013. *Análisis de la distribución espacial de los servicios de salud de la Dirección de Asistencia Social y Medicina Integral de la Universidad Nacional de Luján. Propuesta de alternativa locacional fundada en los conceptos de eficiencia y equidad espacial*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Lanús. Lanús.
- Gatrell, A. 2002. *Geographies of Health*. Blackwell. London.
- Howe, G.M. 1985. *La Geografía Médica*. En: E.H.Brown (comp.) *Geografía, pasado y futuro*. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 392-405.
- Olivera, A. 1994. *Geografía de la Salud*. Síntesis. Madrid.

# *Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario*

Delgado Omar, Martínez Julia

## **Resumen:**

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, consiente de la presencia de un alto número de vehículos, acompañado por las actividades diarias cotidianas que involucran el comercio, la industria, el turismo, acciones que han hecho que las emisiones de ruido vayan en aumento; repercutiendo directamente en la salud de la población, plantea un estudio para conocer el estado de las emisiones de ruido en la ciudad, para lo cual suscribe con la Universidad del Azuay un convenio cuyo propósito es la elaboración del mapa de ruido.

El estudio metodológicamente partió con la determinación de los sitios de muestreo sobre la base de la densidad de tráfico, luego se registraron las mediciones de ruido ambiente y posteriormente se sistematizó y evaluó la información levantada a través del método estadístico “kriging ordinario”, con lo cual se elabora el mapa de ruido de la ciudad. Adicionalmente se realizaron comparaciones con los parámetros establecidos en la reglamentación nacional señalada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria –TULAS- para emisiones sonoras, evaluando el comportamiento de los mismos.

Los valores de los registros del monitoreo, superan los límites del TULAS, este hecho está vinculado al incremento del número de vehículos que circulan por el centro de la ciudad, así como las actividades diarias cotidianas que involucran el comercio, el turismo.

**Palabras clave:** Mapa/ Ruido/ kriging/ ambiente/ TULAS/.

## **Abstract:**

The Decentralized Autonomous Government Municipal of Cuenca, aware of the presence of a high number of vehicles, accompanied by daily activities involving trade, industry, tourism, actions that have made noise emissions increase their levels, directly affecting health of the population, proposes a project to raise the noise emissions status of the city, for which it subscribes, with the University of Azuay an agreement whose purpose is the development of a noise map.

Methodologically the activity started with the determination of the sampling sites, based on traffic density, the information gathered was systematized and evaluated through the use of the statistical method "ordinary kriging", which elaborated the noise map of the city. Additionally, comparisons were made with the parameters set by national regulations, such as the Unified Text of Secondary Environmental Legislation TULAS-for-noise emissions, evaluating its behavior.

Emissions values exceed the limits of the TULAS regulation, this fact is related to the increased number of vehicles on the city center, as well as the daily activities involving trade, tourism.

**Keywords:** Map/ Noise/ kriging/ environment/ TULAS/.

---

**Delgado Omar** (odelgado@uazuay.edu.ec); **Martínez Julia** (jumartinez@uazuay.edu.ec).  
Universidad del Azuay

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, identificada como emisiones al aire, ha ido en incremento en la ciudad de Cuenca, por causas que se le atribuyen sobre todo al tráfico. De acuerdo con estudios realizados y datos levantados por la empresa EMOV EP de la Municipalidad de Cuenca, se estima que el parque automotor del cantón Cuenca al año 2009 ascendió a 101 128 unidades (EMOV EP, Inventario de emisiones atmosféricas, 2009, p 18).

Entre las emisiones al aire, está el ruido, del mismo se estima que el 70% de las emisiones sonoras provienen de los vehículos motorizados (Usbeth Platzer M, Medición de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Chile, 2007), seguido por la industria, comercio, turismo, entre otros. Al ruido se lo ha considerado como un contaminante del ambiente y de la salud, ya que puede dañar el oído humano y afectar su estado psicológico, repercutiendo en el grado de confort de la ciudadanía y por ende en la calidad de vida.

Ante la problemática presentada, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca (GAD), a través de la Comisión de Gestión Ambiental – CGA-, emprende en la realización del estudio para determinar el grado de contaminación sonora en la ciudad, para lo cual cuenta con el apoyo de la Universidad del Azuay, quien prepara una propuesta de Elaboración del Mapa de Ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca, el mismo que se acuerda realizar a través de la suscripción de un Convenio que permita su ejecución.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general es contar con información suficiente que permita conocer la realidad del ruido ambiental en el área urbana de Cuenca, para que, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca pueda considerar y tomar las decisiones necesarias para el control de la contaminación acústica en la ciudad.

Los objetivos específicos son:

- Elaborar un mapa de ruido para el área urbana de la ciudad de Cuenca.
- Contar con un diagnóstico general de la contaminación acústica en Cuenca.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Puntos de muestreo

Se parte de la identificación de los puntos de muestreo, los cuales se establecieron sobre la base de la información de la densidad de tráfico existente en la ciudad, se tomaron en consideración factores como el tráfico vehicular, características físicas de las vías, seguridad de la zona para mantener los equipos e instrumental necesario para el levantamiento de datos, asimismo, se coordinó con el equipo técnico de la Comisión de Gestión Ambiental –CGA-, para establecer de manera conjunta los puntos de muestreo necesarios y que engloben o abarquen el área urbana de la ciudad. (Mapa 1).

Mapa 1.- Puntos de monitoreo de ruido vs. Densidad de tráfico



Elaborado por: Equipo técnico del IERSE – UDA

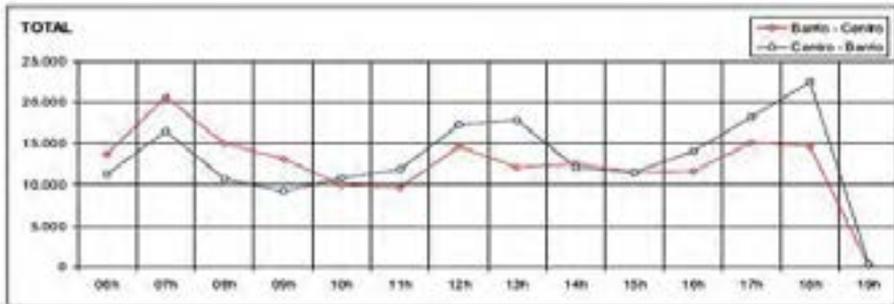
Para el área urbana de la ciudad de Cuenca se identificaron 30 puntos de muestreo, como se puede observar en el mapa anterior.

#### 3.2 Características de la medición

**Determinación del horario.-** Sobre la base del estudio realizado para el Sistema Integrado de Transporte y que fuera realizado por la Unidad Municipal de Trán-

sito y Transporte (UMT) (PADECO 1999), en el cual se establecen las frecuencias de entrada y salida de la población hacia y fuera de la zona céntrica, se determinaron los puntos picos críticos en donde se presenta el mayor flujo tanto de personas como de vehículos, como se puede observar en el siguiente gráfico (Figura 1):

Figura 1.- Frecuencia de entrada y de salida de la población desde y hacia la zona urbana de Cuenca



Fuente: Estudio del Sistema Integrado de Transporte – UMT

De acuerdo al gráfico anterior, en el cual se determinaron las horas picos de afluencia de personas y vehículos, se estableció el siguiente horario de levantamiento de datos (Tabla 1):

Tabla 1.- Horario de muestreos

N° de muestreos por punto	1	2	3	4	5	6
Horario	7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00

Elaborado por: Equipo técnico del IERSE - UDA

**Método de medición.**- En la legislación ecuatoriana se cuenta con el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS), en el Libro VI, Anexo V, en la cual se establecen los “Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y para vibraciones”. Para las mediciones se siguieron las indicaciones establecidas en la citada norma y se realizaron durante treinta días, considerando un día por cada punto a levantar, incluidos los fines de semana y feriados. El período de toma de datos fue de 15 minutos en cada estación durante el horario indicado anteriormente (tabla 1).

**Datos obtenidos.**- Para cada punto de medición se registró el nivel de presión sonora promedio ( $L_{avg}$ ), el nivel de presión sonora máximo ( $L_{máx}$ ) y el nivel de presión sonora mínimo ( $L_{mín}$ ).

**Equipo utilizado.**- Para el levantamiento de datos se contó con el equipo proporcionado por la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca – CGA-, el mismo que consta de:

- Sonómetro QUEST TECHNOLOGIES SERIAL N°. BKG030036
- Porta micrófono
- Micrófono
- Pantalla rompe vientos
- Tira sujetadora de sonómetro
- Memory stick de 2 GB marca Sandisk

### 3.3 Cartografía de base

Como línea de base se partió de la generación de mapas temáticos para:

- Ubicación de los puntos de muestreo
- Límite urbano de la ciudad de Cuenca
- Parroquias urbanas de la ciudad
- Usos de suelo de la ciudad

### 3.4 Registro de mediciones

Se creó una base de datos con la información de las emisiones de ruido que se levantaron en los distintos puntos de muestreo.

### 3.5 Métodos de interpolación

Contando con la información levantada, para la generación del mapa de ruido se utilizaron las herramientas de análisis geoestadístico del programa ArcGIS 9.3.

Se determinó sobre la base de la interpolación de los datos obtenidos en los monitoreos de ruido, el comportamiento e influencia que tienen las emisiones de ruido en el territorio urbano de Cuenca. Para el efecto se utilizó el método geoestadístico “Kriging ordinario”.

**3.5.1 Kriging ordinario.**- Es un método basado en la auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado, que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos, asume que la media aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias, permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. (Moreno, 2010).

### Predecir el ruido de un lugar con el método del kriging ordinario

El modelo del kriging ordinario es:  $Z(s)=\mu+\varepsilon(s)$ . El modelo está basado en una media constante de los datos ( $\mu$ ), (variable estacionaria) que no tienen tendencia y en unos errores  $\varepsilon(s)$  con dependencia espacial. La predicción de un lugar es:  $\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i)$ , donde  $\hat{Z}(s_0)$  es el valor pronosticado de un lugar,  $\lambda_i$  es un peso desconocido que tenemos que calcular para cada valor observado y  $z(s_i)$  es el valor observado en un lugar. El valor estimado se diferenciará lo menos posible del valor observado, esa diferencia se llama error de estimación. (Moreno 2010).

El procedimiento a seguir es:

#### Cálculo de distancias

Calcular las distancias entre puntos usando la fórmula de la distancia euclidiana:

$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  la semivarianza empírica aplicando la fórmula  $\gamma_{0.5} = \frac{1}{n} \sum_{i,j} [(valor\ del\ lugar\ i - valor\ del\ lugar\ j)^2]$ . (Moreno 2010).

#### Ajuste de modelo

Ajustar el modelo esférico al semivariograma empírico y así obtenemos el valor de la meseta (still) y del alcance (range) con los cuales podemos calcular los valores del semivariograma teórico. Este proceso lo hemos realizado mediante el Analista Geoestadístico, obteniendo los siguientes valores:  $\theta_s = 70.5$ ,  $\theta_r = 6000$ . Con ellos y aplicando la fórmula del modelo esférico donde se van calculando distintos valores de gamma para las diferentes distancias del semivariograma empírico, obtenemos los valores de semivariograma teórico. Así, construimos la matriz de los  $\gamma$ :  $\gamma_{ij}$  será la semivarianza teórica entre el punto i y el punto j.

La suma de los pesos sea igual 1:  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ . Condición que luego deberá ser verificado.

### Obtención de la inversa de la matriz $\Gamma$

Para hallar los pesos  $\lambda_i$  hay que calcular la matriz inversa de la matriz  $\Gamma$ :

$$\Gamma * \lambda = g \quad \lambda = \Gamma^{-1} * g$$

La matriz inversa de una matriz A, es otra matriz  $A^{-1}$  de manera que  $A * A^{-1} = I$  donde  $I$  es la matriz identidad (la diagonal principal son todos unos y el resto de elementos son ceros). Sólo tienen inversa las matrices que tienen determinante distinto de cero. Dada una matriz  $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$  el número  $a*d - b*c$ , a ella asociado recibe el nombre de determinante de A y se denota  $|A|$ . (Moreno 2010).

Para hallar la inversa de la matriz  $\Gamma$  (y de cualquier matriz) se siguen los siguientes pasos:

- a) Se calcula el determinante de la matriz (si éste fuera cero no hay inversa).
- b) Se calcula la matriz adjunta de la matriz  $\Gamma$

### Cálculo del vector g

Calcular el vector g. Hallamos la distancia entre los puntos vecinos que se hayan establecido y el punto que se va a interpolar (lo llamamos punto 0). Utilizaremos para ello la fórmula de la distancia euclidiana. Calculadas las distancias determinamos los valores de la semivarianza teórica (valores de  $\gamma$ ), correspondientes a estas distancias aplicando el ajuste del modelo esférico cuyos parámetros (meseta y alcance) hemos obtenido mediante el Analista Geoestadístico.

Se añade el valor de 1 para verificar la condición de que  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ ; al multiplicar la matriz gamma por el vector de los pesos, el vector resultante tiene como último elemento  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  que coincide con el último elemento del vector g que es 1, verificándose así la condición requerida.

## Obtención de los pesos

Hallar los pesos:  $\lambda = \Gamma^{-1} * g$

Comprobamos que la suma de los pesos  $\lambda_i$  es igual a 1:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n = 1$$

## Realizar la predicción

Para ello aplicamos la fórmula  $\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i)$ . Siendo  $\hat{z}(s_0)$  el valor de la predicción del punto;  $z(s_i)$  es el valor de la predicción media anual en el punto i.

## 4 RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Diagnóstico de la situación actual

- **Zonificación según usos del suelo del TULAS**

En el Libro VI, Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) se consideran seis tipos de zona según uso del suelo, para el establecimiento de límites permisibles de contaminación sonora. (Ver tabla 2):

Tabla 2.- Límites permisibles según el TULAS

	Zona / Uso del suelo	Nivel de presión sonora (NPS) eq (dB(A))	
		06h00 - 20h00	20h00 - 06h00
1	Zona hospitalaria y educativa	45	35
2	Zona residencial	50	40
3	Zona residencial mixta	55	45
4	Zona comercial	60	50
5	Zona comercial mixta	65	55
6	Zona industrial	70	65

Fuente. Texto unificado de legislación ambiental - TULAS

En el análisis se distinguen dos períodos de medición, el diurno que comprende el horario desde las 06h00 hasta las 20h00 horas y el nocturno que abarca el período desde las 20h00 a las 06h00 horas.

La ciudad de Cuenca ha sufrido cambios vertiginosos en los últimos años sin que esta particularidad se evidencie en reformas oportunas en las ordenanzas de uso y ocupación del suelo urbano.

Las ordenanzas que establecen las determinantes de suelo son construidas como parte de un modelo de ciudad a futuro, sin que ello signifique que durante el transcurso de su elaboración se consideren temas como: salud, dinámicas económicas, composición de la población, por citar algunos ejemplos. En este sentido, los puntos de monitoreo fueron clasificados considerando las posibles afecciones a la salud del conglomerado humano que habita la zona de estudio, los equipamientos emplazados en el sitio, la dinámica del entorno, y; como referencia, el uso de suelo vigente.

Con la información levantada en las inspecciones realizadas a los sitios de muestreo, al analizar las dinámicas propias de las zonas circundantes a los sitios de muestreo se ha asumido para el presente estudio la siguiente clasificación de las zonas, en función de lo estipulado en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) (Tabla 3).

Tabla 3.- Zonificación de acuerdo al TULAS

Nº	Punto medido (sector)	Clasificación según el TULAS	Nº	Punto medido (sector)	Clasificación según el TULAS
R_01	Estadio	Comercial	R_16	Via a Simcaay (Miraflores)	Residencial
R_02	Gapal	Residencial mixta	R_17	El Cebollar	Residencial
R_03	Aeropuerto	Comercial	R_18	Hospital del IESS	Hospitalaria
R_04	Tres Puentes	Residencial mixta	R_19	Plaza Bocatti	Residencial mixta
R_05	Fruilados (Remigio Crespo)	Comercial mixta	R_20	Col. Sagrados Corazones	Educativa
R_06	Hospital regional	Hospitalaria	R_21	Feria libre	Comercial mixta
R_07	Chanlubamba	Residencial	R_22	Estación de servicio Trinita (Isabel La Católica)	Educativa
R_08	Lagunas de oxigenación	Residencial	R_23	Indorama	Residencial mixta
R_09	Monumento a la familia	Residencial	R_24	Control Star	Residencial mixta
R_10	Graiman	Industrial	R_25	ETAPA (Gran Colombia)	Comercial
R_11	Camal	Industrial	R_26	Cristo Rey	Residencial
R_12	Camino a Ochoa León	Residencial	R_27	Chola Cuencana	Comercial mixta
R_13	La Libertad	Residencial mixta	R_28	Vin Baños	Residencial
R_14	Los Cerczos Alto	Industrial	R_29	Bajada del Centenario	Comercial mixta
R_15	Camino al Tejar	Residencial mixta	R_30	Totoracocha	Residencial

Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE –UDA

A continuación se detalla el análisis de la información obtenida en las distintas zonas de la ciudad y que fue levantada en el horario descrito anteriormente; por cada zona se presentan los valores obtenidos y el nivel sonoro en comparación con la normativa ambiental.

#### 4.1.1 Zona comercial

La zona comercial la integran los puntos localizados en los sectores: estadio, aeropuerto y el cenáculo, cercano al del edificio de ETAPA-EP, calle Gran Colombia y Tarqui (Tabla 4).

Tabla 4.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas comerciales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_01	Estadio	Del Estadio	José Peralta	72,5	73,2	73,2	72,6	72,7	67,2
R_03	Aeropuerto	Av. España	Elia Liut	69	71,7	74,1	70,5	74,5	69,6
R_25	Cenáculo	Tarqui	Gran Colombia	74,1	69,8	72,2	68,4	69,3	66,6

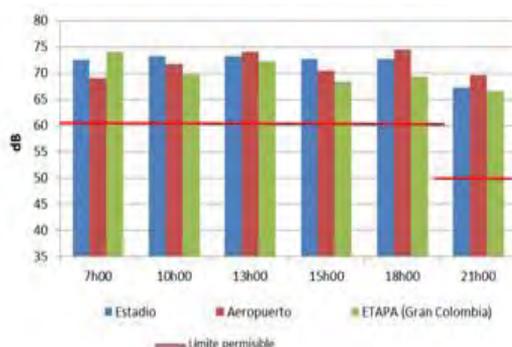
Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** En relación con el período de medición diurno, ninguno de los sitios de monitoreo localizados en la zona comercial cumplieron con los límites estipulados en la norma técnica (véase gráfico correspondiente a la zona comercial).

El punto menos ruidoso en horas de la mañana fue el sector del aeropuerto, a pesar de que a esa hora la terminal aérea registra un importante movimiento. Esta situación cambia para las horas de la tarde, en donde se presentan los niveles de ruido más elevados respecto a los otros sectores evaluados (74,1 decibeles). El único punto de medición que mantiene niveles constantes de ruido durante el día fue el sector del estadio con un promedio de 72,84 decibeles. En esta misma zona, el horario de las 10h00 y 13h00 horas registran niveles iguales de ruido (73,2 decibeles).

Durante el día, el horario de las 13h00 horas fue el más ruidoso, registrando con 73,17 decibels en promedio. Durante el período nocturno, todos los sitios sobrepasaron el umbral señalado por la norma (50 dB) a pesar de la disminución significativa de tráfico vehicular en las zonas.

Figura N° 2.- Presión sonora – Zona comercial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

#### 4.1.2 Zona comercial mixta

La zona comercial mixta la integran los puntos localizados en los sectores: feria libre, avenida Remigio Crespo, redondel de la Chola Cuencana y la bajada del Centenario (véase tabla 5).

Tabla 5.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas comerciales mixtas

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones: Layg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_05	Frutidos	Remigio Crespo	Ricardo Muñoz	71,9	72,2	72,4	72,3	76	70,6
R_21	Feria libre	Av. de las Américas	Remigio Crespo	74,5	74,6	73,1	72,3	72,9	71,4
R_27	Chola Cuencana	Av. Huayna Cápac, Av. España	Gaspar Sangurima	73	79,5	74	74,3	71,4	67,6
R_29	Bajada del Centenario	Calle Larga	Benigno Malo	75,2	74,2	74,4	73,5	74,3	66,1

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.**- La zona comercial mixta abarcó cuatro sitios de monitoreo y las mediciones fueron realizadas en horarios diurno y nocturno. En el período de medición diurno, ninguno de los sitios de monitoreo establecidos cumplen con la normativa de ruido (véase gráfico correspondiente a la zona comercial mixta).

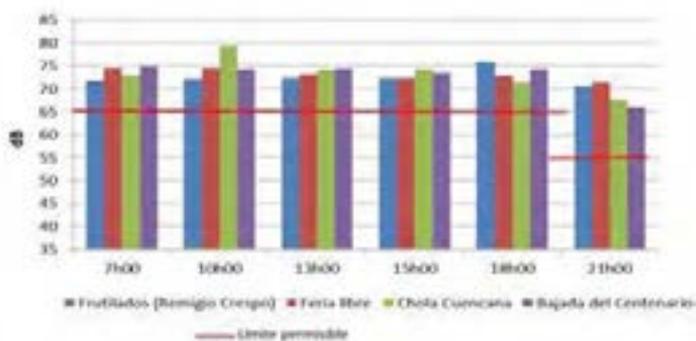
El sitio menos ruidoso en horas de la mañana lo constituyó la zona de la avenida Remigio Crespo, en tanto que el punto con mayor presión sonora fue el de la Chola Cuencana. Éste último llegó a registrar 79,5 decibels a las 10h00 horas, 14,5 decibels por encima del umbral permitido para este tipo de zonas (65 dB).

Debido a la dinámica del sector, la zona de la avenida Remigio Crespo (Fru-tilados) incrementa paulatinamente su presión sonora desde la mañana, llegando a registrar 76 decibels en horas de la tarde (18h00 horas). Esta particularidad solo se presenta en este sitio y en ese período de tiempo.

Producto de las mediciones diurnas, el sector de la Chola Cuencana registra la mayor presión sonora con 74,44 decibels promedio, seguida muy de cerca por el sector conocido con el nombre de la “Bajada del Centenario” con 74,32 decibels promedio durante el día. El horario de las 10h00 horas es considerado como el de mayor ruido con mediciones promedio de 75,13 decibels.

En relación con las mediciones nocturnas, todos los sitios monitoreados sobrepasan el límite de 55 decibels fijado en la normativa (TULAS). El sector de la feria libre registra los mayores valores de ruido urbano sobrepasando los 70 decibels y excediendo en 6,4 decibels el límite permitido (55 dB).

Figura 3.- Presión sonora – Zona comercial mixta



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

### 4.1.3 Zona educativa y hospitalaria

La zona educativa y hospitalaria la integran los puntos localizados en los sectores en donde se asientan equipamientos estratégicos como son: Hospital regional, hospital del IESS, colegio Sagrados Corazones y el sector de la gasolinera Trinití ubicada en la calle Lope de Vega (Tabla 6).

Tabla 6.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas educativas y hospitalarias

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_06	Hospital regional	Paseo Cañaris	Pumapungo	66	66,8	66,5	67,4	73,2	64,2
R_18	Hospital del IESS	Circunvalación Norte	Mouay Paccha	74	71,9	77,9	72,7	72,2	74,8
R_20	Col. Sagrados Corazones	Paseo Tres de Noviembre	Simón Bolívar	78,2	75,2	75,3	73,1	77,3	77,3
R_22	Estación de servicio Trinití	Lope de Vega	Gaspar de Jovellanos	63,9	60,2	60,8	60,6	59,7	59,2

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** Para la zona educativa y hospitalaria se consideraron cuatro mediciones, de las cuales dos se localizan en áreas con infraestructura hospitalaria de gran afluencia. Ninguno de los cuatro sectores evaluados se ubicó dentro de lo establecido en la norma para el período diurno y nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona educativa y hospitalaria).

El sector del hospital regional y el sector del colegio Sagrados Corazones demuestran interesantes similitudes, en ambos casos, están presentes infraestructuras educativas y equipamientos de salud. En ambos sitios se sobrepasa los límites de ruido permitidos. En las primeras horas de la mañana (7h00), el sector del colegio Sagrados Corazones registró los mayores valores de ruido ambiental (78,2 decibeles) en relación con el resto de puntos, presumiblemente por el ingreso de los estudiantes a este establecimiento educativo.

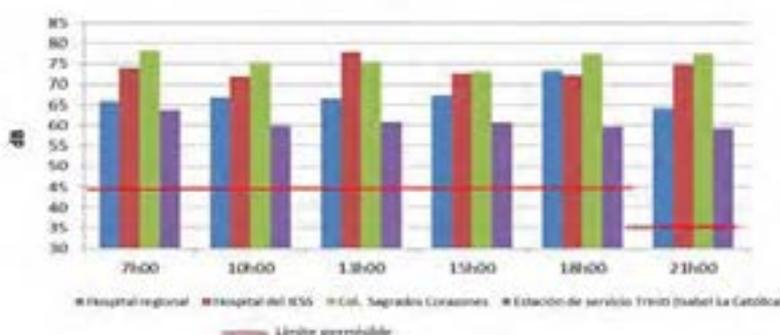
El comportamiento del ruido en el sector del hospital regional se mantiene

constante durante la mañana siendo en horas de la tarde en donde se incrementan los niveles sonoros, llegando a registrar hasta 73,2 decibeles, 28,2 decibeles sobre el límite estipulado en la normativa (45 dB).

Como resultado de las mediciones diurnas, el sector del colegio Sagrados Corazones se presenta como el más ruidoso con 75,82 decibeles promedio durante el día. El sector de la estación de servicio Trinití refleja los niveles de ruido más bajos, en promedio, 61,04dB durante el día.

En el período nocturno la situación lejos de mejorar se agrava pues en el punto del colegio Sagrados Corazones se sobrepasa la normativa con 42,3 decibeles. Similar situación se observa en el sector del hospital del IESS en donde los valores medidos sobrepasan en 39,8 decibeles el límite estipulado en el TULAS de 35 decibeles.

Figura 4.- Presión sonora – Zona hospitalaria y educativa



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

#### 4.1.4 Zona industrial

La zona industrial la integran los puntos localizados en los sectores: parque industrial (Graiman), el camal y los Cerezos Alto (véase tabla 7). Si bien los Cerezos es considerado dentro del estudio como una zona industrial mixta, para fines del diagnóstico se la considera como industrial (Tabla 7).

Tabla 7.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas industriales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Lavg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_10	Graiman	Octavio Chacón	Carlos Tosi Siri	75,4	75,5	73,2	77	72,9	71,7
R_11	Camal	Camino Ochoa León		55,3	56,7	69,9	62,1	61,8	62,8
R_14	Los Cerezos Alto	De los Cerezos		70,2	62,3	70,8	76,3	72,5	64

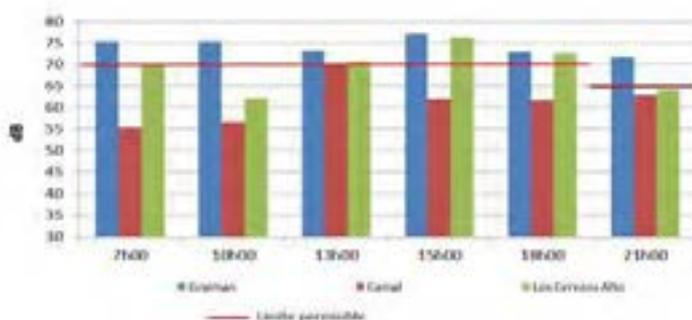
Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona industrial contempló tres sitios de monitoreo abarcando horarios diurnos y nocturnos de medición.

En general el nivel sonoro de la zona industrial se podría considerar como aceptable (véase gráfico correspondiente a la zona industrial). El único lugar que no sobrepasó los niveles permitidos en el período diurno (70 dB) ni nocturno (65 dB) fue el sector del Camal.

La zona en donde se emplaza Cerámicas Graiman es el lugar más ruidoso de los sitios evaluados, registrando un promedio de 74,28 decibeles en las seis mediciones. En este mismo punto, las 15h00 horas registran el nivel de ruido más alto con 77 decibeles.

Figura 5.-Presión sonora – Zona industrial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

### 4.1.5 Zona residencial

La zona residencial la integran los puntos localizados en los sectores: Chau-llabamba, Lagunas de Oxigenación de ETAPA, monumento a la familia, Miraflores, El Cebollar, Cristo Rey, vía a Baños, Totoracocha y camino a Ochoa León (Tabla 8).

Tabla 8.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas residenciales

Código	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones L <sub>avg</sub> (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_07	Chaulabamba	Autopista Cuenca Azogues	Triángulo de Chaulabamba	77,4	72,6	75,3	75,1	72,9	70,6
R_08	Lagunas de Oxidación	Camino a Paccha	Ucubamba	80,7	77,1	76,5	76,8	76,5	74,9
R_09	Monumento a la familia	Av. González Suarez	Panamericana Norte	72,5	75,3	71	70,2	72,3	60,3
R_12	Camino a Ochoa León	Camino a Ochoa León	Vía a Checa	36,6	55,6	45,9	57,1	49,8	49,7
R_16	Vía a Simincay (Miraflores)	Julio Jaramillo	Vía a Simincay	74,1	68,8	62,9	63,6	65,6	67,4
R_17	El Cebollar	Av. del Chofer	Av. Abelardo J. Andrade	69,4	72,2	76,2	72,5	73,6	55,5
R_26	Cristo Rey	Luis Cordero	Juan de Salinas	67,4	67,3	67,4	61	65,3	56,5
R_28	Vía Baños	Juan Larrea Guerrero	Mariano Villalobos	63,8	64	57,6	65,9	55,9	48,1
R_30	Totoracocha	Totoracocha	Av. el Cóndor	65,6	65,6	64,1	67,9	66,8	64

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona residencial abarcó nueve sitios de monitoreo con mediciones realizadas en horarios diurno y nocturno, la mayoría de los sitios evaluados no cumplen con los límites de ruido establecidos en la normativa, únicamente el sector de Ochoa León presenta tres de las seis mediciones por debajo del umbral de los 50 decibeles, para el período diurno y 40 decibeles para el nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona residencial).

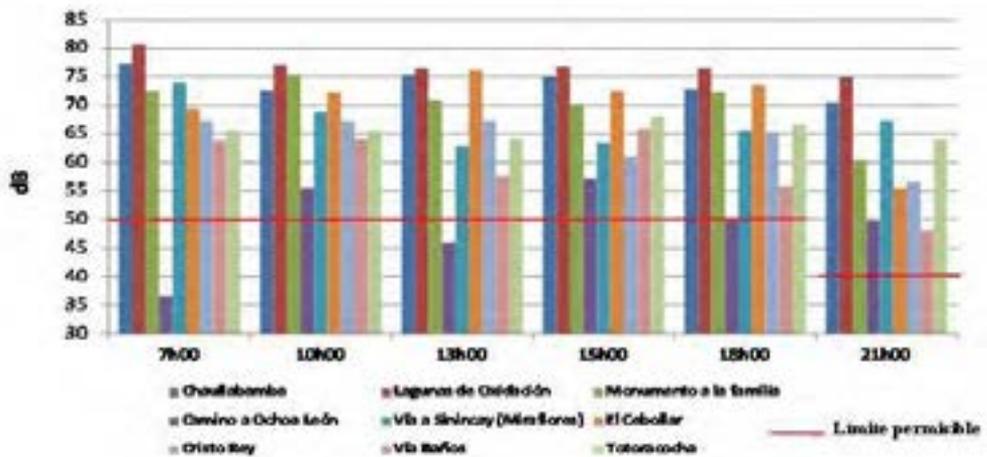
El sitio que reportó el mayor nivel de ruido en todos los horarios de medición fue el punto localizado en las lagunas de oxigenación de ETAPA-EP, con un promedio general de 77,08 decibeles, 27,08 decibeles por encima de la norma.

Otro de los puntos que llama la atención y que registra elevados niveles de ruido es el sector de Chaulabamba, con 74,66 decibeles promedio durante el día. A pesar de que el sitio cuenta con amplios espacios abiertos que en teoría ayudarían

a disminuir los niveles de presión sonora, es uno de los más elevados, lo que indica que la zona está sometida a una fuerte presión sonora. Se evidencia la necesidad de analizar más detenidamente las posibles fuentes de ruido, fijas y móviles.

El sitio con menores niveles de ruido registrado durante el día fue el sector de Ochoa León con un promedio de 49 decibels; el horario de las 7h00 es el que registra el menor valor con 36,6 decibels. Para el período nocturno, este punto también registra los niveles más bajos con 49,7 decibels. A pesar de estar sometidos a la dinámica urbana y los niveles de presión sonora urbana, los sectores de Miraflores, el Cebollar y Cristo Rey presentan niveles de ruido inferiores a los registrados en los puntos de Chaullabamba y las lagunas de oxigenación, considerados como puntos en áreas periféricas y de espacios abiertos.

Figura 6.- Presión sonora – Zona residencial



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

El punto que mayor ruido registra en el horario nocturno fue el de las lagunas de oxigenación con 74,9 decibeles, 24,9 decibeles por encima del límite establecido en el TULAS. Este valor se considera sumamente elevado en relación con las mediciones registradas en los otros puntos.

#### 4.1.6 Zona residencial mixta

La zona residencial mixta la integran los puntos localizados en los sectores: Gapal, Tres Puentes, La Libertad, camino al Tejar, Plaza Bocatti, control sur e Indurama (véase tabla 9).

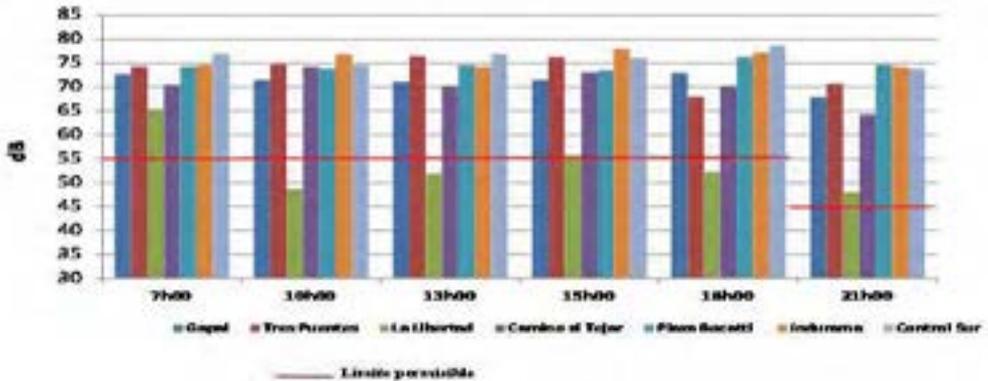
Tabla 9.- Valores (dB) promedio correspondientes a las mediciones de ruido en zonas residenciales mixtas

Codigo	Sector	Calle 1	Calle 2	Mediciones Layg (dB)					
				7h00	10h00	13h00	15h00	18h00	21h00
R_02	Gapal	Av. 24 de mayo	Las Herrerias	72,7	71,5	71,1	71,5	73	67,9
R_04	Tres Puentes	Primero de Mayo	Fray Vicente Solano	74,3	74,8	76,5	76,3	68	70,7
R_13	La Libertad	Av. Ordoñez Lazo	Rio Calebrillas	65,4	48,7	52	55,7	52,3	48
R_15	Camino al Tejar	Av. Ordoñez Lazo	Camino al Tejar	70,5	74,3	70,2	73,1	70,2	64,3
R_19	Plaza Bocatti	Paseo de los Cañaris	González Suarez	74,3	73,9	74,6	73,5	76,3	74,7
R_23	Indurama	Av. de las Américas	Don Bosco	74,6	76,9	74,3	78	77,2	74,2
R_24	Control Sur	Av. de las Américas	Circunvalación Sur	77	74,6	76,9	76,1	78,7	73,9

Fuente: Información generada en el proyecto

**Nivel de presión sonora.-** La zona residencial mixta abarcó cuatro sitios de monitoreo con mediciones realizadas en horarios diurno y nocturno.

Figura 7.- Presión sonora – Zona residencial mixta



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

Casi todos los sitios evaluados no cumplen con los límites de ruido establecidos, únicamente el sector La Libertad presenta cuatro de las seis mediciones por debajo del umbral de los 55 decibeles para el período diurno y 45 decibeles para el nocturno (véase gráfico correspondiente a la zona residencial mixta).

En promedio, el horario que denota mayor presión sonora es el de las 7h00 horas, registrando valores de 72,7 decibeles, 17,7 decibeles por encima de lo estipulado en la normativa (55 dB). Los horarios de las 7h00 y 15h00 horas presentan en promedio niveles de ruido similares con más de 72 decibeles en ambos casos.

El sector de los Tres Puentes soporta un nivel de ruido promedio de 73,43 decibeles, superando en 18,43 decibeles el límite establecido. Esta situación estaría influenciada en gran manera por los cuellos de botella vehiculares que se generan en el sector sobre todo durante el día.

**Síntesis.-** Se puede observar que en los distintos puntos muestreados, ya sea con la zonificación realizada que tomó como base la ordenanza de uso y ocupación del suelo, así como la que incorpora además criterios de las dinámicas de cada sector, sobre la base de inspecciones realizadas, indican emisiones sonoras elevadas, que por lo general están sobre la norma establecida por el Texto Unificado de Legislación Ambiental.

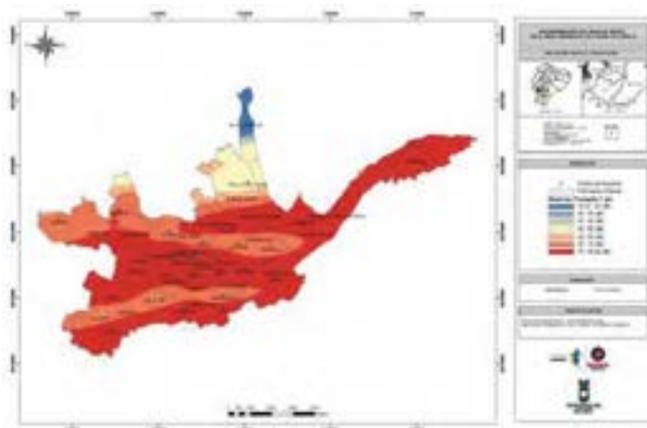
## 4.2 Resultados del método de interpolación

Con la información levantada y posteriormente sistematizada se realizaron las interpolaciones correspondientes, aplicando el método geostatístico denominado “Kriging”, cuyo procedimiento de aplicación fue descrito en un acápite anterior.

### 4.2.1 Mapas generados

Los mapas generados con la utilización del Kriging en seis horarios: 7h00, 10h00, 13h00, 15h00, 18h00 y 21h00, son los siguientes:

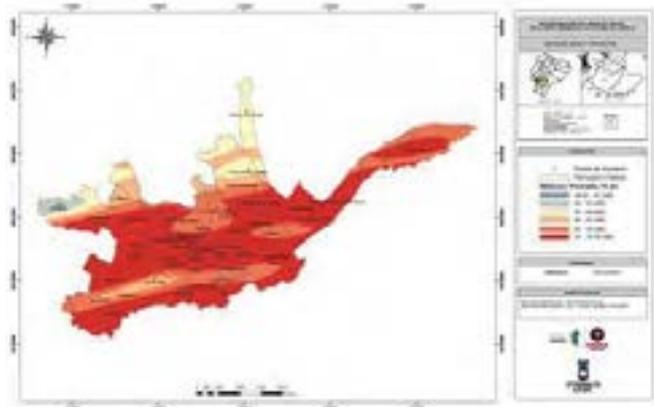
Mapa 2.- Medición de ruido en el horario 7h00



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 7h00, en la ciudad de Cuenca se presentan emisiones sonoras que van desde un mínimo de 36,83 dB a un máximo de 80,58 dB.

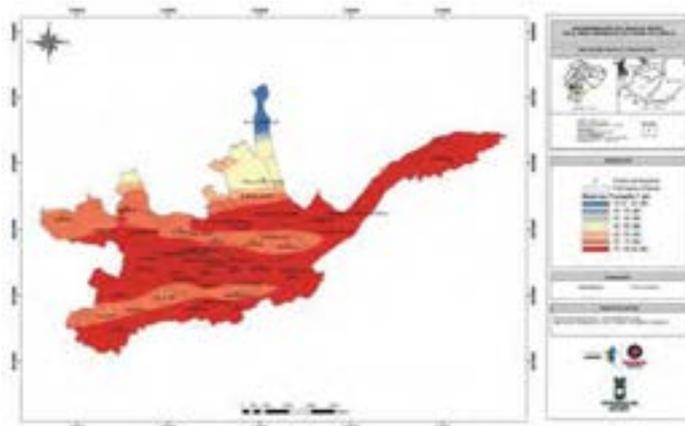
Mapa 3.- Medición de ruido en el horario 10h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 10h00 el mínimo valor de emisión está por el orden de los 49,06 dB y un máximo de 79,38 dB.

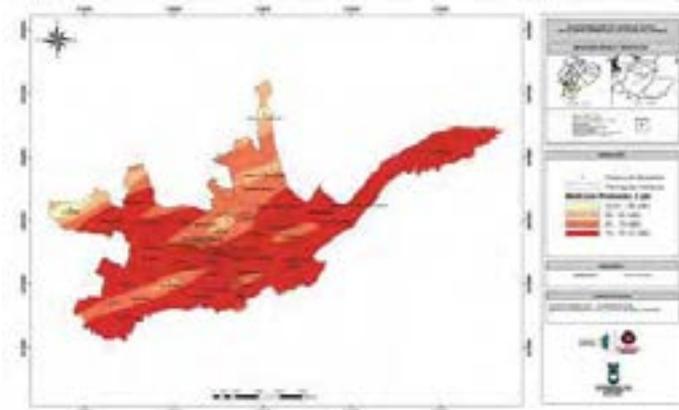
Mapa 4.- Medición de ruido en el horario 13h00



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

En el presente mapa se representan los valores mínimos en color azul con (45,98 dB) en tanto que se presenta un máximo en color rojo que llega a (77,93 db).

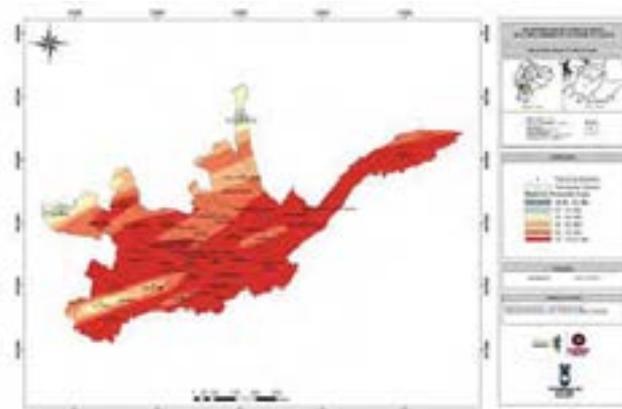
Mapa 5.- Medición de ruido en el horario 15h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

Para el horario de las 15h00 se parte de una emisión mínima de 56,81 dB hasta un máximo de 76,33 dB.

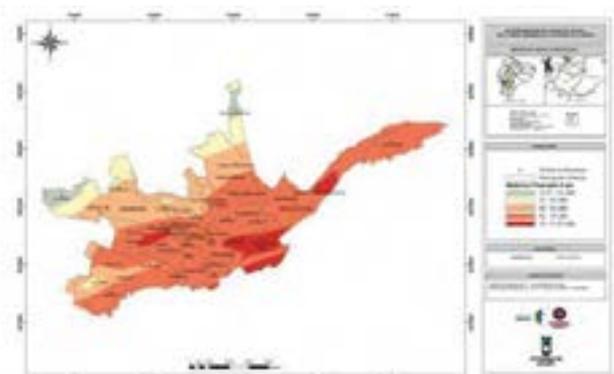
Mapa 6.- Medición de ruido en el horario 18h00



Elaborado por: Equipo Técnico del IERSE -UDA

Para las 18h00 la emisión sonora varía desde un mínimo de 49,98 dB, hasta un máximo de 78,64 dB.

Mapa 7.- Medición de ruido en el horario 21h00



Elaborado por el equipo técnico del IERSE -UDA

En el horario de las 21h00, la emisión sonora mínima es de 51,67 dB hasta un máximo de 71,67 dB.

En los mapas generados se pueden observar los niveles de contaminación sonora que se presenta en la Ciudad, en los horarios comprendidos entre las 7h00 y las 18h00, existen emisiones altas de ruido en todo el centro urbano de la ciudad; en tanto que a las 21h00, éstas bajan, sin embargo zonas como la de las lagunas de oxigenación de ETAPA, el sector del redondel de la Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle, el sector de Indurama mantienen emisiones por sobre la norma del TULAS, durante todo el día.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca a través de la Comisión de Gestión Ambiental necesita contar con información que demuestre el grado de contaminación acústica existente en el área urbana de Cuenca, para lo cual se ha partido de la determinación de sitios de mayor conflictividad en relación con la presencia de tráfico vehicular, lo cual combinado a la presencia de industria, comercio, vivienda, han dado lugar a establecer de manera estadística el nivel de emisiones sonoras.

Se determinaron 30 puntos de monitoreo que formaron una red que cubre

el área urbana de Cuenca, en estos puntos se realizaron los muestreos correspondientes. Se tomó como referencia para comparar los límites de las emisiones, la ley existente a nivel nacional como es el Texto Unificado de Legislación Ambiental. Los valores levantados obtenidos in situ, de acuerdo con su ubicación y uso de suelo demuestran que las emisiones de ruido, están sobre las normas en la mayor parte de los puntos analizados tanto en el día como en la noche, lo cual es un indicador que requiere especial atención e intervención con el propósito de disminuir o controlar para que estas emisiones no sigan subiendo.

Se debe dejar constancia que por motivos del presente estudio, los puntos determinados fueron en vías principales, en donde existe la presencia de un tráfico alto, en tanto que queda pendiente realizar estudios en vías secundarias con menor afluencia vehicular.

En relación al método utilizado para el modelamiento se utilizó el denominado método **Kriging ordinario**, el cual está basado en auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos, el mismo asume que la media aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias, permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. (Moreno 2010).

Del modelamiento realizado se han podido localizar los sitios en donde se presenta una mayor presión sonora a lo largo del día, observándose manifestaciones permanentes en sitios como son: autopista Cuenca – Azogues, control sur, sector de Indurama. En los restantes sitios la manifestación sonora varía de media a alta, determinándose que las emisiones de ruido son estables en la ciudad a lo largo de todo el día.

El 99% de los puntos no cumplen los límites permisibles de ruido ambiental establecido en el TULAS. La presión sonora sobre zonas escolares y hospitalarias según los datos del estudio es alarmante y sugiere la necesidad de plantear políticas que logren revertir esta situación.

Los niveles de ruido percibidos en sectores residenciales son igualmente preocupantes según la norma del TULAS, sobre todo si las zonas son consideradas como de reposo y descanso para las personas. Las dinámicas comerciales y la in-

fraestructura presente en cada sector estarían influenciando de manera significativa en los niveles sonoros en cada punto.

## 5.2 Recomendaciones

Organizar el transporte público en la ciudad, para lo cual se deberá diseñar un sistema de movilidad pública que garantice la disminución de emisiones sonoras, producto de la circulación vehicular, así como el planteamiento de políticas de movilidad, tomando como base el mapa de ruido generado.

Promover un programa de educación vial para los transportistas y los usuarios, de tal manera que se optimice el uso de las paradas.

Se recomienda tomar en consideración la importancia de la valoración del ruido en los procesos de planificación urbana, la necesidad de incrementar los espacios verdes y masas arbóreas como barreras naturales que mitiguen la contaminación acústica, asimismo incluir en los diseños de las vías a las ciclovías que llevarían a contar con un tipo de movilidad alternativa sin contaminación.

Educar a los propietarios de comercios y a los conductores de vehículos particulares, en el uso de equipos sonoros y bocinas.

Controlar las emisiones generadas por los establecimientos comerciales e industriales, para que sobre la base de tecnologías disminuyan la contaminación de ruido.

La Comisión de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Cuenca al contar con la información del mapa de ruido y una vez que se implemente la propuesta de monitoreo permanente podrá emprender en estudios complementarios que relacionen las emisiones sonoras con la salud de la población, con la densidad del tráfico vehicular, etc.

Asimismo deberá emprender en la realización de mediciones periódicas en otros puntos de monitoreo, en donde las densidades de tráfico sean menores, a fin de establecer comparaciones y tendencias.

Elaborar una normativa local sobre las emisiones de ruido, que garantice la paz pública y la salud de la población, siendo necesario también realizar una

revisión de la normativa nacional TULAS, a fin de establecer los límites de las emisiones sonoras de acuerdo a cada territorio y sobre todo tomando en consideración las dinámicas de cada población o asentamiento humano. La normativa local permitirá realizar una mejor correspondencia entre los usos de suelo evaluados en el TULAS y el uso y ocupación del suelo regulado vía ordenanza local.

Con el propósito de mejorar la calidad de los monitoreos es necesario realizar labores de reconocimiento de la zona a levantar. Esta rutina contempla la observación de particularidades locales como rutina de la gente, flujos comerciales, fuentes potenciales de ruido y tipo de ruido a ser percibido. Los trabajos emergentes realizados sobre las vías podrían alterar las mediciones de la zona evaluada por lo que se deberá tomar las mediciones a una distancia adecuada del foco principal de ruido o redistribuir el itinerario en caso de ser factible.

El número de mediciones necesarias en un punto variará en función del tipo de ruido presente en la zona y las condiciones ambientales del lugar. Si el ruido es fluctuante la mayor parte del tiempo (presencia de ruidos esporádicos o silbido del viento por ejemplo), el tiempo de estabilización del equipo será mayor. De igual manera, si existen ruidos esporádicos fuertes como el paso de una ambulancia o un accidente de tránsito, será necesario volver a medir el sitio.

Es indispensable mejorar el control y cumplimiento de la ordenanza que regula y controla la ocupación de las vías públicas por los vehículos motorizados dentro del cantón Cuenca y el funcionamiento del Sistema de Estacionamiento Rotativo Tarifado y el parqueo indebido (SERT), parte de los problemas de ruido están ligados al embotellamiento vehicular de ciertas zonas producto de la carga y descarga de vehículos fuera del horario permitido.

Si bien la ley de tránsito y transporte en el capítulo V. Art. 191, fija los límites de velocidad urbanos para transporte liviano, público y de carga, no fue sino hasta el 25 de julio de 2012 que el reglamento general para su cumplimiento fue aprobado. Por esta razón es imperativo que los futuros análisis de ruido urbano tengan en cuenta esta consideración sobre todo si se compara con monitoreos anteriores a esa fecha.

Se recomienda tomar en consideración la importancia de la valoración del ruido en los procesos de planificación urbana, la necesidad de incrementar los es-

pacios verdes y masas arbóreas como barreras naturales contra la contaminación acústica.

### Agradecimiento:

Especial reconocimiento a los siguientes profesionales: Ing. Nathaly Cerdillo, Ing. Esteban Balarezo, Ing. Chester Sellers que formaron parte del equipo técnico que elaboró el presente proyecto.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. *En Texto Unificado de Legislación Ambiental* (pág. 13). Quito.
- Organización Mundial de la Salud. (2012). OMS. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de <http://www.who.int/es/>
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad. *Otorrinolaringología*(67), 122-128.
- Fundación Natura; CUENCAIRE; Comisión de Gestión Ambiental;. (2009). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2007*. Técnico, Ilustre Municipalidad de Cuenca, Cuenca.
- González, A. E., Gaja, E., Jorysz, A., & Torres, G. (2000). Monitoreo de ruido urbano: determinación del tiempo mínimo de muestreo en la ciudad de Montevideo, Uruguay. *Acústica*, 6.
- Ibarluzea Maurologoitia, J., Larrañaga Padilla, I., & Aspuru Soloaga, I. (2004). Percepción del ruido por la población residente en el entorno de la bahía de Pasaia. *Salud Ambiental*, 61-69.
- Krauss, F. (2003). *Metodología para la evaluación del ruido por tráfico vehicular en zonas urbanas*. Universidad Santiago de Chile. Santiago: Universidad Santiago de Chile.
- Londoño, C. A. (2009). Diseño de la red de vigilancia de ruido para los municipios que conforman el área metropolitana del valle de Aburrá. *Revista Ingeniería*

*ías Universidad de Medellín, 22-38.*

- Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. En Texto Unificado de Legislación Ambiental (pág. 13). Quito. Ministerio del Ambiente. (2003). Libro VI Anexo 5 De la Calidad Ambiental. *En Texto Unificado de Legislación Ambiental* (pág. 13). Quito.
- Morán, C. J. (2009). Convivencia sustentable en zonas urbanas. En C. I. Quito, & C. J. Morán (Ed.), *Quito, desarrollo para la gente* (págs. 67-101). Quito: Instituto de la Ciudad.
- Organización Mundial de la Salud. (2012). *OMS*. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de <http://www.who.int/es/>
- Moreno, Jiménez; (2010). *Sistemas de análisis de la información geográfica*; Madrid, Editorial RAMA.
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad. *Otorrinolaringología*(67), 122-128.
- Platzer, L., Iñiguez, R., Cevo, J., & Ayala, F. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. *Revista de otorrinolaringología*(67), 122-128.

# *Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico $PM_{10}$ en Chile*

Manuel Fuenzalida-Díaz

## **Resumen:**

Se modela la exposición al contaminante atmosférico  $PM_{10}$  a partir de los datos registrados en 108 estaciones de monitoreo pertenecientes al Sistema Nacional de Calidad del Aire, utilizando geoestadística aplicada por medio del método Kriging ordinario, por su cualidad de representar fenómenos cuyos valores varían en función de la localización espacial de puntos de observación. El procedimiento se lleva a cabo en tres etapas: (1) Análisis exploratorio de los datos, para determinar si es necesario o no la transformación de los datos y la eliminación de tendencia en los mismos. (2) Análisis estructural para el cálculo del semivariograma experimental y el ajuste a seis modelos matemáticos teóricos seleccionados. (3) Predicciones para la obtención del Mapa predicción y mapa de errores estándar de la predicción.

Los resultados obtenidos han permitido crear una superficie de valores estimados de exposición a  $PM_{10}$ , que entre sus principales características, presenta una distribución territorial con un fuerte sesgo regional, concentrándose espacialmente en territorios del cluster minero y áreas metropolitanas. Los mayores errores de predicción se dan en sectores de baja densidad poblacional y de estaciones de monitoreo, en el desierto de Atacama y la cordillera de Los Andes.

**Palabras Clave:** Kriging, material particulado, exposición a contaminantes, sistemas de información geográfica.

## **Abstract:**

Is modeled exposure to the air pollutant particulate matter ( $PM_{10}$ ) starting from registered data of 108 monitoring stations belonging to the National Air Quality System, using applied geostatistics through ordinary Kriging method, for its attribute of

representing phenomena whose values vary based on spatial location of points of observation.

The procedure is conducted in three stages: (1) exploratory data analysis, to determine whether it is necessary or not the data transformation and removal of bias in them. (2) Structural analysis to calculate the experimental semivariogram and adjustment to six selected theoretical mathematical models. (3) Prediction for obtaining prediction map and map standard errors of prediction.

The obtained results have allowed the creation of an estimated exposure surface of  $PM_{10}$  values, which among its main characteristics, presents a spatial distribution with strong regional bias, spatially concentrating in mining cluster territories and metropolitan areas. The largest prediction errors occur in low population density areas and, monitoring stations in the Atacama Desert and the Andes.

**Keywords:** Kriging, particulate matter, exposure to pollutants, geographical information systems.

---

**Manuel Fuenzalida-Díaz** (mfuenzal@uahurtado.cl). \* Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado, Chile. Trabajo realizado en el marco del proyecto FONDECYT N° 11121354, financiado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) de Chile.

## 1. INTRODUCCION

El contaminante atmosférico material particulado respirable de 10 micras ( $MP_{10}$ ) es actualmente reconocido como el principal agente de morbilidad y mortalidad para el sistema respiratorio (OMS, 2006). Los efectos por la exposición al contaminante  $MP_{10}$  en la población se manifiestan principalmente como: muertes prematuras, aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, síntomas respiratorios severos, irritación de vías respiratorias, bronco constricción, entre las más importantes (Pope et al. 1995; Bateson y Schwartz, 2004). Es un problema de salud que afecta indistintamente a toda la población, de países desarrollados o en vías de desarrollo, y la susceptibilidad puede variar dependiendo de la edad, siendo los niños y los ancianos los que más frecuentemente requieren de atención sanitaria de atención primaria o de alta complejidad (hospitalización).

A partir de una serie de consultas a expertos en salud pública, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció en 2005 nuevos valores guía para las concentraciones de material particulado en el aire, fijando para  $MP_{10} = 20\mu\text{g}/\text{m}^3$  media anual y  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 24h., siendo el primer valor utilizado en estudios de exposición prolongada y el segundo en exposición breve. Estos valores son bastante más ambiciosos que las normas primarias de calidad del aire vigentes en Chile para  $MP_{10} = 50\mu\text{g}/\text{m}^3$  media anual y  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 24h. que guían la política pública concerniente a la declaración de Zonas Saturadas o Latente por contaminación de material particulado respirable  $MP_{10}$  y la definición de niveles de emergencia ambiental (1:alerta, 2:preemergencia y 3:emergencia) para ciertos días del año.

Existen tres tipos de fuentes emisoras de  $MP_{10}$ . La primera de ella corresponden a fijas y se dividen en areales (e.g. calefacción residencial) y puntuales (e.g. industrias). La segunda a móviles (e.g. locomoción). La tercera a fugitivas (e.g. polvo suspendido).

El acceso a la información de este contaminante ha mejorado notablemente durante la última década. Actualmente es posible consultar en línea información en el Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA), dependiente del Ministerio del Medio Ambiente de Chile. La presente comunicación se enmarca en el Proyecto FONDECYT Iniciación N°11121354 de dos años de duración, y tiene por objetivo modelar espacialmente la exposición al contaminante  $MP_{10}$ , utilizando geoestadísti-

ca aplicada por medio del método Kriging ordinario, por su cualidad de representar fenómenos cuyos valores varían en función de la localización espacial de puntos de observación. Este será un insumo básico para en una ulterior investigación, contrastar si las altas concentraciones de este contaminante están asociadas con la morbi-mortalidad de la población por enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

El desarrollo de la comunicación inicia con un apartado donde se tratan someramente algunas cuestiones teóricas sobre geoestadística, para inmediatamente explicitar la metodología adoptada en torno al modelamiento del kriging ordinario. Posteriormente se describen los resultados, para terminar con una sección de conclusiones.

## 2. CONTEXTO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Todo conjunto de datos que pueda ser referenciado a partir de un sistema de coordenadas con un punto de origen conocido (e.g. lat/long, UTM) se ven condicionados por la primera ley de geografía o principio de autocorrelación espacial, según el cual *todo se relaciona con todo, pero las cosas más próximas o cercanas se relacionan más que las distantes* (Tobler, 1970). La autocorrelación espacial viola un supuesto básico de muchos test estadísticos tradicionales, el cual supone que las observaciones sean independientes. La independencia en un conjunto de datos geográficos se daría si su localización no fuera significativamente distinta de una localización resultante de una asignación aleatoria para cada lugar i posible del mapa (Upton y Fingleton, 1985).

Como en la naturaleza esto rara vez ocurre, abordar la dependencia espacial de los datos llevó a desarrollar nuevos procedimientos que tuvieran en cuenta tal circunstancia. En el ámbito de la estadística, estos nuevos procedimientos se han englobado bajo un nuevo campo de conocimiento denominado geoestadística, donde el prefijo “geo” resalta el aspecto espacial de los problemas que estudia mediante la aplicación de métodos probabilísticos (Montero y Larraz, 2008:11).

Estos se aplican a la concentración de un elemento contaminante en el suelo, agua o atmósfera; la altitud topográfica en un punto del espacio geográfico; el número de árboles y su diámetro promedio en áreas de observación de un bosque; la ley de un mineral, entre otros, intentando conseguir una descripción matemática del fenómeno regionalizado (se extiende en el espacio geográfico y presenta una cierta

continuidad). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) actualmente presentan enormes ventajas para la aplicación de procedimientos de geoestadística, entre las cuales se encuentran herramientas para análisis exploratorio de datos espaciales y la generación de superficies continuas a partir de datos discretos, utilizando métodos de interpolación. En relación a este último punto, la geoestadística proporciona estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación.

Numerosas son las investigaciones que han recurrido a la geoestadística para modelar la exposición a contaminantes atmosféricos, entre las cuales es menester citar a Briggs (2005), Chinery y Walker (2009), Setton, et al. (2010), Nadal, et al. (2011) las cuales concluyen que la variación espacial es predecible, y se pueden modelar a un alto grado de precisión, utilizando información sobre las fuentes de emisión.

Una cuestión importante a mencionar aquí, es que la mayoría de los métodos geoestadísticos sólo son óptimos si la variable de estudio sigue una distribución de probabilidad normal. Entre sus principales propiedades se encuentra que es continua, de modo que puede tomar un valor cualquiera (no sólo enteros); es una curva lisa en forma de campana, simétrica alrededor de la media de la distribución ( $\mu$ ); la desviación estándar de la distribución ( $\sigma$ ) es la distancia horizontal entre la media y el punto de inflexión de la curva (el punto donde la curva cambia de convexa a cóncava); el área bajo la curva es igual a uno y como es una distribución simétrica, la mitad del área está a la izquierda de la media y la otra mitad, a la derecha; el coeficiente de sesgo (asimetría horizontal) y de curtosis (grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución) es igual a cero (0).

Estos dos últimos parámetros son importantes, pues si la distribución de los datos no se asemeja a una distribución de probabilidad normal, esta deberá ser transformada. El tipo de transformación dependerá del grado de asimetría. De acuerdo con Webster y Oliver (2001) uno puede considerar una transformación de tipo raíz cuadrada si el coeficiente de sesgo (*skewness*) se encuentra entre 0,5 y 1, y de tipo logarítmico ( $\ln$  o  $\log$ ) si el coeficiente de sesgo excede a 1.

Una vez subsanado este requerimiento, Isaaks y Srivastava (1989) proponen que todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas fundamentales:

1) *Análisis exploratorio de los datos*. Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose los erróneos e identificándose las distribuciones de las que provienen.

2) *Análisis estructural*. Estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta al mismo un variograma teórico.

3) *Predicciones*. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Fuentes de información

##### 3.1.1. Datos de PM<sub>10</sub>

Los datos oficiales de PM<sub>10</sub> fueron obtenidos del Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA) -[www.sinca.mma.gob.cl](http://www.sinca.mma.gob.cl)-, dependiente del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, que pone a disposición de la ciudadanía información de calidad del aire de todo el país en su parte continental, el cual se localiza entre los 17° 30' y 56° 30' de Latitud Sur, alineado en torno a los 70° de Longitud Oeste.

El contaminante PM<sub>10</sub> se registra en 155 estaciones de monitoreo que están distribuidas de forma desigual a lo largo del territorio nacional continental. Las zonas extremas (norte y sur) no presentan estaciones de monitoreo y en el resto de las regiones político administrativa el reparto es como sigue: Tarapacá: 12, Antofagasta: 25, Atacama: 12, Coquimbo: 13, Valparaíso: 28, Metropolitana: 11, O'Higgins: 11, Maule: 5, BioBio: 26, Araucanía: 4, Los Ríos: 3, Los Lagos: 4, Aysén:

1. La cuatro primeras regiones tienen mayoritariamente el origen de las emisiones contaminantes atribuibles a la actividad del cluster minero (faenas mineras, termoelectricas, fundiciones), las siguientes tres están asociadas a la actividad industrial y del transporte (privado y público), las cuatro últimas se imputan al uso residencial de

leña para cocinar y calefaccionar, con un fuerte arraigo cultural y precio accesible.

Producto de las distintas fechas de entrada en funcionamiento de las estaciones de monitoreo (desde 1992 hasta 2012), se procedió a inspeccionar el conjunto de estaciones con una clara meta: obtener el máximo de estaciones para un único año donde se registre  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual, y dada la extensión territorial de Chile (4.400 Km. desde el límite Norte hasta el Estrecho de Magallanes), que no estén separados entre sí a una distancia superior a los 150 kilómetros. El resultado obtenido fueron 108 estaciones para el año 2008, distribuidas de la siguiente forma (ver figura n°1): Tarapacá: 9, Antofagasta: 20, Atacama: 8, Coquimbo: 11, Valparaíso: 25, Metropolitana: 11, O'higgins:8, Maule: 2, BioBio: 8, Araucanía: 2, Los Ríos: 2, Los Lagos: 2.

### 3.1.2. Otras fuentes

Junto a los datos de  $\text{PM}_{10}$  se ha utilizado cartografía digital sobre los límites políticos administrativos, ciudades y caminos principales procedentes del Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT) de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

## 3.2. Técnicas de análisis

Las técnicas para la evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico  $\text{PM}_{10}$  en Chile, se implementarán con la extensión *Geostatistical Analyst integrado en ArcMap*. Esta permite crear una superficie continua a partir de datos puntuales, de una capa raster o de polígonos. Para ello estudia en primer lugar la autocorrelación espacial de la variable a interpolar, luego calcula una función de interpolación que tiene en cuenta el grado y tipo de autocorrelación existente en la variable y finalmente utiliza el semivariograma para describir y elaborar modelos espaciales, prediciendo valores en puntos no muestrales y proporcionando una medida de valoración de los mismo (Cañada, 2006: 745-746).

### 3.2.1. Análisis exploratorio de los datos.

*Geostatistical Analyst > Explore Data > Histogram*. El propósito aquí es conocer si la distribución de los datos de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual de  $\text{PM}_{10}$  sigue una

distribución normal. Los parámetros que se obtienen corresponden a Count (número de datos), Min (dato menor), Max (dato mayor), Mean (Media), Std Dev (Desviación estándar), Skewness (Coeficiente de sesgo o asimetría), Kurtosis (curtosis), 1-st Quartile (primer cuartil), Median (Mediana) y 3-rd Quartile (tercer cuartil).

Para que la distribución sea normal o se aproxime, la media, y la mediana deben ser similares, se acepta una diferencia de una (1) unidad entre ella. El coeficiente de sesgo o asimetría debe presentar un valor entre 0 y 0,5. Si eso no se da se deben transformar los datos siguiendo la pauta de Webster y Oliver (2001): transformación de tipo raíz cuadrada si el coeficiente de sesgo se encuentra entre 0,5 y 1, y de tipo logarítmico (ln o log) si excede a 1.

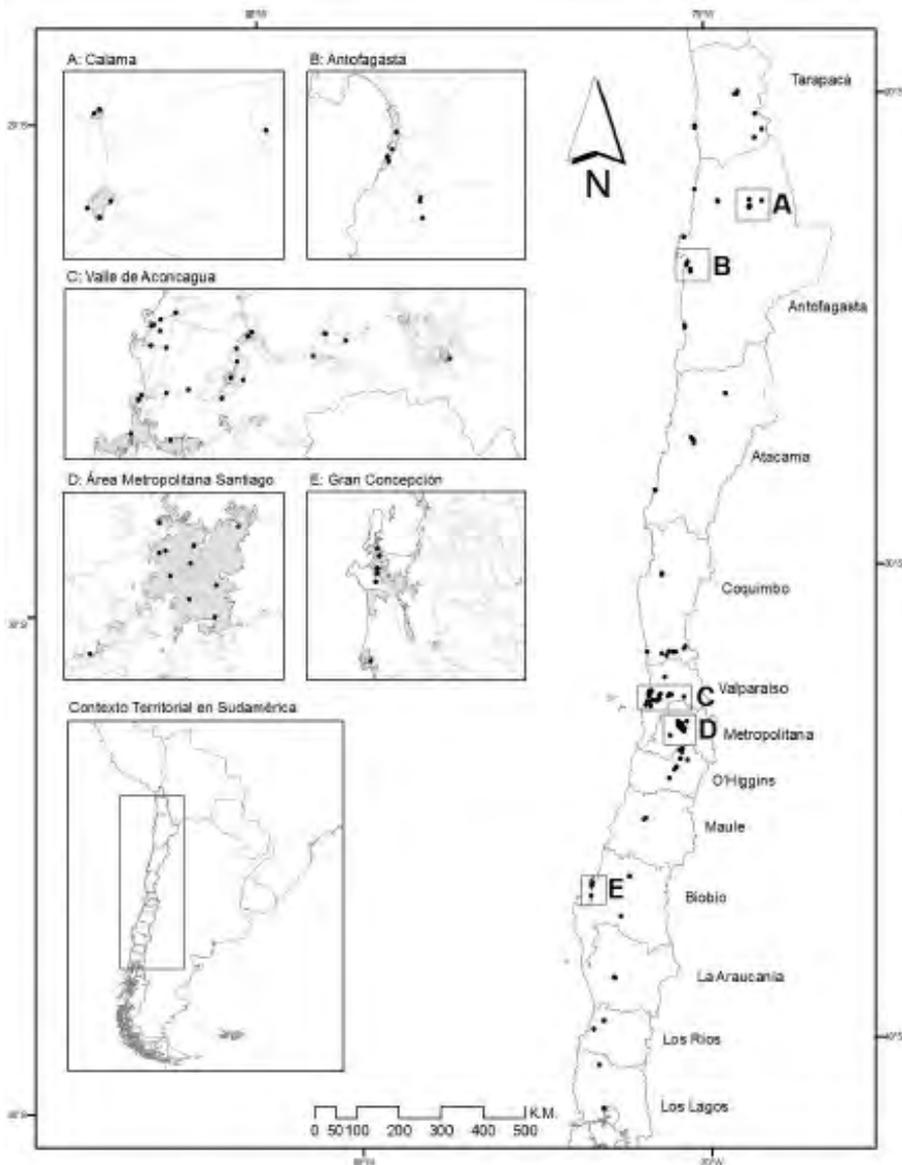
*Geostatistical Analyst > Explore Data > Trend Analysis.* La finalidad es descubrir la tendencia global que siguen los datos, es decir, si los datos pueden ser ajustados por funciones de primer (lineal, no tiene máximo ni mínimo), segundo (cuadrática, un máximo o un mínimo) o tercer grado (cúbica, dos máximos y un mínimo), para que luego en el posterior análisis estructural le indiquemos a la herramienta que sea removida. En términos representativos es un gráfico de dispersión visto en tres dimensiones, en donde los datos se proyectan en dos direcciones: N-S sobre un plano Y,Z y la dirección E-W sobre un plano X,Y.

### 3.2.2. Análisis estructural.

*Geostatistical Analyst > Geostatistical Wizard.* La meta es realizar un modelo geoestadístico con los datos.

*En Geostatistical methods seleccionaremos Ordinary Kriging > Prediction Map.* El kriging ordinario se basa en el modelo  $Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$ , donde  $\mu$  es una constante desconocida. Se utiliza para datos que no tienen tendencia y cuya media es desconocida. El kriging ordinario usa semivariogramas o covarianzas (que son formas matemáticas de expresar la autocorrelación). También permite transformaciones de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error (Cañada, 2006: 836-837).

Figura 1: Distribución territorial de estaciones de monitoreo del SINCA seleccionadas.



Fuente: Elaboración propia.

Para el modelado del semivariograma empírico se encuentran disponibles los modelos Circular (Circular), Spherical (Esférico), Tetraspherical (Tetraesférico), Pentaspherical (Pentaesférico), Exponential (Exponencial), Gaussian (Gaussiano), Rational Quadratic (covarianza cuadrática racional), Hole Effect (crecimiento no monótono), K-Bessel, J-Bessel y Stable. El modelo seleccionado influye en la pre-

dicción de los valores desconocidos, particularmente cuando la forma de la curva cerca del origen difiere significativamente. Cuanto más empinada la curva cerca del origen, más influencia a los vecinos más cercanos tendrán en la predicción.

Como resultado, la superficie de salida será menos suave. Cada modelo está diseñado para adaptarse a diferentes tipos de fenómenos con más precisión.

Nos referiremos brevemente a las características que se utilizan comúnmente para describir estos modelos. *Sill* (Meseta) corresponde al valor promedio de la varianza, *Range* (Rango) define la vecindad máxima sobre la cual los puntos de control deben ser seleccionados para estimar los puntos desconocidos de interés y finalmente *Nugget* (efecto pepita) corresponde al mínimo de varianza detectable.

### 3.2.3. Predicciones.

Cuando se predicen valores en lugares no muestrales, disponemos de Cross Validation (Validación Cruzada) para comprobar la validez del modelo que estamos utilizando. El modelo a seleccionar será aquel que mejor reproduzca los datos conocidos, por lo tanto cumplirá con las siguientes condiciones: *Root-Mean-Square -RMS-* (Raíz cuadrada del error medio): cuanto más pequeño sea, mejor serán las predicciones; *Average Standard Error -ASE-* (Error estándar promedio): pequeño, próximo a RMS, la variabilidad de la predicción se calcula correctamente y *Root-Mean-Square Standardized -RMSS-* (Raíz cuadrada del error medio): cerca de uno (1), los errores de la predicción son válidos.

Una vez que se presiona la tecla *Finish* (terminar) aparece el mapa de predicción. Seguido de esto, es posible obtener un mapa de errores. Para ello se debe hacer click con el botón derecho del ratón (mouse) sobre el mapa creado y elegimos la opción *Create Prediction Standard Error Map* (Crear mapa de predicción de error estándar) y se produce un mapa donde se observan los distintos niveles de error en la predicción. Las zonas más próximas a los puntos muestrales son las que puntúan un menor error estándar, sucediendo lo contrario con las más alejadas. Producto de lo que interesa conocer es el valor del espacio continuo alrededor cercano a la distribución de las estaciones de monitoreo, se calculará la confiabilidad del modelo como 100 menos el error mínimo.

Por lo tanto, para seleccionar el modelo que mejor modela nuestros datos,

es necesario aplicarles cada uno de ellos y escoger el que presente menor RMS, menor ASE, RMSS más cercano a uno y mayor porcentaje de confiabilidad.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis exploratorio de los datos

Como se observa en el histograma de la figura 2a, los datos de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual de  $\text{PM}_{10}$  no siguen una distribución normal, pues estos presentan una asimetría positiva, donde la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media. Los indicadores de normalidad *Mean* (Media) [53,344] y *Median* (Mediana) [47,94] no son iguales y en relación a *Skewness* (Coeficiente de sesgo o asimetría) [1,8583] y *Kurtosis* (curtosis) [8,5549] están bastante alejados de los valores ideales 0 y 3 respectivamente. Es por ello que se ha decidido transformar los datos. Siguiendo la pauta de Webster y Oliver (2001), la transformación ha sido del tipo logarítmico (ln o log) y los valores de normalidad se pueden apreciar en el histograma de la figura 2b, donde *Mean* [3,8878] y *Median* [3,8699] presentan una diferencia inferior a uno (1), que se considera aceptable y en relación a *Skewness* [-0,4337] y *Kurtosis* [5,416] están más cercanos a los valores ideales. Esta transformación se considerará al momento de realizar la predicción.

Para el análisis de tendencia, los gráficos que se observan en la figura 3 muestran la ausencia de tendencia en el comportamiento de los datos proyectados en el eje Y,Z. En particular, el trazado de la línea azul es una recta sin ninguna inclinación, por lo que se concluye que no hay tendencia de N-S. Los datos proyectados en el eje X,Z de dirección E-W, no presentan de forma clara las características típicas de las funciones de primer, segundo o tercer grado. Por lo tanto, se concluye que no es necesario modelar ni remover la tendencia en ninguna dirección.

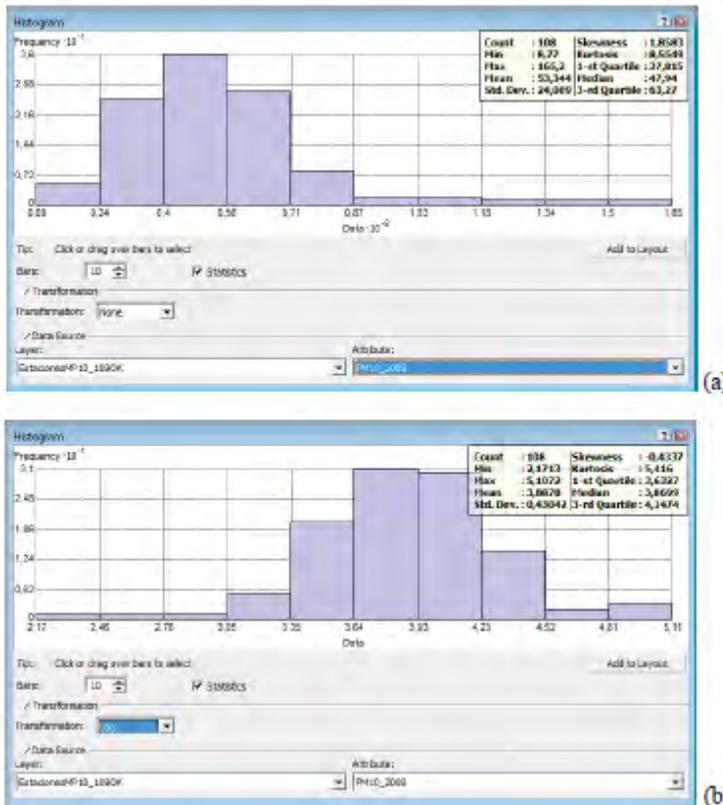
### 4.2 Análisis estructural y predicciones

El método geoestadístico utilizado corresponde al kriging ordinario, y la intención es crear un mapa de predicción. Los datos correspondientes a las 108 estaciones de monitoreo, al no seguir una distribución normal, se establece una transformación de tipo logarítmico y no es necesario remover o modelar tendencias.

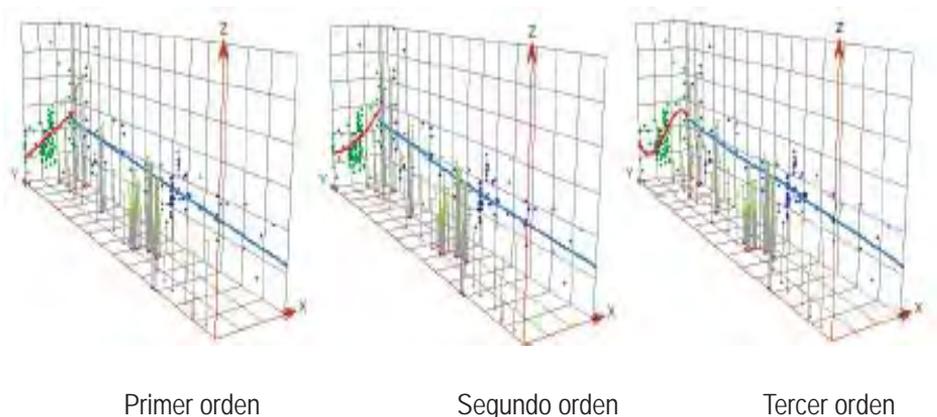
Los datos son representados en un semivariograma empírico y los modelos

matemáticos usados para su representación teórica (curva) corresponden a *Circular*, *Spherical*, *Tetraspherical*, *Pentaspherical*, *Exponential* y *Gaussian*, por ser lo que comúnmente se utilizan en temas de contaminación atmosférica. Se considera la misma variabilidad independiente de la dirección (fenómeno isotrópico).

Figura 2: Distribución de los datos de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual de  $\text{PM}_{10}$ .  
 (a) Distribución No-normal. (b) Distribución transformación logarítmica



Fuente: Elaboración propia a partir de datos SINCA.

Figura 3: Análisis de tendencia de los datos de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual de  $\text{PM}_{10}$ .

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SINCA.

La elección del número de vecinos a utilizar corresponde a 15 y un mínimo de 5. La elipse dividida en cuatro sectores con ángulos de  $45^\circ$ . Los parámetros de los errores en la predicción se pueden observar en la tabla 1. De esta forma, seleccionar el modelo que mejor se adapta a nuestros datos corresponde al que cumple con los requerimientos de RMS pequeño, ASE pequeño próximo a RMS, RMSS cerca de 1 y un alto porcentaje de confiabilidad.

Tras un análisis de los valores, los modelos que presentan proximidad entre RMS y ASE, su RMSS cercano a uno, más exhiben un interesante grado de confiabilidad, corresponden a los modelos *Spherical* [0,78 – 1,024 – 84,15] y *Tetraspherical* [1,2 – 1,046 – 84,34]. Entre ellos, nos decantamos por el modelo *Spherical*, pues sacrificando apenas confiabilidad, los restantes parámetros entregan resultados bastante satisfactorios.

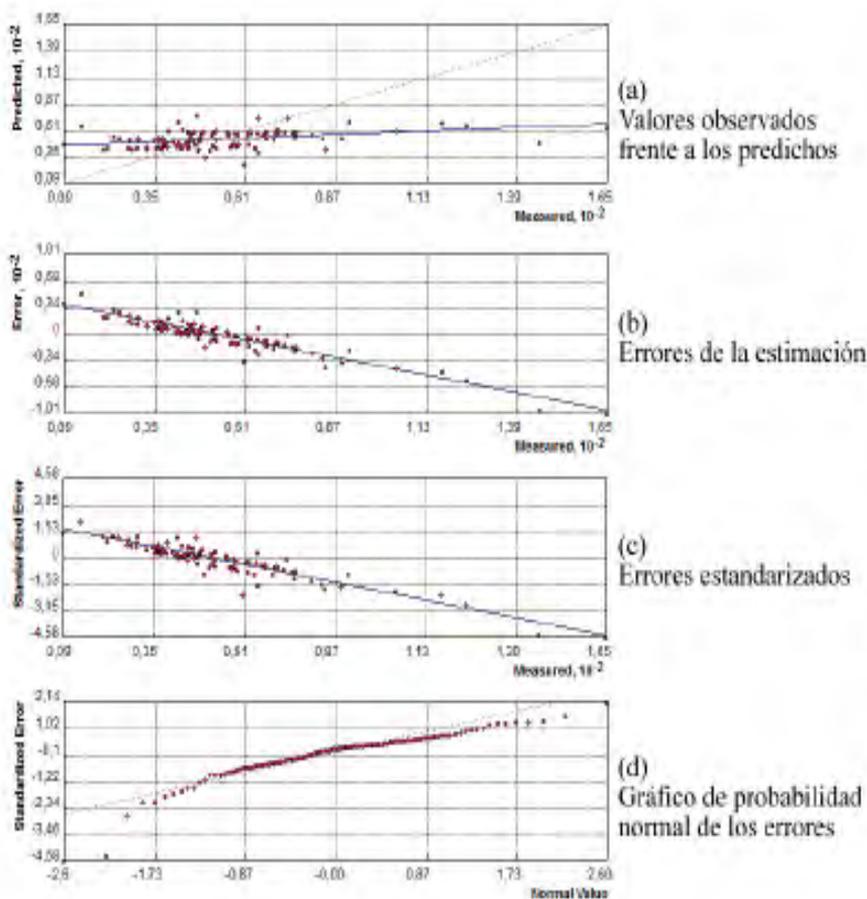
Tabla 1: Modelos utilizados y sus errores en la predicción

MODELO	RMS	ASE	RMSS	ERROR-m	CONFIABILIDAD
Circular	22,3	22,14	0,9945	16,19	83,81
Spherical	22,27	21,49	1,024	15,85	84,15
Tetraspherical	22,25	21,05	1,046	15,66	84,34
Pentasppherical	22,23	20,71	1,063	15,55	84,45
Exponential	21,99	19,62	1,112	14,78	85,22
Gaussian	22,97	21,28	1,08	14,19	85,81

Fuente: Elaboración propia.

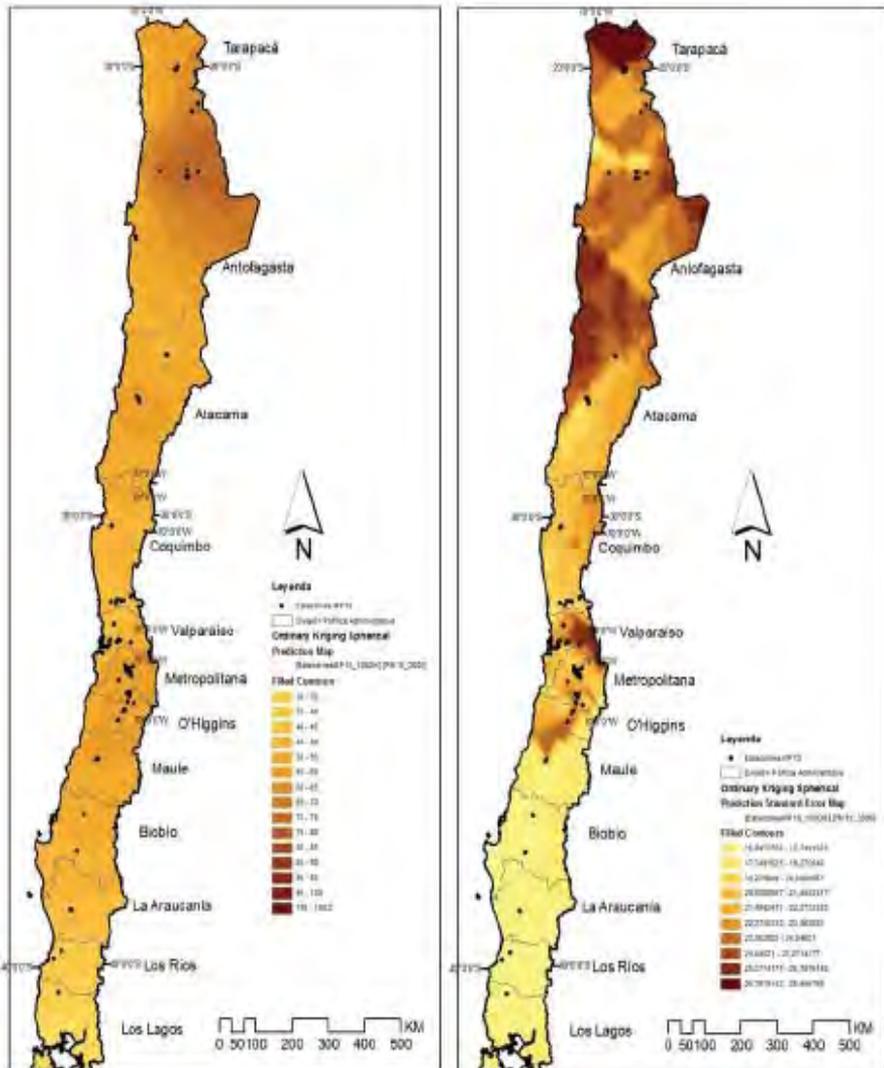
Los valores pronosticados se pueden valorar en los gráficos de la figura 4 y el mapa resultante de predicción (superficie generada con el kriging ordinario) más el mapa de errores estándar de la predicción se puede observar en la figura 5. En ellos es posible contemplar que los niveles altos de exposición a  $MP_{10}$  están presentes de norte a sur, con áreas peligrosas en el entorno de las regiones de Antofagasta, Atacama, Metropolitana y O'higgins. En relación a la pérdida de confiabilidad de la predicción, esta se presenta más grave en el norte (desierto de Atacama) y en la parte este de la región de Valparaíso (cordillera de Los Andes). En ambos sectores, la baja densidad de las estaciones de monitoreo, condicionan los resultados.

Figura 4: Gráficos de valores pronosticados, modelo Spherical.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Mapa predicción (superficie generada con el kriging ordinario) y mapa de errores estándar de la predicción.



Fuente: Elaboración propia.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La aplicación del método kriging ordinario para la predicción de datos de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual de  $\text{PM}_{10}$  resultó útil para representar los niveles de exposición a contaminación en función de la variabilidad espacial (autocorrelación) asegurando la mínima varianza. Como paso previo, el análisis exploratorio de los datos

fue indispensable para conocer si estos cumplían o no con los requisitos necesarios para que el mapa de predicción sea válido y entregue información adecuada.

Al representar los datos en un semivariograma empírico y ajustarlo a uno de los seis modelos matemáticos usados para su representación teórica, fue posible comparar los resultados de error en la predicción. Para nuestro caso, el más satisfactorio corresponde al modelo Spherical.

Los resultados obtenidos han permitido crear una superficie de valores estimados de exposición a  $PM_{10}$ , que entre sus principales características, presenta una distribución territorial con un fuerte sesgo regional, concentrándose espacialmente en territorios del cluster minero y áreas metropolitanas. Los mayores errores de predicción se dan en sectores de baja densidad poblacional y de estaciones de monitoreo, en el desierto de Atacama y la cordillera de Los Andes.

## BIBLIOGRAFIA

- Bateson, T. y Schwartz, J. (2004): "Who Is Sensitive to the Effects of Particulate Air Pollution on Mortality? A Case-Crossover Analysis of Effect Modifiers", en *Epidemiology*, Vol. 15, No. 2, p. 143-149.
- Briggs, D. (2005) "The Role of Gis: Coping With Space (And Time) in Air Pollution Exposure Assessment", en *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 68:13-14, p. 1243-1261.
- Cañada, R. (2006): "Análisis exploratorio de datos espaciales: gráficos de distribución", en Moreno, A. (ed.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, Ra-Ma, p. 745-780.
- Cañada, R. (2006): "Técnicas de interpolación geoestadísticas: Kriging ordinario", en Moreno, A. (ed.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, Ra-Ma, p. 823-854.
- Chinery R. y Walker, R. (2009): "Development of Exposure Characterization Regions for Priority Ambient Air Pollutants", en *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 15:5, p. 876-889.

- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. (1989): *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, USA.
- Nadal, M., Cadiach, O., Kumar, V., Poblet, P., Mari, M., Schuhmacher, M. y Domingo, J. (2011): "Health Risk Map of a Petrochemical Complex through GIS-Fuzzy Integration of Air Pollution Monitoring Data", en *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 17:4, p. 873-891.
- Montero, J.M. y Larraz, B. (2008): *Introducción a la geoestadística lineal*. Netbiblio, La Coruña. España.
- OMS (2006): *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005*. Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
- Pope, CA.; Burnett, RT.; Thun, MJ.; Calle, EE.; Krewski, D.; Ito, K. y Thurston, GD. (2002): "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution", en *JAMA*, Mar 6;287(9), p. 1132-1141.
- Setton, E., Keller, P., Cloutier-Fisher, D. y Hystad, P. (2010): "Gender Differences in Chronic Exposure to Traffic-Related Air Pollution—A Simulation Study of Working Females and Males", en *The Professional Geographer* 62:1, p. 66-83.
- Upton, G.J. y Fingleton, B. (1985): *Spatial data analysis by example, volume 1: Point pattern and quantitative data*. Wiley, Toronto, Canadá.
- Webster, R. y Oliver, M. A. (2001): *Geostatistics for environmental science*. John Wiley and Sons, LTD. Toronto, Canadá.



# INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES



# *Infraestructura nacional de datos espaciales de Honduras – primeros pasos hacia una integración nacional*

Gustavo Adolfo M. Salgado y Nancy Karolina Martínez

## **Resumen:**

La Infraestructura de Datos Espaciales de Honduras, INDES, es un conjunto de políticas, leyes, acuerdos y tecnologías que tiene como fin compartir información geográfica, generando un ambiente de transparencia y seguridad jurídica, por medio de la difusión de la información de manera pertinente y de carácter oficial, buscando la reducción de costos organizacionales a través de la colaboración y el intercambio de información, la captura de datos y su reutilización, creando a partir de esto valor agregado a productos y servicios a través de cadenas de servicios y apoyo en la toma de decisiones.

La INDES está formada y regulada por la Comisión de Datos Espaciales, CIDES, cuya finalidad es identificar, analizar, hacer propuestas, revisar estándares, normativas, procedimientos, apoyar en la definición de competencias institucionales en la temática de cartografía, así como también en todo lo referente a la INDES y demás asuntos que le competen en su área de acción enmarcados en La Ley de OT y su Reglamento.

Para lograr impulsar el desarrollo de la INDES se ha iniciado un largo proceso integral que requiere de voluntad política, generación de capacidades, un gran voluntariado institucional y un presupuesto que la viabilizará, convirtiéndola en un éxito del Gobierno de la República de Honduras.

Como etapa inicial, la SEPLAN por medio del Organismo Hondureño de Normalización (OHN) y CIDES trabajaron en la traducción de las normas ISO relacionadas con los metadatos (19104, 19110, 19115, 19115-2, 19139) para la elaboración de la Normativa Hondureña de Metadatos (NOHME) la cual se encuentra en la etapa de implementación y que permitirá describir totalmente los datos geográficos de manera que los usuarios puedan entender los fenómenos descritos o abstraídos de la realidad y limitaciones, y puedan evaluar la aplicabilidad de los datos para el uso específico de su interés.

**Palabras clave:** INDES / CIDES / SEPLAN / Normativa / Metadatos

**Abstract:**

The National Spatial Data Infrastructure of Honduras, NSDI, is a set of policies, laws, agreements and technologies that aims to share geographic information, generating an environment of transparency and legal certainty, through the dissemination of information in a relevant and official way, seeking to reduce organizational costs through collaboration and exchange of information, data capture and its reusability, creating from this an added value to products and services through service chains and support for the decision makers.

The NSDI is formed and regulated by the Commission on Spatial Data, CIDES, whose purpose is to identify, analyze, make suggestions, review standards, regulations, procedures, support the definition of institutional competence in the thematic mapping, as well as all regarding the NSDI and other issues that concern in its area of action, framed in the Law of Land Management and its Regulation.

In order to boost the development of the NSDI we have initiated an integrated long process that requires political will, create capacities, a great institutional volunteering and a budget that will make it viable, making it a big success of the Government of the Republic of Honduras.

As an initial step, the SEPLAN through the Honduran Organization for Standardization (OHN) and CIDES have worked in the translation of ISO standards related to metadata (19104, 19110, 19115, 19115-2, 19139) for the development of the Honduran Normative of Metadata (NOHME) which is in the phase of implementation and that will fully describe geographic data so that users can understand the phenomena described or abstracted from reality and limitations, and can evaluate the applicability of the data for the specific use of interest.

**Keywords:** NSDI / CIDES / SEPLAN / Normative / Metadata

---

**Gustavo Adolfo M. Salgado** (gsalgado@seplan.gob.hn); **Nancy Karolina Martínez** (nmartinez@seplan.gob.hn). Dirección General de Ordenamiento Territorial - DGOT. Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa – SEPLAN.

## 1. INFRAESTRUCTURA NACIONAL DE DATOS ESPACIALES DE HONDURAS

En Octubre del año 2003 se promulgo la Ley de Ordenamiento Territorial, creada mediante decreto 180-2003, publicada en el Diario Oficial La Gaceta el día martes 30 de diciembre de 2003, en cuyo marco se creó la Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) con atribuciones como: establecer la organización y gestión del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT), que permita el manejo de información sobre todos los aspectos relativos al Ordenamiento Territorial; la integración y coordinación de iniciativas provenientes de los centros técnicos citados en el Artículo 51 de la Ley; también será responsable del mantenimiento de la infraestructura del SINIT (entre otras).

El Artículo 47 de la Ley establece como uno de los instrumentos de registro técnicos del Ordenamiento Territorial al Registro Nacional de Normativas del Ordenamiento Territorial (RENOT), el cual según el Artículo 57 del Reglamento “como el sistema especializado registra toda la información territorial que envían las instituciones mencionadas en el Artículo 51 de la Ley, tales como leyes, reglamentos, normativas, ordenanzas, documentos legales, planos y disposiciones que determinen cualquier incidencia de ordenamiento territorial que manejen y que de acuerdo con la Ley regulen o limiten los derechos de uso o disposición de los bienes inmuebles nacionales, municipales y privados.”

Así mismo el Artículo 64 del Reglamento establece que “Todas las instituciones que generan, elaboran o utilizan información vinculada y aplicable al Ordenamiento Territorial, están obligadas a incorporar los resultados de sus investigaciones y estudios al SINIT, utilizando para ello los medios y mecanismos consignados en el Reglamento General de la “Infraestructura Nacional de Datos Espaciales (INDES)”.

La INDES se compone de reservorios temáticos entre los cuales inicialmente se encuentran: el SINIT y el RENOT. Con la implementación de la INDES se estará regulando la utilización de información espacial, como una herramienta de apoyo técnico en la toma de decisiones para los distintos procesos de planificación territorial que se llevan en el país, en términos generales como una red de socios trabajando desde su propio ámbito y competencia sobre la plataforma tecnológica de Internet, para que los usuarios puedan buscar, ver y utilizar la información espacial generada por el Estado de Honduras. Esta red permite, tanto a los generadores de la información geográfica como a los usuarios (técnicos y

ciudadanos), el acceso, disponibilidad, uso, reutilización y el intercambio de datos espaciales, así como el desarrollo de aplicaciones específicas para la satisfacción de necesidades puntuales de la sociedad, volviendo de esta forma a la información geográfica de uso y beneficio común. En el País, existe información dispersa (en algunos casos duplicada) en diferentes instituciones, lo que dificulta el acceso a la misma; de ahí la necesidad de la construcción de la INDES.

## 2. COMPONENTES DE LA INDES

La INDES aglutina políticas, redes de acceso y estándares, siendo estos los componentes tecnológicos que permiten la interacción entre las comunidades y los datos fundamentales facilitando la información para investigación, análisis, toma de decisiones, etc. En la Figura 1 se aprecia la dinámica de los componentes y sus elementos propios.

Figura 1 – Componentes de la INDES



A continuación se presentaran los avances hasta la fecha en cada uno de los componentes para el establecimiento y la puesta en marcha de la INDES de Honduras:

## 2.1 Políticas

La INDES de Honduras está formada y regulada por la Comisión Interagencial de Datos Espaciales (CIDES) cuya finalidad es identificar, analizar, hacer propuestas, revisar estándares, normativas, procedimientos, apoyar en la definición de competencias institucionales en la temática de cartografía, así como también en todo lo referente a la INDES y demás asuntos que le competen en su área de acción enmarcados en la Ley de Ordenamiento Territorial y su Reglamento, pudiendo referir otros asuntos que considere prioritarios para ser tratados por otras Comisiones que forman parte de la institucionalidad para el ordenamiento territorial.

CIDES está integrada por las siguientes Instituciones o entidades:

- Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa (preside), a través de la DGOT
- Instituto de la Propiedad - IP
- Secretaría del Interior y Población - SEIP
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente - SERNA
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vidas Silvestre - ICF
- Comisión Permanente de Contingencias - COPECO
- Banco Central de Honduras - BCH
- Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda - SOPTRAVI
- El Consejo de Educación Superior - CES
- Consejo Hondureño de la Empresa Privada - COHEP
- Instituto Nacional de Estadísticas - INE
- Secretaría de Estado en el Despacho de la Presidencia - SDP

En calidad de invitados especiales están:

- Instituto Hondureño de Turismo - ITH
- Secretaría de Agricultura y Ganadería - SAG
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados - SANAA
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica - ENEE
- Secretaría de Educación

Entre los principales acuerdos logrados para impulsar a la INDES están los siguientes:

- SERNA/PNUD - Fondo de Adaptación al Cambio Climático, apoyando con el Marco Tecnológico de SINIT y RENOT.
- Instituto de la Propiedad - Programa de Administración de la Tierra, apoyando con el desarrollo de la Normativa Hondureña de Metadatos.
- Instituto de Conservación Forestal - Proyecto Modernización del Sector Forestal de Honduras, apoyado con la gestión de la calidad de la información.

## 2.2 Datos fundamentales

La base geográfica es provista a través del SINIT el cual por el Artículo 62 del Reglamento "SINIT consignará información organizada en cuatro grandes áreas:

1. Cartografía básica;
2. Fisiografía y recursos naturales;
3. Infraestructura, equipamiento social; y,
4. Aspectos sociales y económicos."

Dicha información es provista por parte de las instituciones que conforman CIDES y que es puesta a disposición del público en general de forma gratuita por medio de su plataforma web. Dicha información esta estandarizada y codificada aunque cabe señalar que hay información pendiente de actualización, elaborada con distintas metodologías y en diferentes escalas lo que muchas veces imposibilita un análisis geográfico integral.

## 2.3 Estándares

El Artículo 62 de la Ley de Ordenamiento Territorial establece que "La estructura básica del SINIT, consignara información organizada en cuatro grandes áreas: 1) Cartografía básica; 2) Fisiografía y Recursos Naturales; 3) Infraestructura

y Equipamiento Social; y 4) Aspectos Sociales y Económicos. La información del SINIT, una vez consignada en las anteriores áreas temáticas, será denominada como un “conjunto de datos” (dataset por su nombre en inglés) el cual contará con una ficha técnica en donde se señalaran las fuentes y los derechos de autor, las responsabilidades del contenido, la metodología de elaboración, fechas entre otros datos de base. Esta ficha técnica recibirá el nombre de Metadato.”

Bajo esta premisa, y como etapa inicial, la SEPLAN por medio del Organismo Hondureño de Normalización (OHN) y CIDES trabajaron en la traducción de las normas ISO relacionadas con los metadatos (19104, 19110, 19115, 19115-2, 19139) para la elaboración de la Normativa Hondureña de Metadatos (NOHME) la cual se encuentra en la etapa de implementación y que permitirá describir totalmente los datos geográficos de manera que los usuarios puedan entender los fenómenos descritos o abstraídos de la realidad y limitaciones, y puedan evaluar la aplicabilidad de los datos para el uso específico de su interés.

En el documento de la NOHME se establece el Perfil de Metadatos, resumido en la Tabla 1, el cual contiene un conjunto mínimo de metadatos núcleo que permitirá describir los datos geográficos de manera que los productores puedan documentar su información y que los usuarios puedan entender y saber el origen, alcance y calidad de los mismos.

Tabla N°1 - Perfil de Metadatos

No.	Nombre	Nombre (español)	Condición
	<b>MD_Metadata</b>	<b>Metadatos</b>	-
01	FileIdentifier	Identificador del fichero	OP
02	Language	Idioma	C
03	HierarchyLevel	Nivel jerárquico	C
04	HierarchyLevelName	Nombre del nivel jerárquico	C
05	Contact	Contacto	O
06	Date Stamp	Fecha de creación	O
07	MetadataStandardName	Norma de metadatos	OP
08	MetadataStandardVersion	Versión de la norma de metadatos	OP
09	spatialRepresentationInfo	Información sobre la representación espacial	OP
10	IdentificationInfo	Información de identificación	O
	<b>MD_Identification</b>	<b>Información de identificación</b>	-
11	Citation	Mención	O
12	Abstract	Resumen	O
13	Purpose	Propósito	OP
14	resourceMaintenance	Mantenimiento del recurso	OP
15	Resource Format	Formato del recurso	OP
	<b>MD_DataIdentification</b>	<b>Identificación de datos</b>	-
16	Spatial Representation Type	Tipo de representación espacial	OP
17	Language	Idioma	O
18	Environment Description	Descripción del entorno	OP

Nu.	Nombre	Nombre (español)	Condición
19	Extent	Extensión	OP
	<b>MD_Keywords</b>	<b>Palabras clave</b>	-
20	Keyword	Palabras clave	O
	<b>MD_Resolution</b>	<b>Resolución</b>	-
21	EquivalentScale	Escala equivalente	C
	<b>MD_Constraints</b>	<b>Información de restricciones</b>	-
22	useLimitation	Limitación de uso	OP
	<b>DQ_DataQuality</b>	<b>Calidad de datos</b>	<b>O</b>
23	Scope	Ámbito	O
24	Report	Informe	C
25	Lineage	Linaje	C
	<b>DQ_Element</b>	<b>Elemento de calidad</b>	<b>O</b>
26	evaluationMethodType	Tipo de método de evaluación	OP
	<b>MD_Reference System</b>	<b>Sistema de Referencia</b>	<b>O</b>
27	Reference system identifier	Identificador del sistema de referencia	C
	<b>MD_CRS</b>	<b>MD_Sistema de coordenadas</b>	-
28	Projection	Proyección	OP
29	Ellipsoid	Elipsoide	OP
30	Datum	Datum	OP
31	Ellipsoid parameters	Parámetros del elipsoide	OP
32	Projection parameters	Parámetros de la proyección	OP
	<b>MD_Distribution</b>	<b>Distribución</b>	<b>O/C</b>
33	Distribution format	Formato de distribución	C
34	Distributor	Distribuidor	OP
	<b>CI_Contact</b>	<b>CI Contacto</b>	-
35	Address	Dirección	OP
36	onLineResource	Recurso en línea	OP

## 2.4 Redes de acceso

Las redes de acceso son un punto toral dentro de la construcción de la INDES pues en ella se refleja los avances de los componentes anteriores, es la parte tecnológica que enlaza los esfuerzos de las políticas, acuerdos interinstitucionales, la implementación de los estándares, la calidad de los datos geográficos, etc. con el fin de ponerlos a la disposición de los usuarios.

Bajo esta premisa la DGOT ha realizado un trabajo de investigación y autoaprendizaje de tecnologías open source que permitan el desarrollo de geopórtales y servicios en línea estables, a un bajo costo de desarrollo y de mantenimiento, y que sobre todo se pueda replicar en otras instituciones del Estado para poder afianzar una comunidad proactiva a nivel de Gobierno.

A partir de este esfuerzo en término de un año y medio se han logrado crear el geopórtal de SINIT, conteniendo Cartografía Básica; Fisiografía y Recursos Naturales; Infraestructura, Equipamiento Social; y, Aspectos Sociales y Económicos; y el geopórtal de RENOT, conteniendo información relacionada con restricciones de uso del suelo y Planes de Ordenamiento Territorial en los distintos niveles territoriales.

Figura N° 2 – Geopórtal SINIT (<http://www.sinit.hn/>)

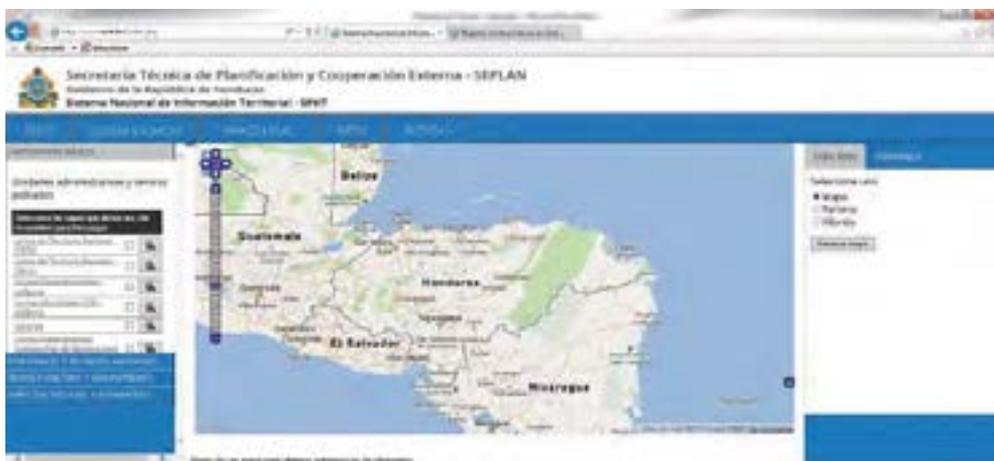


Figura N° 3 – Geopórtal RENOT (<http://www.renot.hn/>)

Entre las tecnologías open source utilizadas para ambas plataformas están:

- Postgre SQL
- PostGIS Database
- Geoserver
- OpenLayers
- Javascript

## 2.5 Comunidad

Actualmente se está consolidando poco a poco una comunidad de usuarios y productores interinstitucionales por medio de CIDES, en la medida en que cada institución elabore su geopórtal, poniendo a disposición los servicios web así como su catálogo de metadatos, la INDES ira creciendo y afianzándose más y más cada día, entre los principales miembros activos tenemos:

- Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa - SEPLAN
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente - SERNA
- Secretaría en el Despacho de Relaciones Exteriores - SDRE

- Secretaria del Interior y Población - SEIP
- Secretaría de Agricultura y Ganadería - SAG
- Instituto de la Propiedad - IP
- Programa de Administración de Tierras de Honduras - PATH
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vidas Silvestre - ICF
- Instituto Hondureño de Turismo - ITH
- Comisión Permanente de Contingencias - COPECO
- Consejo de Educación Superior - CES
- Consejo Hondureño de la Empresa Privada - COHEP
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados - SANAA
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica - ENEE
- Centro Regional de Documentación e Interpretación Ambiental - CREDIA

### 3. RESULTADOS / OPORTUNIDADES

#### Resultados

- Implementado un proceso de armonización e iniciado un proceso de reglamentación para la producción de datos geográficos.
- Implementadas tecnologías estandarizadas para la interoperabilidad de las plataformas SINIT y RENOT con otras en el marco de la INDES.
- Definición de normativas, procesos para la gestión de las bases de datos y su publicación.
- Puesto a disposición del público en general la información espacial (103 capas) y normativas (600 documentos) generada por el gobierno de Honduras.

#### Oportunidades

- Vinculación de datos espaciales como insumo al gobierno electrónico.
- Reglamento Regulador de la Infraestructura de Datos Espaciales, aprobada por la CIDES.
- Plan cartográfico para la creación de servicios estatales a partir de la cartografía,

que permitan hacer auto sostenible el proceso y contribuyan al uso masivo de la información y al desarrollo del gobierno electrónico, generando un ambiente de transparencia y seguridad jurídica en el País. Asignación posible la Universidad Autónoma de Honduras por medio de la Facultad de Ciencias Espaciales.

- Aplicación de estándares de para la producción, manejo y publicación de la información geográfica.
- Gestión del conocimiento formal y capacitaciones puntuales, para fortalecer las capacidades y procesos en el manejo de los datos espaciales.
- Alineamiento de los procesos de producción y gestión de la información.
- Mapeo de la gestión de los recursos para su seguimiento y evaluación en los procesos de planificación.
- Creación de geopórtales temáticos estandarizados sobre el territorio.
- Desarrollo de capacidades en el uso de la información geográfica para en los procesos de planificación.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- Honduras. Ley de Ordenamiento Territorial, Decreto No. 180-2003, del 30 de octubre de 2003. *La Gaceta*, 30 de diciembre de 2003, No. 30277.
- Honduras. Reglamento General de la Ley de Ordenamiento Territorial, Acuerdo No. 25-2004, del 02 de agosto de 2004. *La Gaceta*, 18 de septiembre de 2004, No. 30497.
- Honduras. Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa. (2012). Normativa Hondureña de Metadatos – NOHME. Tegucigalpa: DGOT.
- Rajabifard, A., Mansourian, A., Valadan Zoej, M. J. and Williamson I. P. (2004). “Developing Spatial Data Infrastructure to Facilitate Disaster Management”, Proceedings of Geomatics 83, National Cartographic Center (NCC), Tehran, Iran.

# *Creación de una infraestructura de datos espaciales para el Conurbano Bonaerense*

Nicolás Caloni y Marina Miraglia

## **Resumen:**

El Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (LabSIG) de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Argentina), desde el momento de su creación, ha tenido una sostenida demanda de información espacial por parte de los equipos de investigación que tienen sede institucional en el Instituto del Conurbano y a ella, se ha sumado una creciente demanda externa correspondiente a una sociedad que requiere cada vez más información actualizada y confiable. Por este motivo, en el LabSIG nos hemos planteado la necesidad de implementar una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) sobre el Conurbano Bonaerense (área comprendida por la Ciudad de Buenos Aires y los 24 partidos que la rodean). Una IDE procura facilitar el acceso y la integración de la información espacial entre múltiples usuarios. La constitución de una IDE, requiere de un marco institucional, una política de datos, un sistema tecnológico que actúe de soporte y un acuerdo en materia de estándares que permita la compartición de la información entre los diferentes usuarios. En referencia a los estándares, hemos optado como perfil de metadato la propuesta desarrollada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), conocida por sus siglas en inglés como LAMP (Perfil Latino Americano de Metadatos).

En el presente trabajo se describirán las principales acciones metodológicas llevadas a cabo para la implementación de una IDE regional. Entendemos que la utilización de la IDE por parte de la ciudadanía en su conjunto, permitirá extender el conocimiento y el uso de la información geográfica en gran variedad de situaciones.

**Palabras clave:** Infraestructura de Datos Espaciales / Información Espacial / Estándares / Conurbano Bonaerense.

## **Abstract:**

The Geographic Information Systems Laboratory (LabSIG) of the General Sarmien-

---

to National University (Argentina), since the beginning, has had a sustained demand for spatial information by the research teams of the Instituto del Conurbano and she has joined a growing external demand for a society that increasingly requires current and reliable information.

For this reason, in the LabSIG we have considered the need to implement a Spatial Data Infrastructure (SDI) on the Buenos Aires Metropolitan Area (area bounded by the City of Buenos Aires and the surrounding 24 municipalities). An Spatial Data Infrastructure tries to facilitate the access and integration of multiple users spatial information.

The Spatial Data Infrastructure constitution, requires an institutional framework, a data policy, a technological system that acts in support and agreement on standards that enable the sharing of information between different users. Referring to standards, we have chosen as the proposed metadata profile developed by the Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), known by its acronym in english as LAMP (Latin American Metadata Profile).

In this paper we describe the major methodological actions performed to implement a regional SDI. We understand that the SDI used by the public as a whole will expand the knowledge and use of geographic information in a variety of situations.

**Key words:** Spatial Data Infraestructure / Spatial Information / Standards / Conurbano Bonaerense.

---

**Nicolás Caloni** (ncaloni@ungs.edu.ar); **Marina Miraglia** (mmiragli@ungs.edu.ar). Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto del Conurbano, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Juan María Gutiérrez 1150. 1613 – Los Polvorines – Malvinas Argentinas – Provincia de Buenos Aires, Argentina

## 1. ANTECEDENTES

A principios del año 2010 se encaró una re-estructuración en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (LabSIG) de la Universidad Nacional de General Sarmiento, en especial con la incorporación de profesionales especializados en Sistemas de Información Geográfica y personal técnico con experiencia en áreas municipales de SIG, lo cual posibilitó el inicio de un proceso de modernización en la utilización del software, particularmente del software libre.

Anteriormente sólo se utilizaban programas de la empresa ESRI, ArcView y ArcGIS como programas SIG de escritorio y ArcIMS como servidor de mapas interactivo para internet. Ambos programas tienen una dinámica de actualización muy alta, lo que se traduce en publicación de versiones anuales con paquetes de mantenimiento disponibles a menores intervalos. Esto hace que la versión que se adquiere quede desactualizada muy rápidamente, y con ello se elevan los costos de mantenimiento de las licencias, cuestión por demás sensible para una institución pública como la Universidad. Es así que el visor de mapas que fue publicado por el LabSIG antes de esta etapa estaba muy atrasado en las funcionalidades que ofrecía.

En el transcurso del primer año de esta nueva etapa se lograron dos grandes objetivos, que combinaron el uso de software privativo y libre. Por un lado, se logró realizar una recopilación y sistematización de la información geográfica y, posteriormente, la generación de una base de datos geoespacial. Estos trabajos fueron presentados ante las autoridades universitarias y su comunidad oportunamente, y constituyeron el punto de partida de este nuevo trabajo que pretende constituir una Infraestructura de Datos Espaciales para el Conurbano Bonaerense. A continuación haremos una breve descripción de las tareas realizadas.

### **a. Recopilación y sistematización de la información geográfica existente:**

En el LabSIG se desarrolló una tarea de recopilación, unificación y sistematización de datos existentes en distintos formatos y niveles de cobertura. Este trabajo demandó aproximadamente un año, y tuvo como finalidad poner a disposición de quien lo necesitara, un mapa base de buena calidad, con información básica, como límites, infraestructura y equipamiento, sumado a ciertas variables provenientes de los censos nacionales de población, hogares y vivienda para los años 1991 y 2001. Habiendo cumplido esta etapa, se emprendieron las dos unidades de trabajo inicial:

por un lado la creación de una Base de Datos Geográfica, con el uso del software ArcGis, y la actualización del visor de mapas interactivo, utilizando programas de código abierto y de uso libre.

## **b. Base de Datos Geográfica**

La migración de la información geográfica sistematizada y unificada hacia una base de datos geoespacial se consideró la tarea más importante en la modernización del Laboratorio, y sobre ella se construirían el resto de los objetivos. Entendemos que una base de datos geográfica (Geodatabase en Arcgis) brinda la posibilidad de un manejo más flexible en la administración de la información, de los usuarios y permisos, así como también el uso de herramientas disponibles en ArcGis, las cuales sólo funcionan con este tipo de almacenamiento, como la posibilidad de establecer dominios y subtipos. Disponer de los datos geográficos en una base de datos espacial supone un aumento de la información disponible y de las posibilidades de realizar geoprocесamientos. El producto obtenido es una base de datos espacial normalizada y homogénea.

La información disponible es la siguiente:

- Partidos integrantes del Conurbano: 24 Partidos + Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
 Información por Partido: 12 capas de información geográfica por partido.  
 280 capas de información geográfica procesadas.
- Región: (Conurbano + Provincia de Buenos Aires)  
 10 capas procesadas

## **c. Actualización del Visor de Mapas Web**

La segunda etapa de actualización estuvo orientada a dotar de nuevas funcionalidades al visor de mapas interactivo, realizado íntegramente con software libre, desde el sistema operativo del servidor, pasando por el gestor de contenidos web, hasta el renderizador de mapas (Mapserver) y el framework ( Pmapper) . Se implementó un nuevo sistema más dinámico e integrado, con herramientas orientadas a facilitar el trabajo del usuario, posibilitando incluso la descarga de información

geográfica en formato shape (.shp).

En este sentido debemos destacar que los servicios del Laboratorio están orientados a cumplir con las normas establecidas para lograr una interoperabilidad, entre sistemas, datos y programas. Es fundamental aclarar esto, ya que el fin último es conformar o ser parte de una Infraestructura de Datos Espaciales Nacional. A su vez, brindamos servicios dentro de los cuales se encuentra la publicación de información geoespacial en formatos estándar. Así es como se implementó el Servicio de Mapas Web, conocido por sus siglas en inglés como WMS (Web Map Service), que permite la integración de la información brindada por el Laboratorio, con programas SIG de escritorio, como ArcGis, GvSIG o Quantum entre otros. A continuación en la figura N°1 se observa la pantalla principal del visor de mapas web.

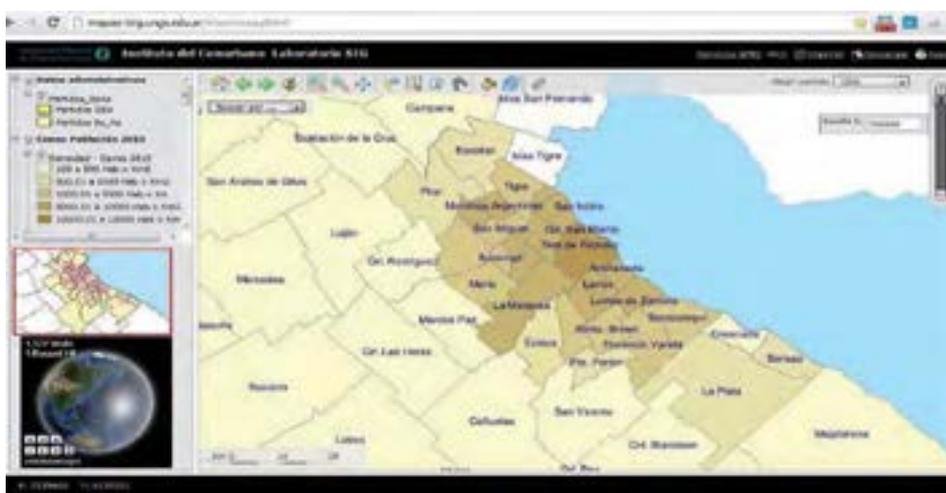


Figura 1. Pantalla principal del visor de mapa web.

## 2. DEFINICIÓN DE UNA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES (IDE)

Conceptualmente, una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) se describe como un conjunto relacionado de tecnologías, políticas, acuerdos institucionales, recursos y procedimientos estandarizados de trabajo, cuyo objetivo principal es asegurar la cooperación para hacer accesible información (sobre una base geográfica).

La información geográfica (uno de los objetos centrales de una IDE) resulta

un elemento fundamental para el desarrollo de las sociedades, el uso racional de sus recursos naturales, así como la conservación del medio natural y la calidad de vida de las poblaciones insertas en éste, esencialmente por constituirse como una herramienta de suma importancia en los procesos de toma de decisión.

Las IDE brindan una base para la búsqueda, evaluación y aprovechamiento de la información geográfica para usuarios y generadores de todos los niveles de la administración pública, organizaciones sin fines de lucro, ámbito académico y ciudadanos en general, incluso empresas privadas.

En definitiva, una IDE es mucho más que un simple conjunto de información o bases de datos accesibles. Una IDE almacena y administra datos y atributos geográficos lo suficientemente bien documentados para lograr su aplicabilidad y confiabilidad, posibilita un medio sencillo de búsqueda, visualización y evaluación a través de catálogos y servidores de mapas, entre otros servicios potenciales.

### 3. PRINCIPIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA IDE

Todas las iniciativas conocidas para el establecimiento de una IDE incluyen unos principios comunes tales como un marco institucional, la definición de estándares y la tecnología a emplear y finalmente una política de datos. A continuación se describen las características que estos principios han tomado en nuestro caso de aplicación

- **Marco Institucional:** se entiende a partir de la definición de acuerdos entre los generadores de información geográfica, especialmente entre los productores oficiales, para proveer y mantener los datos espaciales fundamentales, utilizados por la mayoría de las aplicaciones basadas en sistemas de información geográfica. En el caso del Instituto del Conurbano, se acordó que será el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica quien centralice la información geográfica producida por dicho organismo, con la responsabilidad en su edición, mantenimiento y actualización a través de acuerdo establecidos con las distintas áreas del Instituto.
- **Estándares:** hace referencia al establecimiento de normas a las que deberá ajustarse la información geográfica, los intercambios de esta y la interoperabilidad de los sistemas que la manejan. Los estándares y acuerdos

constituyen un fundamento imprescindible que hace posible la coherencia, compatibilidad e interoperabilidad necesarias para que los datos, servicios y recursos de una IDE puedan ser utilizados, combinados y compartidos.

- **Tecnología:** se establece la red y mecanismos informáticos que permitan: buscar, consultar, acceder, suministrar y usar los datos espaciales o geográficos. Se apuesta por Internet como soporte de la IDE. Para su funcionamiento es necesario mencionar dos conceptos fundamentales: los metadatos, que serán el índice que describa los datos y la interoperabilidad, paradigma actual para el intercambio de información en sistemas informáticos distribuidos. Ambos conceptos se describirán posteriormente.
- **Política de datos:** el establecimiento de las políticas, alianzas y acuerdos de colaboración son necesarios para aumentar la disponibilidad de datos espaciales y compartir los desarrollos tecnológicos. En este caso, desde el LABSIG se procurará la generación de acuerdos con las distintas áreas del Instituto del Conurbano, así como también con los demás Institutos integrantes de la Universidad a los fines de unificar y centralizar la publicación de la información geográfica generada en el organismo.

### 3.1 Componentes

- Datos: se clasifican en datos de referencia y datos temáticos. Los datos de referencias son aquellos datos georreferenciados fundamentales que sirven de esqueleto para construir o referenciar cualquier otro dato fundamental o temático. Constituyen el marco de referencia que proporciona el contexto geográfico a cualquier aplicación. En tanto, los datos temáticos hacen referencia a aplicaciones específicas con una finalidad concreta, incluyen valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia como por ejemplo: población, salud, empleo, vegetación, transporte, contaminación, etc.
- Metadatos: los metadatos son datos acerca de datos, de cualquier tipo y medio. Son datos que describen otros datos. Por ejemplo, el metadato podría documentar atributos (nombre, tamaño, tipo de dato, etc.), las estructuras de los datos (longitud, columnas, campos, etc.), y datos sobre datos (donde está localizado, cómo está asociado, etc.). Como parte fundamental de una IDE, los

metadatos deben ser generados según los estándares vigentes que especifican su contenido y forma.

- Servicios: En un contexto de interoperabilidad, se denominan Servicios Web (Web Services) a un conjunto de tecnologías basadas en la interoperatividad y que cumplen una serie de opciones: son abiertas, neutras con respecto a la plataforma y explotan la arquitectura de la web.

Están pensados para crear servicios distribuidos, que funcionen de forma autónoma y que deben comunicarse o colaborar entre ellos.

#### 4. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIÓN DE PERFIL DE METADATOS

Consideramos estratégica la integración a una futura IDE nacional, y al no existir a la fecha una normativa a este nivel, utilizaremos como marco de integración el núcleo de la norma ISO 19115, que se detallará más adelante.

Tomaremos como base un trabajo existente (muchas secciones son transcripciones textuales) realizado en el marco del Proyecto Sistema de Información Geográfica de la República Argentina -PROSIGA, donde se definió un Perfil de metadatos para Argentina, y se tendrá como referencia el perfil LAMP (Perfil de Metadatos para América Latina), desarrollado por el IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia), presentado en el Simposio IDE América, en Noviembre de 2007.

Por otro lado, en una recorrida no exhaustiva de los portales de las IDEs provinciales existentes, se encontró una amplia diversidad en relación a los perfiles adoptados. Si bien la mayoría toma las Normas ISO de generación de metadatos, en pocos casos se encontró la documentación que describa la metodología o fundamentación para la elección y descarte de secciones e ítems del perfil.

Uno de más detallados, además de Prosiga, es el de IDEBA (IDE de la Provincia de Buenos Aires), que toma como perfil el núcleo de la norma ISO 19115. Otro perfil definido con rigor, y documentado correctamente es el de la IDEF (Formosa)<sup>1</sup>, que extiende el contenido de núcleo agregando elementos tanto obligatorios como opcionales y condicionales.

---

<sup>1</sup> <http://idef.formosa.gob.ar/>

En vías de la integración a una futura Infraestructura de Datos Espaciales Nacional, como institución formadora orientada a la difusión de los conocimientos y buenas prácticas aprehendidas, vemos imprescindible que las aplicaciones e información publicada cumplan con las normas internacionales de interoperabilidad, asegurando que no se dupliquen esfuerzos y que el trabajo realizado sea de utilidad para el resto de la comunidad.

El estándar ISO 19115 establece como deben ser descritos los datos geográficos, es una norma está estructurada en secciones, que a su vez se dividen y componen de entidades, y estas a su vez están formadas por elementos. Estos últimos son las unidades mínimas de un metadato, cada elemento podríamos definirlo como un ítem que se refiere a un aspecto específico del dato.

Los elementos también se dividen en tres clases: obligatorios, aquellos que deben completarse indefectiblemente; condicionales, son los que deben cumplir determinada condición para ser incluidos; y opcionales son aquellos que se incluyen según se considere necesario para aclarar algún aspecto en particular.

Como dijimos anteriormente, la ISO 19115 establece un mínimo de elementos que todo metadato debe cumplir para estar ajustado a la norma, dicho conjunto se conoce con el nombre de “Núcleo”, y está integrado por veintidós ítems, que son:

- **Título del conjunto de datos (Obligatorio):** título descriptivo, que incluya información sobre la temática, localización, escala, organismo productor o responsable, etc.
- **Fecha de Referencia del Conjunto de Datos (Obligatorio):** fecha en que se publicó, actualizó o generó el Conjunto de Datos
- **Parte Responsable del Conjunto de Datos (Opcional):** información que permita identificar a los responsables del Conjunto de Datos.
- **Localización Geográfica del Conjunto de Datos (Condicional):** coordenadas geográficas máximas y mínimas en latitud y longitud.
- **Idioma del Conjunto de Datos (Obligatorio):** idioma en el que se completaron los datos.

- **Conjunto de Caracteres del Conjunto de Datos (Condicional):** Codificación de caracteres utilizados en el conjunto de datos.
- **Categoría del Tema del Conjunto de Datos (Obligatorio):** temática que representan los datos, dentro de un listado de categorías.
- **Resolución Espacial del Conjunto de Datos (Opcional):** Suele expresarse como la escala equivalente de la representación espacial.
- **Resumen Descriptivo del Conjunto de Datos (Obligatorio):** Resumen del contenido del conjunto de datos, debe incluir la información más completa posible.
- **Formato de Distribución (Opcional):** formato digital en que se encuentran y distribuyen los datos.
- **Información adicional de la extensión del Conjunto de Datos():** brinda información sobre la extensión temporal y/o vertical.
- **Tipo de representación Espacial (Opcional):** debe especificarse si se tratan de datos representados en formato vectorial, raster, TIN, hojas o tablas de cálculo, modelos estereoscópicos, etc.
- **Sistema de Referencia (Opcional):** Sistema de referencia utilizado en la representación de los datos.
- **Linaje (Opcional):** origen y metodologías empleadas para la generación/actualización de los datos.
- **Recurso en Línea (Opcional):** dirección URL donde pueden obtenerse los datos o mayor información sobre ellos.
- **Identificador del Archivo de Metadatos (Opcional):** identificador alfanumérico del metadato.
- **Nombre del estándar de Metadatos (Opcional):** en el caso del Perfil del LabSIG se utilizó el estándar ISO 19115.

- **Versión del estándar de Metadatos(Opcional):** la versión utilizada para este perfil es la 1.0 del año 2003
- **Idioma del Metadato (Condicional):** Idioma utilizado para completar los metadatos.
- **Conjunto de Caracteres de los Metadatos (Condicional):** Codificación de caracteres utilizados al completar los metadatos.
- **Punto de Contacto para los Metadatos (Obligatorio):** Información sobre el responsable de los metadatos.
- **Fecha de Creación de los Metadatos (Obligatorio):** fecha en la que se crearon los metadatos.

El Perfil de Metadatos del Laboratorio de SIG, está basado en el Perfil Latinoamericano de Metadatos (LAMP), desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Venezuela, para el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, tanto el LAMP como el Perfil de LabSIG cumplen con el núcleo de la norma ISO 19115

## 5. SERVICIOS QUE BRINDA LA IDE

- **Información disponible**

A continuación, en la tabla n° 1, se describe la información disponible en la IDE del LABSIG del conurbano bonaerense.

Partidos del Conurbano	Bases de datos disponibles y servicios wms
1. Almirante Brown 2. Avellaneda 3. Bcazategui 4. Esteban Echeverría 5. Ezeiza 6. Florencio Varela 7. General San Martín 8. Hurlingham 9. Ituzaingó 10. José C. Paz 11. La Matanza 12. Lanús 13. Lomas de Zamora 14. Malvinas Argentinas 15. Merlo 16. Moreno 17. Morón 18. Quilmes 19. San Fernando 20. San Isidro 21. San Miguel 22. Tigre 23. Tres de Febrero 24. Vicente López	<input checked="" type="checkbox"/> Localidades <input checked="" type="checkbox"/> Barrios <input checked="" type="checkbox"/> Urbanizaciones <input checked="" type="checkbox"/> Asentamientos <input checked="" type="checkbox"/> Espacios verdes <input checked="" type="checkbox"/> Manzanas <input checked="" type="checkbox"/> Calles <input checked="" type="checkbox"/> Radios censales 1991 <input checked="" type="checkbox"/> Radios censales 2001 <input checked="" type="checkbox"/> Radios censales 2010 <input checked="" type="checkbox"/> Instituciones educativas <input checked="" type="checkbox"/> Centros de Salud <input checked="" type="checkbox"/> Industrias
Para la región	Bases de datos disponibles y servicios wms
	<input checked="" type="checkbox"/> Límite de Partidos <input checked="" type="checkbox"/> Usos del suelo <input checked="" type="checkbox"/> Mancha urbana <input checked="" type="checkbox"/> Cursos y espejos de agua <input checked="" type="checkbox"/> Cuencos hidrográficos <input checked="" type="checkbox"/> Curvas de nivel <input checked="" type="checkbox"/> Red vial (Autopistas, Rutas y Avenidas) <input checked="" type="checkbox"/> Red ferroviaria <input checked="" type="checkbox"/> Estaciones FF.CC.

<p><b>Origen en el proyecto de Investigación (Información censal estandarizada) para el Conurbano Bonaerense.</b></p>	<p><b>Bases de datos disponibles y servicios wms</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Primario completo</li> <li>☒ Secundario completo</li> <li>☒ Terciario completo</li> <li>☒ Universitario completo</li> <li>☒ Agua de Red</li> <li>☒ Agua de Pozo</li> <li>☒ Calidad de los materiales I</li> <li>☒ Calidad de los materiales II</li> <li>☒ Calidad de los materiales III</li> <li>☒ Calidad de los materiales IV</li> <li>☒ Calidad de los materiales V</li> </ul>
<p><b>Información censal 2010 disponible para el Conurbano Bonaerense.</b></p>	<p><b>Bases de datos disponibles y servicios wms</b></p>
<p><b>Origen en el proyecto de Investigación (Información censal estandarizada) para el Conurbano Bonaerense.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Densidad de población</li> <li>☒ Variación intercensal</li> <li>☒ Índice de masculinidad</li> <li>☒ Población de 1 a 14</li> <li>☒ Población de 15 a 64</li> <li>☒ Población mayor de 65</li> <li>☒ índice de dependencia potencial</li> <li>☒ Población nacida en el extranjero</li> <li>☒ Analfabetismo</li> <li>☒ Población +3años que usa PC</li> <li>☒ Viviendas cada mil habitantes.</li> <li>☒ % Hogares con agua de Red</li> <li>☒ % Hogares sin agua en vivienda</li> <li>☒ % Hogares con desagüe a cloacas</li> <li>☒ % Hogares con baño en vivienda</li> <li>☒ % Hogares baño con descarga.</li> <li>☒ % Hogares congas de Red</li> <li>☒ % Hogares con heladera</li> <li>☒ % Hogares con celular</li> <li>☒ % Hogares con computadora</li> </ul>

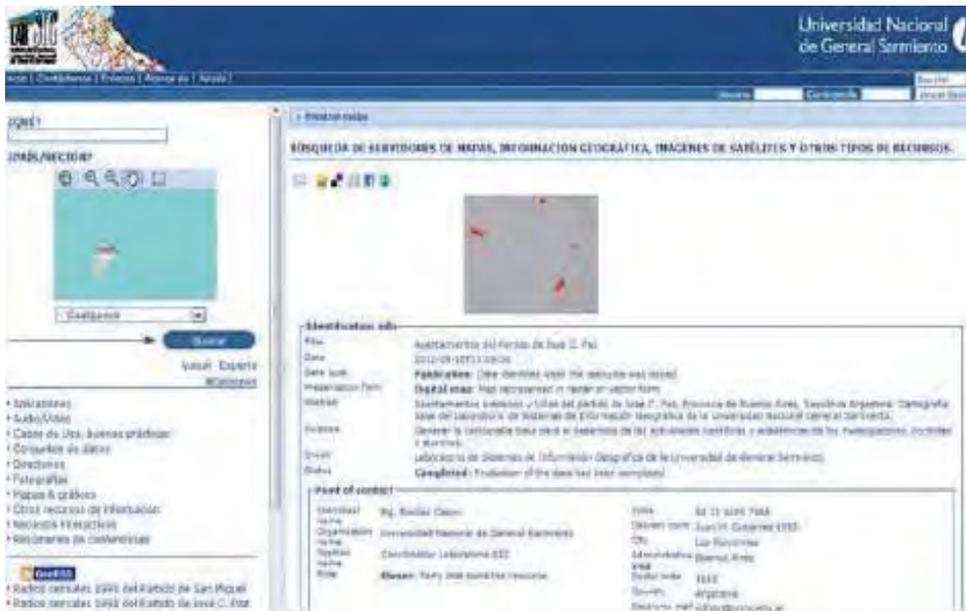
Tabla N° 1

En la actualidad, hemos publicado un total de 308 capas de información geográfica para el conurbano bonaerense y sus partidos integrantes.

- **Búsqueda centralizada**

Esta herramienta consiste en brindar un servicio de búsqueda por tema o palabra clave, lo cual logra ser de fácil aplicación y uso, a partir de dicha palabra, el motor de búsqueda reportara toda la información existente en los diversos formatos, tanto para documentos de texto, tablas de datos o mapas web. A continuación, en la figura n°2 se visualiza un ejemplo para la búsqueda de asentamientos en el partido de José C. Paz.

Figura 2



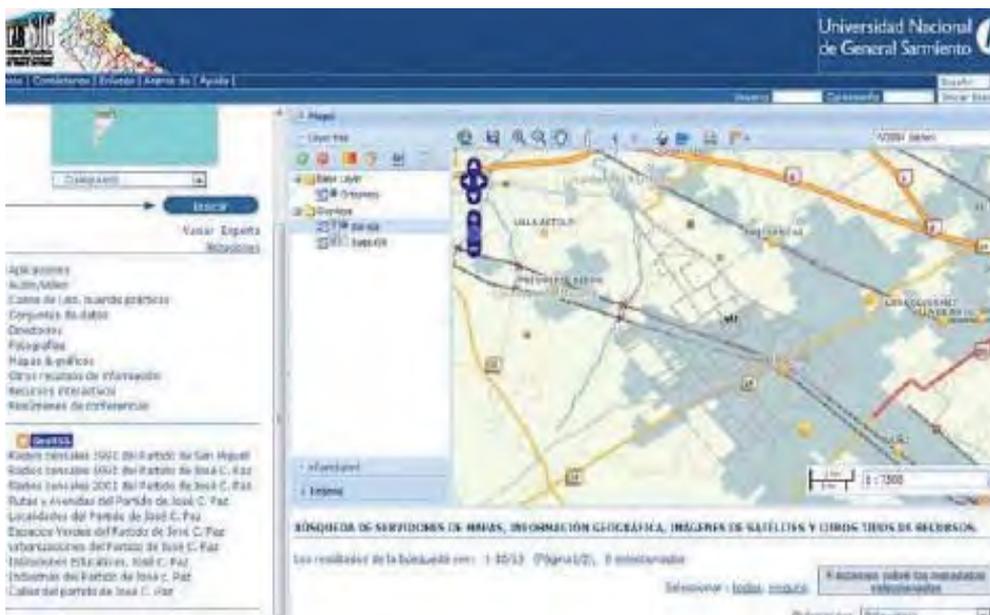
Fuente de elaboración propia

- **Conjunto de Datos:**

A partir de una búsqueda se puede acceder al conjunto de datos descritos en el cuadro anterior, accediendo a la visualización en un mapa interactivo de la información geográfica disponible, logrando la superposición de diferentes capas temáticas propias como así también de servicios de datos externos. Seguido, se describe en la figura n° 3 una visualización de los límites de los barrios del Partido de José C. Paz con una superposición del Mapa Base del servicio WMS provisto por

el Instituto Geográfico Nacional de Argentina.

Figura 3



Fuente de elaboración propia

- **Los Servicios Web (interoperabilidad)**

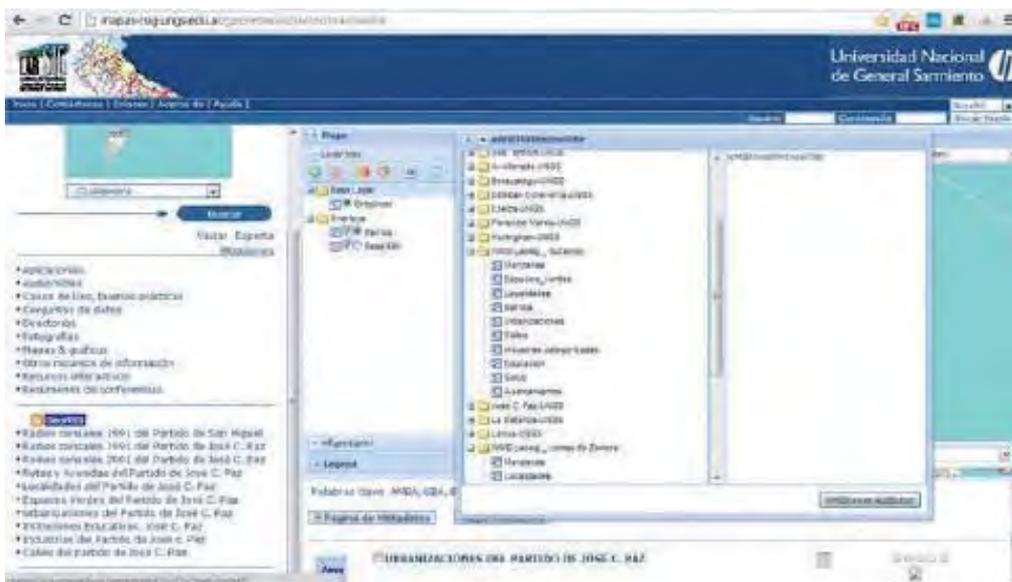
Comúnmente, se entiende por interoperatividad como “la capacidad para comunicar, ejecutar programas o transferir datos entre varias unidades funcionales de forma que un usuario necesite pocos conocimientos de las características de estas unidades”<sup>2</sup>. Para que dos sistemas diferentes puedan comunicarse e intercambiar información primero deben avisar de su existencia y su voluntad para el intercambio y, segundo, deben utilizar una semántica adecuada para resolver los problemas técnicos que puedan presentarse.

En este contexto, se denominan Servicios Web (Web Services) a un grupo

<sup>2</sup> Ver el documento sin fechar de la European Territorial Management Information Infrastructure (ETMII) sobre interoperatividad traducido al catalán en <<http://www.geoportal-idec.net/geoportal/cat/docs/interoperativitat.pdf>> [consulta de 31 de marzo de 2004]

de tecnologías basadas en la interoperatividad y que cumplen una serie de condiciones: son abiertas, neutras con respecto a la plataforma y explotan la arquitectura de la web. Estas tecnologías están pensadas para crear servicios distribuidos, que funcionen de forma autónoma y que deben comunicarse o colaborar entre ellos. Finalmente, se observa en la figura N° 4, la ventana de acceso a los servicios wms que dispone la IDE para los partidos del conurbano como para la región.

Figura 4



Fuente de elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

Se ha logrado evidenciar a lo largo de este trabajo la voluntad expresa por parte de la Universidad Nacional de General Sarmiento a través de su Laboratorio en Sistemas de Información Geográfica de poner a disposición, al conjunto de la sociedad, información geográfica sistematizada, actualizada y de calidad. Hemos mostrado el camino recorrido, atravesando las diferentes etapas, que hoy nos permite presentar y compartir la Infraestructura de Datos Espaciales del LABSIG. Como ya hemos mencionado, es un desafío integrarlos a una estructura mayor a nivel nacional como el objetivo de llegar cada vez a más usuarios.

Por último entendemos que las ventajas de la interoperatividad se visuali-

zan claramente cuando existe una decisión política e institucional de compartir los datos, no solo al interior de la institución, sino con el resto de la comunidad, logrando así una real transferencia de conocimientos e información que apoya al proceso de toma de decisiones y de empoderamiento de nuestra sociedad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Moreno Segura, E.L. (2010): “Análisis espacial para la identificación de zonas con prioridad de intervención para el desarrollo y mejoramiento del Centro Histórico de Tegucigalpa y Comayagüela”, en Revista Postgrados UNAH, Año4, N0.4, págs. 164-176.
- Capdevila i Subirana, J. (2003): “Infraestructura de datos espaciales (IDE) Definición y desarrollo actual en España”, en revista Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Vol. VIII, núm. 170 (61), 1 de agosto de 2004.
- Mejia Avila, D (2008): “Sistemas de Información Geográfica, Infraestructura de Datos Espaciales y Educación”, en revista Mapping ISSN 1131-9100, N° 125, 2008 págs. 42-49.

### Referencias en línea:

- Guimet, J. (2003) “El proceso de creación de la infraestructura de datos espaciales de Cataluña (idec): inercias y sinergias”, Disponible en [http://www10.gencat.net/dursi/generados/catala/departament/recurs/doc/cis05\\_guimet.pdf](http://www10.gencat.net/dursi/generados/catala/departament/recurs/doc/cis05_guimet.pdf)

# *Series cartográficas y base de datos de información geográfica producidas en España*

Javier González Matesanz, Javier García García,  
Juan Luis Bermúdez González, Adolfo Dalda Mourón, y  
Francisco Maza Vázquez

## **Resumen:**

Las tareas de elaboración o actualización de la cartografía nacional de un país deben iniciarse con el análisis pormenorizado de las opciones disponibles, y aprovechar la experiencia y conocimientos adquiridos por otros productores en la elaboración de sus mapas, tanto en técnica como en estética. En el Instituto Geográfico Nacional se dispone de una amplia variedad de productos cartográficos básicos y derivados cubriendo una gran variedad de escalas y productos que van desde 1:25.000 hasta escalas muy pequeñas como 1:8.000.000. En algunas series se dispone de una dualidad entre la base de datos de Información Geográfica y la versión mapa o cartográfica de la misma. De esta forma, se conserva una resolución aproximadamente mitad en la base de datos, es decir BTN25 (Base Topográfica Nacional 1:25.000) tiene una resolución 1:10.000 (aproximadamente) como fuente principal de MTN25 (Mapa Topográfico Nacional), y BTN100 (Base Topográfica Nacional 1:100.000) con una resolución 1:100.000 que es el soporte fundamental del Mapa Provincial 1:200.000. Sin embargo, debido a los ciclos de vida de escalas pequeñas, por ejemplo 1:1.000.000, es necesario realizar en ellas actuaciones más frecuentes que en escalas grandes que deben ser aprovechadas en la medida de lo posible en estas escalas, aunque sea generalmente solo a nivel semántico.

**Palabras clave:** Series cartográficas/MTN25/MTN50/BTN25/Cartografía oficial

## **Abstract:**

Making or updating the National cartography of a country requires a well "in deep" analysis of any option available and to take advantage and knowledge of other cartography producers, in the technique and esthetic sense. In the Instituto Geográfico Nacional of Spain we do have a great range of basic and derived

cartography from 1:25.000 scale to lesser ones as 1:8.000.000. In some series we have a duality between the Geographic Information Database and the map version, or the cartographic version. In this sense, we retain half the resolution in the database, this means that BTN25 (National Topographic Database 1:25.000) have 1:10.000 resolution (approximately) and BTN100 (National Topographic database 1:100.000) is the geometrical support of the Province Maps 1:200.000. However, due to the lifecycle of smaller scales, for instance 1:1.000.000, a shorter updating period is needed than in greater ones that should be taken into account, as much as can, although this can be done only in the semantic part of the geographical object.

**Keywords:** Cartographic Series/MTN25/MTN50/BTN25/Official cartography

---

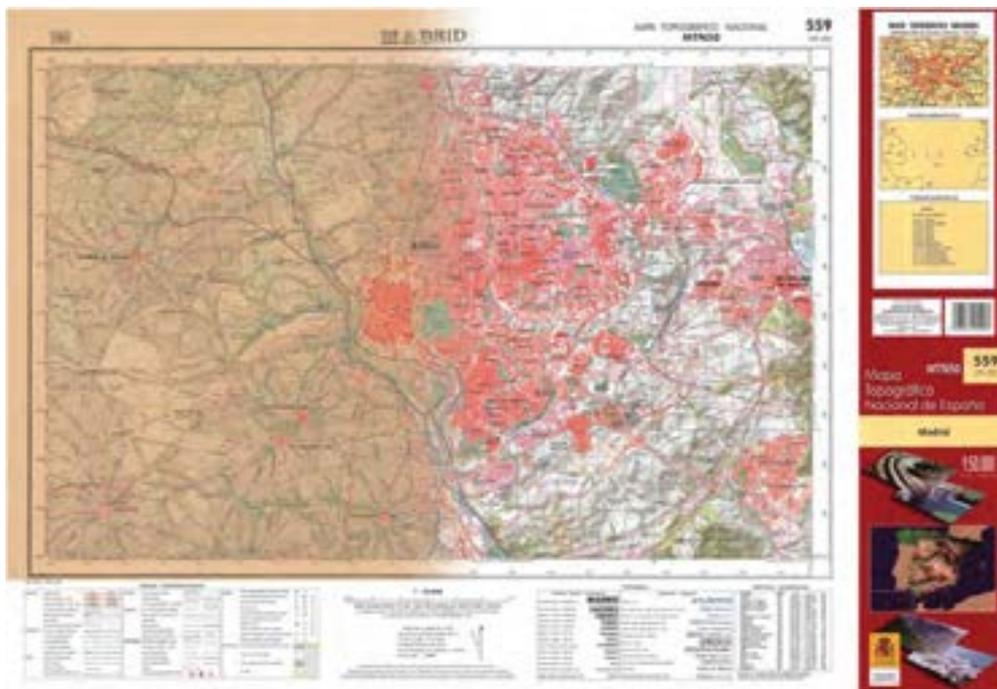
**González Matesanz, Javier** (figmatesanz@fomento.es), Instituto Geográfico Nacional de España/Universidad de Alcalá; **García García, Javier** (fjggarcia@fomento.es), Instituto Geográfico Nacional de España; **Bermúdez González, Juan Luis** (jlbermudez@beritec.es), BERITEC Cartografía y catastro SL; **Dalda Mourón, Adolfo** (adolfo.daldamouron@gmail.com), Instituto Geográfico Nacional/Universidad de Alcalá; **Maza Vázquez, Francisco**,(francisco.maza@uah.es), Universidad de Alcalá.

## 1. ANTECEDENTES

El Instituto Geográfico Nacional fue creado en 1870 siendo su primer Director el Coronel Ibáñez e Ibáñez de Ibero. Sus misiones consistían en realizar los trabajos relativos a la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, triangulaciones geodésicas de diversos órdenes, nivelaciones de precisión, triangulación topográfica, topografía del mapa y de catastro, así como las cuestiones relativas a pesos y medidas. Hoy en día, tras 143 años de tradición cartográfica, los rápidos canales de difusión de la Información Geográfica (IG) obligan a replantear métodos mucho más eficientes y automáticos, en la medida de lo posible, para satisfacer las demandas de los usuarios, tanto corporativos como privados.

Las Bases y las Series Cartográficas Nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) tienen por objetivo producir y actualizar la información geográfica y cartográfica institucional que compete al IGN y promover la disponibilidad de información geográfica en cooperación con las Administraciones Públicas, satisfaciendo sus requerimientos para la prestación de servicios y productos a la sociedad (García-Asensio, 2009) y, pueden dividirse en dos grandes bloques, los destinados a Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la cartografía digital e impresa. Los primeros comprenden la Base Topográfica Nacional 1:25.000 – BTN25 que constituye el soporte geométrico y semántico fundamental para la Cartografía Básica del Estado y la Base Cartográfica Numérica 1:200.000-BCN200. El segundo de los bloques lo componen: el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 – MTN25 (Cartografía Básica del Estado), el Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 – MTN50, el Mapa Provincial 1:200.000, los Mapas Autonómicos, el Mapa de España 1:500.000, los Mapas Generales de España 1:1.000.000 y 1:2.000.000 y la Cartografía en Relieve.

Figura 1. Hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 de ediciones separadas más de 100 años



Por otra parte, en los últimos años se ha realizado un enorme esfuerzo normativo en materia de IG disponiendo en la actualidad de un vasto número de normas que permiten articular y ordenar no solo la producción cooperativa e interoperable de IG sino también acercar y poner a disposición de los usuarios estos recursos, un listado de disposiciones legales existentes que afectan a la IG producida por la administración sería el siguiente (Lázaro y Jiménez de Cisneros, 2010):

- Ley 11/1975, de 12 de marzo sobre Señales Geodésicas y Geofísicas.
- Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local
- Ley 7/1986, de 24 de enero, de Ordenación de la Cartografía.
- Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario.
- Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE).
- Ley 11/2007, de 22 de junio, de Acceso Electrónico de los Ciudadanos a los

Servicios Públicos. Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre Reutilización de la Información del Sector Público.

- Real Decreto 2421/1978, de 2 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley
- 11/1975, de 12 de marzo, sobre Señales geodésicas y geofísicas.
- Real Decreto 417/2006, de 7 de abril, por el que se desarrolla el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo.
- 11/1975, de 12 de marzo, sobre Señales geodésicas y geofísicas.
- Real Decreto 417/2006, de 7 de abril, por el que se desarrolla el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo.
- Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE).
- Real Decreto 663/2007, de 25 de mayo, por el que se aprueba el Estatuto del Centro Nacional de Información Geográfica.
- Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España.
- Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional.
- Real Decreto 4/2010, de 8 de enero, por el que se regula el Esquema Nacional de Interoperabilidad en el ámbito de la Administración Electrónica.
- Real Decreto 638/2010, de 14 de mayo, por el que se modifica y desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento.
- Orden FOM/956/2008, de 31 de marzo, por la que se aprueba la política de difusión de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
- LISIGE. Ley sobre las Infraestructuras y los Servicios de Información Geográfica, aprobada el jueves 17 de junio de 2010.

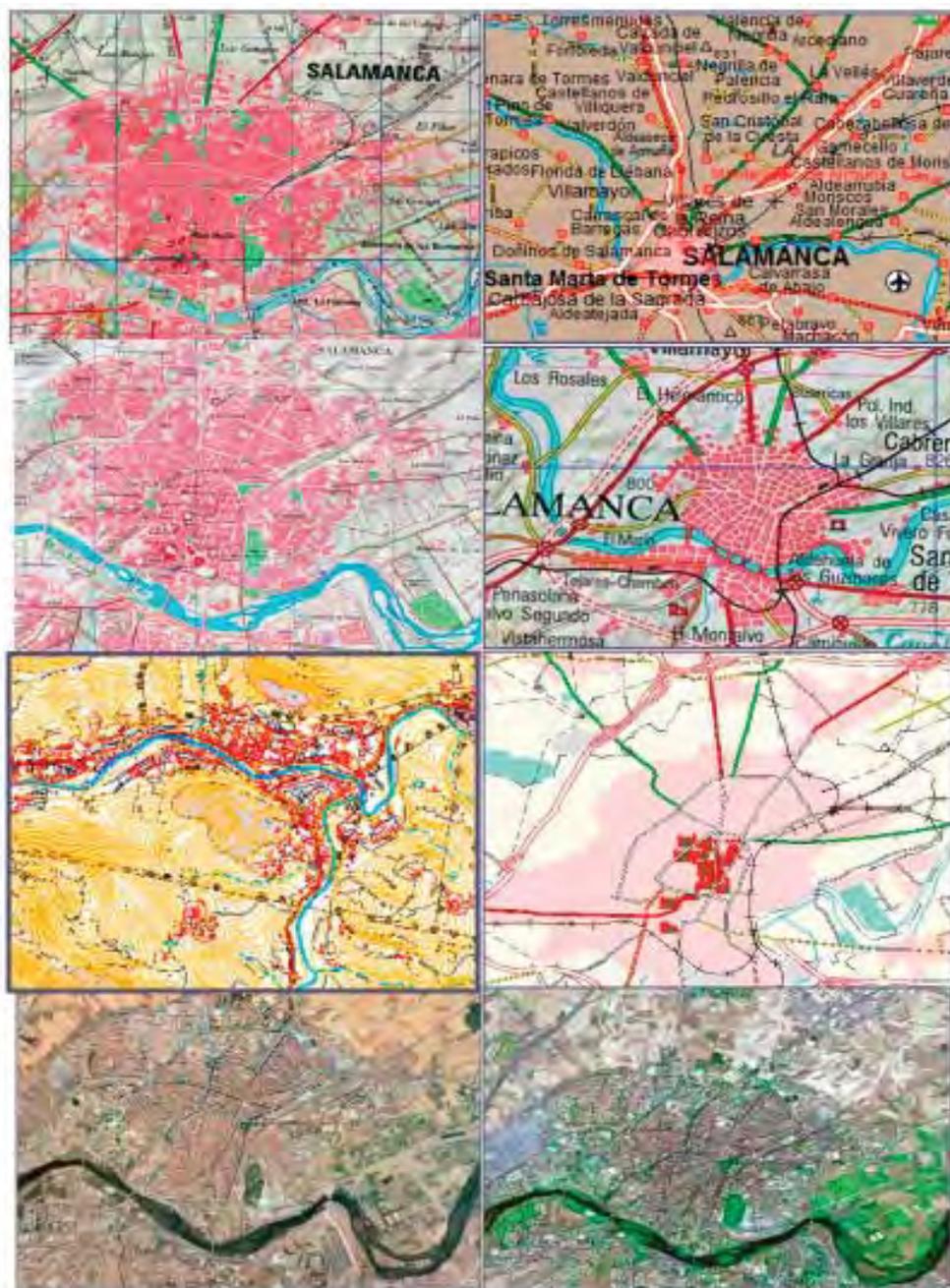
Consecuentemente, el nuevo “teatro de operaciones” en cuanto a la producción de IG se refiere, cristaliza el carácter de actividad instrumental de la cartografía y permite la reutilización e interoperabilidad de la IG generada por distintos actores y niveles de administración a través de la LISIGE Esta Ley impulsa el aprovechamiento de las nuevas tecnologías en los servicios de información geográfica,

potenciando su calidad técnica, y teniendo en cuenta su utilidad como servicio público.

La LISIGE dota de rango legal el Sistema Cartográfico Nacional (RD 1545/2007), hace efectiva la directiva INSPIRE, y marca como mecanismo prioritario la cooperación entre las Administraciones y la política de difusión libre de la Información Geográfica digital generada. Regula las competencias en relación con los servicios de cartografía oficial y la Infraestructura de Información Geográfica de España, cuya constitución y mantenimiento corresponde al Consejo Superior Geográfico. El IGN por su parte actúa como coordinador y operador de esta infraestructura. En su Disposición adicional segunda impulsa una política de difusión libre de la información geográfica de referencia y de la cartografía topográfica digital garantizando a su vez el uso de las lenguas oficiales del Estado. Materializa así mismo la Información Geográfica de Referencia constituida por: El Sistema de Referencia Geodésico, El Sistema Oficial de Coordenadas, La toponimia del Nomenclátor, Geográfico Básico de España y otros Nomenclátors, Delimitaciones Territoriales del Registro Central de Cartografía, El Inventario Nacional de Referencias Geográficas Municipales, La parcela catastral (DG Catastro + Diputaciones Forales), la Altimetría y batimetría, Redes de transporte, Hidrografía (Ley de Aguas), Lugares protegidos Internacionales a autonómicos, Ocupación del suelo, Geología y geomorfología, Direcciones y Entidades de población. Constituyendo 14 temas a los que se añaden 21 temas pertenecientes a los datos temáticos fundamentales del Anexo II y 8 temas de datos temáticos generales.

La Directiva INSPIRE establece una infraestructura de “información de referencia”, es decir, de una cobertura completa, actualizada y armonizada de Europa, que se realiza de manera ésta información sea recogida una vez y mantenida donde se logre máxima efectividad, la interoperabilidad hace posible combinar la información geográfica con total continuidad para toda Europa desde fuentes diversas y compartirla entre usuarios y aplicaciones, lo que provoca una coordinación a cuatro niveles de Administración.

Figura 2. Algunas representaciones de diversos productos, de la esquina inferior izquierda y siguiendo un orden horario: Ortofoto 25cm de resolución, BTN25, MTN25, MTN50, 1:500.000, MP200, BTN100, imagen SPOT5



## 2. BCN25 y BTN25

Armonización implica no solo el cumplimiento de la LISIGE sino, a efectos prácticos, el desarrollo de un catálogo de fenómenos geográficos a una escala común entre Comunidades Autónomas (CCAA). La Comisión Especializada de Normas Geográficas fue la encargada de realizar este trabajo, generando la Base Topográfica Armonizada cuya versión 1.0 fue aprobada por la por la Comisión Técnica Permanente del Consejo Superior Geográfico en su reunión del 4 de noviembre de 2008. Uno de los objetivos de BTA es la interoperabilidad de la información geográfica digital de la cartografía topográfica 1:5.000 y 1:10.000 generada por la Administración, tanto a nivel nacional como regional y local. Este hecho obliga en cierta forma a desarrollar un protocolo de case entre los fenómenos geográficos al llegar a la frontera entre dos CCAA de forma que el producto final sea una base de datos de información geoespacial continua.(CENG, 2007). Por consiguiente, es preciso realizar convenios con las CCAA de manera que la armonización entre la cartografía producida por las Agencias Cartográficas Regionales (AGR) de las CCAA y la propia generada por el IGN permitan dar la misma visión del territorio a un usuario. Estos convenios se sustentan en la generación de un producto común de aprovechamiento mutuo que “engrana” las dos producciones cartográficas y permite producir la Base Topográfica Nacional 1:25.000 (BTN25) de forma cooperativa.

A mediados de 2005 la Subdirección General de Geodesia Cartografía inició los trabajos de formación de la BTN25 y abandonando el producto precedente BCN25 (Base Cartográfica Numérica 1:25.000) cuya geometría procedía directamente del MTN25 (Mapa Topográfico Nacional 1:25.000) y que por consiguiente adolecía de los desplazamientos y restricciones necesarios en los procesos de redacción cartográfica de esta serie.

BTN25 por el contrario tiene una geometría que procede de restitución, con una calidad posicional próxima a una escala 1:12.500, en 3D y con todo el contenido semántico de MTN25. Para realizar esta transición se ideó un proceso que permitiera rescatar la geometría de restitución por una parte y la riqueza semántica generada en BCN25 mediante una correlación entre ficheros realizada de forma semiautomática.



Figura3. BCN25 (Izda) y BTN25 (Dcha.)

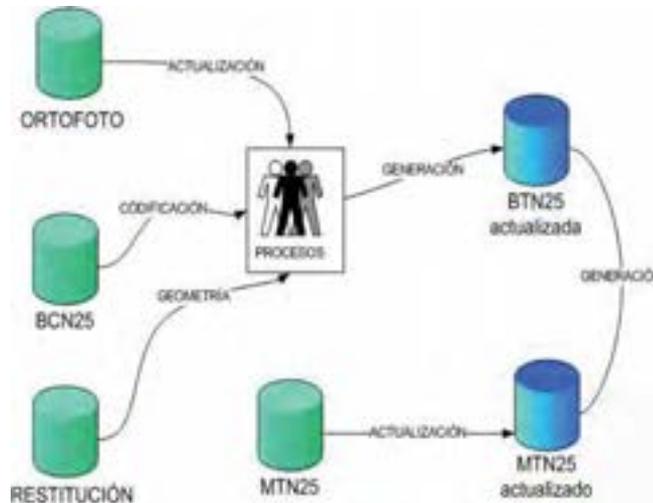


Figura 4. Procedimiento de recuperación geométrica.

De esta manera se consigue, por una parte generar de una forma relativamente rápida una versión primera de BTN25 para su actualización rescatando la geometría de restitución y todo el trabajo de enriquecimiento semántico de BCN25. A partir de esta BTN25 se genera una versión de MTN25 con la que se actualiza este último.

Una de las tareas que más tiempo consumen es llevar a cabo los controles de calidad tanto en BTN25 como en BTA+, con el espíritu de acelerar y automatizar cuantos controles sean necesarios, se ha diseñado un procedimiento que permite,

tanto en la fase de captura o edición, como en una revisión posterior aplicar reglas semánticas. Las reglas semánticas consisten en la formalización del conocimiento de los controles de calidad en forma de consultas espaciales tanto para captura, formación y edición. Las Reglas Semánticas son las normas de captura y formación; las de edición son las normas de edición escritas y no escritas, es decir, la formalización del conocimiento de los distintos revisores. Se han generado reglas tanto para BTN25 como para MTN25 para su implementación en tiempo real (captura y formación) y en post-proceso (validación de captura y formación). Las de Edición se implementan en la fase de validación de hojas ya creadas, es decir, en Edición se trata de pasar controles automáticos a las hojas contratadas o producidas por medios propios, con el objetivo de rebajar tiempo de revisión, en principio se trata de implementarlas desde la captura, evitando no sólo la trasmisión de errores, sino evitando algo más importante que es no llegar a cometer el error, tenerlo controlado en la fase de captura y actualización. Es posible formalizar este conocimiento de muy diversas maneras, y siempre se plantea de forma que exista el mejor equilibrio posible entre “el estado actual de BTN25” y “lo que se desea tener” de forma que no se incluyan excesivas reglas que no se cumplan en las propias especificaciones actuales o sea muy laboriosa su introducción, un ejemplo de reglas semánticas son:

- Entidad de población debe contener dos o más Edificaciones
- Punto de cruce de Río (Permanente) con Vías de comunicación, debe tocar Paso elevado lineal (sin pasarela) o Paso elevado superficial
- Embalse debe unirse a Presa y Río
- Unión de Presa debe unirse a Embalse
- Punto de cruce de Autopista/Autovía con otra vía debe tocar Paso elevado lineal (sin pasarela), superficial, o Túnel Lineal
- Frontera de Isla debe coincidir exactamente con Curva de nivel cota 0
- Punto intermedio de Embalse no debe estar contenido en Presa o Río
- Extremo de Línea eléctrica debe terminar en Torre de alta tensión, Transformación eléctrica o Línea eléctrica
- Edificación puede ser solapado por Punto acotado, Antena, Vértice geodésico, Límite administrativo, Curva de nivel, Línea eléctrica o Edificación
- Línea de costa debe coincidir con Curva de nivel de cota 0

		SIEMPRE	NO SIEMPRE
S Y D	RIOS CORRIENTES	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 3) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de
	RIOS CORRIENTES	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de
S Y D	RIOS CORRIENTES	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de
	RIOS CORRIENTES	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de	1) Sistemas de transporte que se cruzan con Puentes de Arco, viaductos y Puentes de 2) Puentes de Arco, viaductos y Puentes de

Figura 5. Ejemplo de aplicación de reglas semánticas



Figura 6. Ejemplo de aplicación de reglas semánticas

En la Figura) se puede observar un ejemplo de regla semántica donde se ha detectado automáticamente que un río se cruza con una autovía y no existe un paso elevado. Y en la misma figura a la derecha se puede apreciar la detección de elementos superpuestos, en este caso, un edificio superpuesto a una vía de comunicación.

### 3. ACTUALIZACIÓN DE MTN25

Una vez terminada la primera versión completa de MTN25 hace ya algunos años, se vienen haciendo sucesivas actualizaciones, bien partiendo de BTN25 producida de forma armonizada con las CCAA, bien por medios propios. Evidentemente, MTN25 es un producto cartográfico puro y en consecuencia sufre de desplazamientos, simbolizaciones y selección de elementos propios de los

procesos habituales de redacción cartográfica. Por si fuera poco, para la actualización de MTN25 se utiliza como referencia BTN25 pero no de forma exclusiva, sino que BTN25 se ha convertido en una fuente más para su actualización y como hemos citado anteriormente existe una diferencia de escala, mientras BTN25 tiene tecnología SIG y una geometría próxima a la escala 1:10.000, MTN25 es un producto puramente cartográfico a escala 1:25.000. Para agilizar la actualización se ha desarrollado un procedimiento de detección de cambios entre BTN25 y MTN25, de esta manera se actualiza solo aquellos elementos que han cambiado, añadido o borrado. Algunos de los problemas habituales en esta fase son: no todos los elementos BTN son representados en el mapa, varios elementos BTN pueden ser representados por un elemento Mapa, un elemento BTN puede ser representado por dos o mas elementos mapa, la posición de un elemento BTN y su representación mapa pueden estar desplazados, la geometría BTN y mapa no son la misma, en mapa se representa como símbolos elementos superficiales.

En la figura anterior se pueden observar cambios detectados en edificaciones, estas o bien son nuevas o bien son edificios que han modificado su superficie o ésta difiere significativamente en MTN25. El propio proceso de detección de cambios transmite los mismos al equipo de MTN25 ya generalizados de forma que con un proceso semi-automático secuencial se van recorriendo uno a uno aceptándose o rechazándose.



Figura 7. Ejemplo de detección de cambios.

## 4. PEQUEÑAS ESCALAS

Si todos los procesos citados anteriormente son complejos, el nivel de complejidad crece exponencialmente según aumenta el denominador de la escala, esto es, un mapa a escala 1:200.000 sufre de muchos más procesos de redacción cartográfica que uno a escala 1:25.000 (Merino y González.-Matesanz, 2009), consecuentemente la divergencia entre la versión cartográfica y la base de datos es mayor. Por otra parte, las necesidades de actualización son mucho más críticas cuanto menor es la escala del mapa, si para MTN25 se tiene un objetivo de 5 años, en el caso de MP200 (Mapa Provincial 1:200.000) el objetivo es de uno o dos años y consecuentemente debe tener una actualización independiente de MTN25. Si en escalas grandes se pueden encontrar sinergias con las CCAA, en escalas pequeñas el CEGET (CEntro Geográfico del Ejército de Tierra) no solo tiene una problemática similar sino también una tecnología análoga. Es obvio que es posible establecer una colaboración en la producción de bases topográficas a escalas 1:100.000 y 1:200.000, pues de nuevo la base topográfica (BCN200) que subyace en MP200 tiene una resolución doble, de manera similar a cuando se compilaban las minutas al formar una hoja de forma analógica (González.-Matesanz, 2006).



Figura 8. Misma realidad representada por BCN200 y serie C respectivamente.

Como trabajo previo se realiza un análisis de los dos modelos de datos, serie C-CEGET y BCN200-IGN resultando como sigue:

- Modelo Serie C - CEGET
  - o Modelo cartográfico
  - o Finalidad para uso militar
  - o 205 clases de entidad (149 geometría + 56 textos)
  
- Modelo BCN200 – IGN
  - o Modelo SIG
  - o Finalidad para uso civil
  - o 47 clases de entidad (geometría)

La manera más sencilla que satisface los requerimientos de ambos organismos pasa por la generación de una base topográfica a escala 1:100.000 compartida que permita la producción impresa de la serie C y que mediante procesos de generalización (Dávila, 2007) sea capaz de producir una versión 1:200.000 que de lugar por una parte al 250.000 del CEGET y al MP200 del IGN. En una fase posterior se abordará continuar con la generalización de esta base 200.000 a 500.000 para la producción de ME500 (Mapa de España 1:500.000) (Celada y Núñez, 2007) y el 500.000 de CEGET.

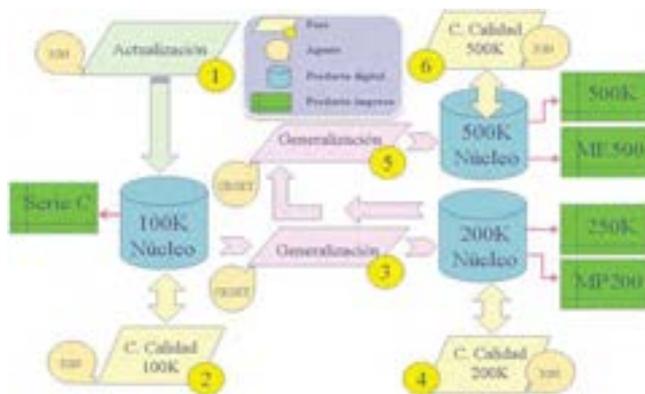


Figura 9. Flujo de trabajo colaborativo con CEGET.

Este modelo inicial a escala 1:100.000 (Base100) se completa de forma conjunta y a mediados de 2010 se inicia la primera hoja piloto de producción compartida.

- 55 clases de entidad

- o 31 aporta IGN
  - Límites administrativos
  - Usos de suelo
  - Edificaciones y núcleos urbanos (excepto muralla)
  - Comunicaciones (excepto puente, faro y aeropuerto p.)
  - Conducciones: estación de telecomunicaciones. y depósito de combustible
  - Vértices geodésicos
  
- o 24 aporta CEGET
  - Altimetría
  - Hidrografía
  - Conducciones (excepto estación de telecomunicaciones. y depósito de combustible)
  - Otras: puente, muralla, faro, aeropuerto p.

## 5. FLUJO IDEAL DE TRABAJO

En la actualidad todas las cadenas de producción se están migrando de tecnología CAD a SIG, esto implica un drástico cambio tanto en tecnología como en forma de actuar. El reto es mantener en determinadas escalas o productos estratégicos al menos dos representaciones de un mismo fenómeno geográfico, la versión “fuente” o topográfica con geometría coincidente a la escala con el mundo real, y la versión “cartográfica” simbolizada a una escala concreta.

Una vez se han consolidado las bases topográficas, BCN200 o BTN25, bien sea por medios colaborativos o producción propia, pasan a una base de datos centralizada Oracle Spatial 10g. A partir de esta base de datos se puede actualizar por medios propios utilizando una simbolización ligera (González.-Matesanz et al., 2007), esto es, los fenómenos geográficos son representados de forma coherente con la realidad terreno a la escala escogida sin sufrir procesos de redacción cartográfica. En caso de necesitar versión mapa se utiliza Geomedia MapPublisher (Merino, 2008) para generar una versión cartográfica del mismo fenómeno, así se puede simbolizar, desplazar, seleccionar y borrar elementos sin perder la coherencia con la versión “fuente” y con resolución de conflictos cartográficos de manera automática y asistida, las sucesivas actualizaciones se realizarán siempre modificando la versión “fuente” y el propio programa se encarga de gestionar únicamente

las modificaciones. Una vez se obtiene este producto comienza el etiquetado automático, pues en toda base topográfica el nombre del fenómeno o su etiqueta, es un atributo del elemento que puede ser posicionado automáticamente con un éxito aproximado del 80%, el resto es trabajo manual pero que queda almacenado para posteriores ediciones (Celada, 2008). Y finalmente si es necesario se generan sombreados e hipsometría para pasar a plancha de forma directa a través de PDF.

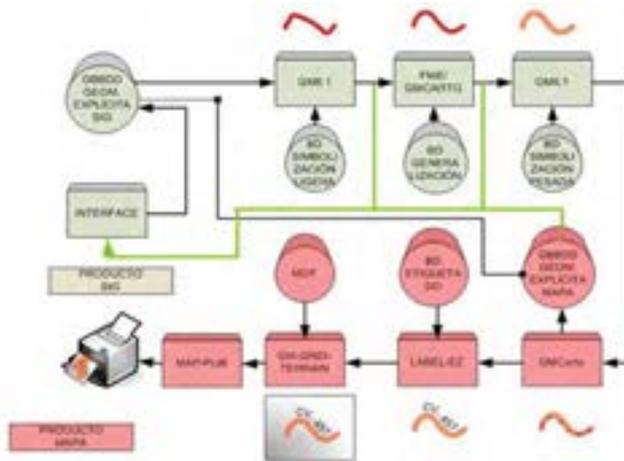


Figura 10. Flujo de producción ideal.

## 6. CONCLUSIONES

Tanto las herramientas normativas disponibles en la actualidad como la propia tecnología permiten la producción cooperativa de información geográfica a distintas escalas y con diversos objetivos. Sin embargo gran parte de los procesos tienen una solución “difusa o borrosa”, por ejemplo los de generalización, abocando al productor a soluciones de compromiso que permitan no penalizar en demasía las cadenas de producción. En todo caso, gran parte de los controles de calidad pueden llevarse a cabo de forma automática o semi-automática, y en el peor de los casos asistida, una vez que se migra la tecnología hacia Sistemas de Información Geográfica y se puede formalizar el conocimiento en forma de consultas espaciales tanto en tiempo real como en postproceso. Indudablemente, el usuario actual demanda información geográfica de fácil acceso y actualizada, especialmente en aquellos fenómenos geográficos especialmente sensibles a las personas, redes de transporte y poblaciones, algo que ningún organismo es capaz de producir a la ve-

locidad deseada de forma independiente y por tanto se ha de establecer un marco de colaboración para la producción cooperativa para lo cual las herramientas normativas existentes son especialmente útiles (por ejemplo el Sistema Cartográfico Nacional) que no solo regula y ordena la producción cartográfica sino que permite el diseño de un verdadero Plan Cartográfico Nacional que satisfaga a productores y usuarios.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este artículo es fruto del trabajo del Grupo de Apoyo y Desarrollo del Área de Cartografía Básica y Derivada: Valeriano Martín-Carrascal, Alfonso Marín, Francisco Sánchez, Francisco Dávila, José Antonio Merino, Tania Gullón, Ana de las Cuevas, Ana Maldonado, Jesús Celada, Eduardo Núñez y Ángela Ruiz, para todos ellos mi más sincero agradecimiento. Es merecido también el agradecimiento a nuestros colegas del CEGET por su dedicación y entusiasmo en el proyecto de colaboración a escalas 100.000 y 200.000.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Celada, J., 2008. Pilot Project ME500 and MP200 Prototype. New Cartographic Hardcopy Production Process with GeoMedia Professional Intergraph Annual User Meeting, Las Vegas, Nevada.
- Celada, J. y Núñez, E., 2007. GIS tools implementation in IGN Cartographic Production: ME500 and 'CartoImage', EuroCartoSIG2007, Zagreb, Croacia. CENG, 2007. Especificaciones BTA, Comisión de Normas Geográficas
- Dávila, F.J., 2007. Generalización en el Instituto Geográfico Nacional de España. In: (publicación interna) (Editor), ICC2007, Moscú.
- García-Asensio, L., 2009. Producción cartográfica en el Instituto Geográfico Nacional, Curso Básico IGN.
- González.-Matesanz, J., 2006. SIG25 status at Cartography Area in IGNE. Internal report, IGNE annual meeting, Valencia.
- González.-Matesanz, J., Celada, J., Martín-Asín, G. y García-Asensio, L., 2007.

Towards an integral GIS cartographic production in the National Geographic Institute of Spain, Expogeomatica 2007, La Habana, Cuba.

- Lázaro, J. y Jiménez de Cisneros, M.A., 2010. Reparto de competencias y responsabilidades cartográficas en España. Como se organiza la cartografía oficial en España, CICUM, Jaén.
- Merino, J.A., 2008. Province Map 1:200.000 with Geomedia Map Publisher, EuroCartoSIG, Budapest, Hungría.
- Merino, J.A. y González.-Matesanz, J., 2009. New cartography production methodologies from Province Map 1:200.000, ICC2009, Santiago de Chile.

# *Creación de una geodatabase de los archivos geodésicos de la dirección general de catastro y geografía, Honduras*

Yessica Yamileth Sosa Reyes y Jessica Villatoro

## **Resumen:**

En el marco de la práctica profesional de la maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, se desarrolló la creación de una Geodatabase en la Dirección General de Catastro y Geografía (DGCG), la que sería el comienzo para una base de datos más segura y organizada, que permita una mejor distribución de datos geográficos generando para ello una cartografía confiable y altamente calificada.

La creación de la Geodatabase permitió ordenar archivos de la elaboración digital de las hojas cartográficas, mapas departamentales, mapas municipales, mapa oficial del territorio de Honduras y otros que se generan desde el departamento de cartografía de la DGCG.

Para la creación de la Geodatabase se utilizó una metodología la cual consistió en un proceso secuencial de pasos que incluyen: generación de File Geodatabases, Feature data set y Features Class, seguido de la migración de datos digitales en formato shapefile elaborados en el programa Arc View al programa Arc Map de ESRI, en donde se encontraron archivos desde Shapefiles, Tablas, Raster y otros compatibles a la estructura de datos nativa. Al mismo tiempo se realizó una comparación de la base de datos creada con la ya existente, con el fin de detectar posibles deficiencias o mejoras potenciales tanto de la geodatabase como de la manera de creación de los archivos digitales generados dentro de la DGCG.

Se concluye que la creación de una geodatabase para la DGCG permitirá a corto, mediano y largo plazo un manejo adecuado de la información, mejor edición, actualización y administración de datos geográficos del departamento de Cartografía de la DGCG.

**Palabras clave:** DGCG, Cartografía, Geodatabases(bases de datos), Feature data

set, Feature Class.

### **Abstract:**

In the context of professional practice expertise in Planning and Land Management, was developed to create a geodatabase in the Cadastre and Geography (DGCG), which would be the start to a database more secure and organized, which allows a better distribution of geographic data for this mapping generating reliable and highly qualified.

Creating the Geodatabase allowed the development order digital files of map sheets, city maps, city maps, official map of the territory of Honduras and others that are generated from the mapping department DGCG.

For the creation of the Geodatabase methodology was used which consisted of a sequential process steps including: generation File Geodatabases, Feature data set and Features Class, followed by migration of digital data in shapefile format developed in the program Arc View the ESRI ArcMap program, where they found files from shapefiles, tables, and other compatible raster data structure natively. At the same time a comparison of the database created with the existing order to identify any weaknesses or potential improvements of both the geodatabase and the way to create digital files generated within the DGCG.

It is concluded that the creation of a geodatabase for DGCG enable short, medium and long term proper management of information, best editing, updating and management of geographic data department DGCG Mapping.

**Keywords:** DGCG, Cartography, Geodatabases (satos bases), Feature data set, Feature Class.

---

**Yessica Yamileth Sosa Reyes** (yessicasosa@yahoo.com); **Jessica Villatoro**, (jeki\_villatoto@hotmail.com). Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Dirección General de Catastro y Geografía.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las funciones del Departamento de Cartografía de la DGCG, está la de crear, desarrollar y administrar, un sistema nacional de Información territorial en materia de propiedad, creando así; la cartografía, la cual sigue una secuencia de pasos como: el diseño, elaboración y procesamiento, de Mapas Oficiales de Honduras, Hojas Cartográficas, Mapas Departamentales, Mapa Municipales, entre otros. (Instituto de la Propiedad)

Lejos quedan los tiempos en que las hojas cartográficas se elaboraban en formato papel por las instituciones nacionales encargadas de todo el proceso, en donde este era mucho más complejo, es así que en la actualidad los avances en informática y telecomunicaciones, junto al aumento de la capacidad en el manejo de computadoras y programas han transformado radicalmente el modo de producir, tratar e intercambiar cartografía; manejándola de forma digital. (Ruiz López, Coll ALiaga, & Martínez-Ilario)

En tal caso el Departamento de Cartografía de DGCG están haciendo logros para transformar la cartografía física a digital, teniendo en cuenta que hasta el momento existe una base de datos digital, que contiene información actualizada de 12 hojas cartográficas, 67 municipios (aproximados) y 14 departamentos; no obstante, la meta es actualizar 281 hojas cartográficas que componen el país.

La base de datos digital del Departamento de Cartografía de la DGCG ha sido diseñada y distribuida en carpetas directamente del disco C:/ y trabajada en el programa Arcview, sin embargo yendo al pie de la vanguardia, hoy en día se está trabajando con el programa ArcGis 10, el cual contiene sus propios iconos y lenguaje para guardar bases de datos ó Geodatabases.

Las geodatabases constituyen un formato de ArcGis de gran utilidad, al poder reunir dentro de un mismo archivo elementos de todo tipo: puntos, líneas, polígonos y elementos raster. El uso de las Geodatabases simplifica la entrega de proyectos a un tercero, dado que si está bien organizada, la información es fácilmente accesible y no hará falta grabar cientos de shapes en carpetas, sino solo geodatabase y el proyecto de archivo tipo \*.mxd de ArcGis. (Los SIG y sus aplicaciones prácticas).

La principal ventaja de manejar la información espacial en una geodatabase y no en archivos del sistema, es que se aprovechan las ventajas del Sistema Gestor de base de Datos Relacional esta incluye: restricciones de acceso y seguridad de la información, soporte para SQL– Structured Query Language- para realizar consultas espaciales complejas, la arquitectura cliente-servidor de la base de datos permite que múltiples usuarios realicen consulta y edición simultánea. (ESRI).

Además las Geodatabases garantizan una alta interoperabilidad, información cartográfica ordenada y jerarquizada, alto control del tipo de dato a introducir así como de su formato (cifras decimales y enteros), no acepta duplicidad, permite restringir los datos utilizando dominios, para así disminuir errores en atributos, permite utilizar y almacenar reglas de topología, e incluso programar reglas propias. (Ciampagna, 2010)

Viendo la importancia de tener datos actualizados, confiables y organizados para generar cartografía calificada por la DGCG, siendo parte del Desarrollo e innovación, se genero una Geodatabase referente al mismo formato que ofrece el programa ArcGis 10 a través de ArcCatalog, con mayores ventajas que una simple carpeta en el disco C:/ .

La información que a continuación se presenta es acerca de la Geodatabase creada en la cual la idea fue crear una base de datos actualizada, añadir los archivos shapefile existentes, mediante la importación de archivos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Generar una Geodatabase organizada, que permita un mejor manejo, modelado y control de la información geoespacial del departamento de Cartografía de la DGCG.

### **Específicos**

- Transformar datos cartográficos de formato Arcview a Arcgis del Departamento de Cartografía de la Dirección General de Catastro y Geografía (DGCG).
- Generar, a través de ArcCatalog Geodatabase's, que permitan el despliegue de una carpeta con nombre: ARCHIVO NACIONAL, este a su vez que contenga

archivos de cada proyecto (Hojas cartográficas), Departamentos y Municipios de Honduras, con sus respectivos shapes.

- Generar un manual de uso de Geodatabase, que permita a los usuarios conocer la técnica de transferir datos de carpetas del explorador de Windows a una geodatabase, para que la misma sea alimentada al crear nuevos proyectos, archivos, tablas, raster u otros elementos necesarios para la elaboración de cualquier trabajo de cartografía digital, necesaria dentro del departamento de cartografía.

## METODOLOGIA

La metodología de trabajo fue desarrollada bajo un diseño de base de datos en donde los archivos correspondientes están conformados por archivos tipo file-Geodataset y Feature Data set representando los Departamentos del territorio nacional de Honduras (divisiones políticas), las Hojas Cartográficas y Municipios.

Teniendo en cuenta cual es el propósito del diseño de una base de datos geo referenciada se enuncia lo siguiente; La base de datos ha sido procesada desde muchos años en forma análoga utilizando procesos donde la elaboración era tardía. En la actualidad existen programas que ayudan a minimizar el tiempo de elaboración de trabajos de cartografía, dentro de ellos; los de la casa comercial ESRI, manejando datos y proyectos digitales en formato Arcview, ahora en su versión actualizada de Arcgis.

Debido a la cantidad de información cartográfica importante para el departamento de Cartografía de la DGCG, se logro diseñar una Geodatabase de manera confortable y amigable, quedando conformada de la manera que se muestra la siguiente figura:

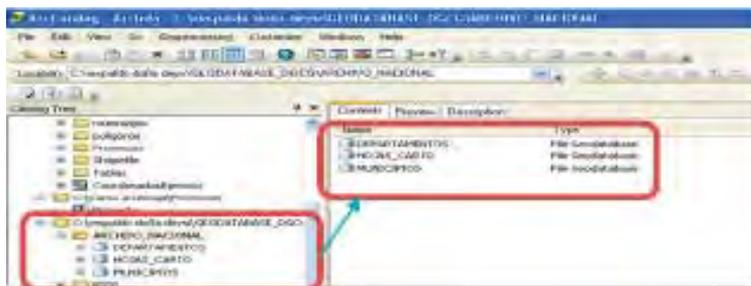


Figura N° 1: Archivo Nacional, conteniendo tres Geodatabases

- **DEPARTAMENTOS:** Los que comprenden las divisiones político administrativas de cada Departamento de Honduras.
- **HOJAS\_CARTO:** Los que comprende toda las hojas cartográficas del territorio nacional de Honduras.
- **MUNICIPIOS:** Que comprenden las divisiones administrativas de los municipios de Honduras.

Para cada Geodatabase se realizó la creación de Feature Data Set, así como se muestra en la figura 2:

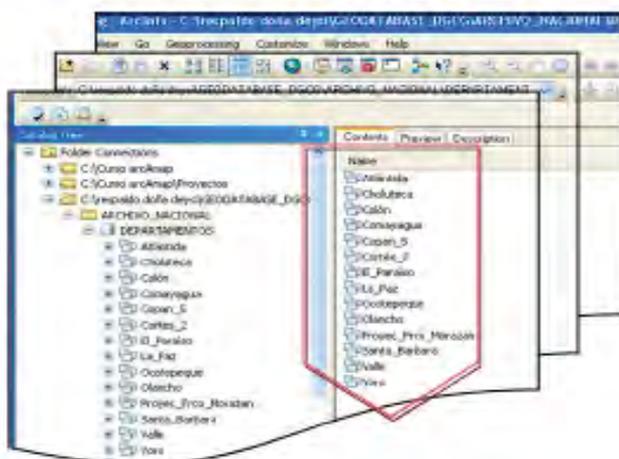


Figura N° 2: Feature data set de 14 Departamentos

Y para cada Feature data set, se genero la creación de Features Class. Los Feature class son los archivos tipo shape que conforman el feature data set, todos aquellos que forman los puntos, líneas y polígonos.

En la siguiente figura se muestran como quedan los archivos tipo shape, pertenecientes a cada Feature Data set.

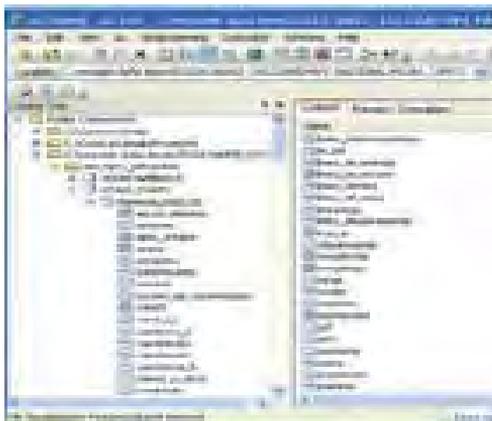


Figura N° 3: shape importados

## RESULTADOS

Dentro de las funciones y actividades que se realizaron están: la transformación de datos en formato arcview a formato arcgis y creación de una geodatabase de la base de datos de la gerencia de cartografía, de la dirección general de catastro y geografía.

La creación de la Geodatabase fue previamente diseñada de manera tal que permita estar en una localización fácil de encontrar dentro del computador en donde se tiene y se maneja la base de datos.

Un aspecto importante a considerar en la elaboración de la Geodatabase es que, al momento de ser creada se definió como su sistema de coordenadas geográficas: WGS 1984 (World Geodesic System).

Dentro del producto obtenido se tiene un Archivo de Nombre ARCHIVO NACIONAL con tres Geodatabases conformada de los siguientes elementos cartográficos tal y como se muestra en la figura N° 4.

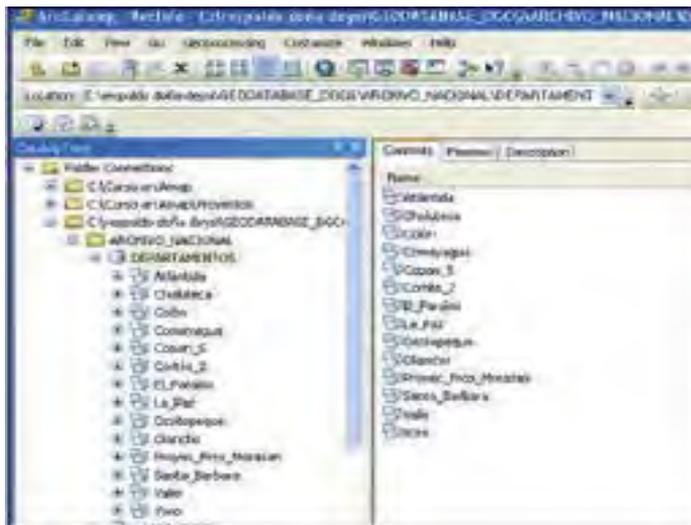


Figura N° 4: Diseño de la Geodatabase Propuesta

Además de ello se elaboró un Manual que servirá de base para las elaboraciones, reestructuraciones ó rediseños futuros de Geodatabases. Que servirá para alimentación de la misma.



Figura 5. Documento de Informe.

## LOGROS ALCANZADOS Y PRODUCTOS DESARROLLADOS

Dentro de los logros alcanzados se enumeran los siguientes:

- Una geodatabase identificada con el programa ArcGis.
- Capacitación al personal del Departamento De Cartografía de la DGCG.
- Un manual para la elaboración y alimentación de Geodatabase's.

## LIMITANTES

Dentro de las limitantes se mencionan los siguientes:

- Logística: equipo tecnológico.
- Acceso y organización de la información: no se permite llevar la información del lugar de trabajo y algunos datos están desorganizados encontrándose fuera del computador.
- Tiempo: como practica desarrollada el factor tiempo fue una limitante ya que para una institución del estado encargada de la cartografía hondureña es un trabajo que requiere de mayor atención.
- La geodatabase es una muy buena herramienta de almacenaje de datos pero es limitada, ya que no permite una amplia gama de diseños.

## .DISCUSIÓN

- Es importante que el Departamento de Cartografía de la DGCG maneje la GEO-DATABASE en ArcGis propuesta, conteniendo información cartográfica relevante, ya que además de acercarse a los cambios tecnológicos y la innovación, es uno de los primeros pasos para organizar la información y gozar de todos los beneficios de la Geodatabase.
- La GEODATABASE actualizada posiciona al Departamento de Cartografía de la DGCG en agentes de cambio, ese cambio permitirá un adecuado manejo de datos y una mejor interacción y trabajo entre los diferentes departamentos de la DGCG, que conlleva a cumplir las metas de dicha Institución Nacional.
- La geodatabase propuesta es capaz de manejarse, importarse o manipularse por otros programas como el Diseño Asistido por Computadoras (CAD), Quantum gis, Map server, entre otros. Esto permite no limitarse a una sola herramienta de trabajo.
- El diseño de la Geodatabase es el mismo que anteriormente maneja la insti-

tución, el cual incluye un Archivo Nacional que contiene hojas cartográficas, Municipios y Departamentos, pero con otro formato (ArcGis) y de forma reorganizada de tal forma que los shapes se encuentren con el código de Departamento y Municipio, para una mejor búsqueda y evitar la duplicidad de información.

## CONCLUSIONES

- La importancia de una geodatabase dentro de una institución como lo es la Dirección General de Catastro y Geografía, encargada de la cartografía nacional, contribuye grandemente en el ordenamiento territorial, ya que sin cartografía no es posible desarrollar y ejecutar ordenamiento territorial.
- La ventaja de importar la base de datos del Departamento de Cartografía de la DGCG, de Arcview a ArcGis radica en implementar un sistema de posicionamiento, de fácil adaptación y uso, capaz de dar mayor seguridad de datos.
- Logro importarse a la Geodatabase el 19% de la información, esperando en un futuro tener 100% de la información importada.
- La elaboración de un manual y el desarrollo de una capacitación sobre la GEODATABASE, al personal del depto. de cartografía de la DGCG, son los inicios de una réplica de conocimientos para la futura organización y alimentación de la GEODATABASE.

## BIBLIOGRAFIA

- Ciampagna, J. M. (12 de Noviembre de 2010). *El blog del profe José*. Recuperado el 22 de Marzo de 2013, de [elprofejose.com/2010/11/12/¿por-que-usar-una-geodatabase/](http://elprofejose.com/2010/11/12/¿por-que-usar-una-geodatabase/)
- ESRI. (s.f.). *Help Arcgis*. Recuperado el 04 de Octubre de 2012, de [http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/pdf/tutorial\\_building\\_a\\_geodatabase.pdf](http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/pdf/tutorial_building_a_geodatabase.pdf)
- *Instituto de la Propiedad*. (s.f.). Recuperado el 04 de Octubre de 2013, de <http://www.ip.gob.hn/index.php/catastro-y-geografia/acerca-de-catastro>
- Los SIG y sus aplicaciones prácticas. (s.f.). Recuperado el 21 de Marzo de 2013, de [www.todosig.es/index.html](http://www.todosig.es/index.html)

- Ruiz Lopez, F., Coll ALiaga, E., & Martinez-Ilario, J. (s.f.). *Infraestructura de Datos Espaciales* de España. Recuperado el 22 de Marzo de 2013, de [www.iddee.es/resourses/presentaciones/JIIDE10/ID414\\_Analisis\\_y\\_estructura\\_de\\_una\\_Geodatabase\\_BTA.pdf](http://www.iddee.es/resourses/presentaciones/JIIDE10/ID414_Analisis_y_estructura_de_una_Geodatabase_BTA.pdf)

# *Montaje de un web map service (wms) para la Dirección General de Catastro y Geografía, Honduras*

Johana Marcela Norori y Yeny Castellanos Zelaya

## **Resumen:**

La escasez de medios para tener acceso a la información oficial territorial del país, genera las necesidades como ser la localización de la información geográfica del territorio y aun mas limita dar a conocer las instituciones oficiales que manejen dicha información, esto nos lleva a la exigencia principalmente dentro de los organismos nacionales reguladores de la información geográfica a conocer y buscar soluciones que cubran estas necesidades y que al mismo tiempo permitan tener acceso a los datos geográficos generados.

Es en donde el aporte del presente proyecto como ser el *montaje de un servidor de mapas web* con la integración de la herramientas de los SIG, el Ordenamiento Territorial, los datos geográficos, las tecnologías, los estándares de servicio O.G.C y la apertura de este tiempo de poder usar los software libre que nos ha permitido compartir la información geoespacial del país y que esta a su vez sea de fácil localización en la web en donde una de las la finalidades del Web Map Service sea facilitar el manejo de la información geográfica al usuario final de una manera práctica, amigable y sin complicaciones que nos permiten las aplicaciones de los software libre, y lo más importante que este regulada por una institución oficial del gobierno como es la Dirección General de Catastro y Geografía.

**Palabras Clave:** Información geográfica/ territorio/ datos geográficos/ servidor de mapas web/software libre.

## **Abstract:**

The lack of means to access to official information the country's territorial generates needs as being the location of the geographic information of the area and even more limited release official institutions that handle such information, this leads to the requirement primarily within the national regulators of geographic information to know

and look for solutions that meet these needs and at the same time allowing access to geographic data generated.

It is where the contribution of this project such as the installation of a web map server with the integration of GIS tools, land, geographical data, technologies, standards and OGC Service opening this time you can use the free software that allowed us to share geospatial information in the country and that this in turn is easy to find on the web where one of the aims of the web Map Service is to facilitate the handling of geographic information to the user end in a practical, userfriendly and uncomplicated that allow software applications for free, and most importantly that this institution regulated by a government official as the Cadastre and Geography.

**Keywords** : Geographical / territory / geographic data / web map server / free software.

---

**Johana Marcela Norori** (marcela\_norori@hotmail.com); **Yeny Castellanos Zelaya** (yeny.castell@gmail.com). Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio. Universidad Nacional Autónoma de Honduras

## 1. INTRODUCCIÓN

Aprovechando el importante convenio que tienen suscritos el Instituto de la Propiedad y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, y las necesidades que presenta dicha institución se decidió que los estudiantes de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio(MOGT) realizaran la práctica profesional en las instalaciones de la Dirección General de Catastro y Geografía, (D.G.C.G.) que es una de las cinco direcciones que conforman el Instituto de la Propiedad(IP), y que además está directamente vinculada a las acciones de cartografía, catastro y geodesia, que son parte integral del Ordenamiento Territorial.

Siendo el área cartográfica la que presenta más debilidades, se decidió trabajar directamente en tres proyectos que han beneficiado a la Gerencia de Cartografía de la D.G.C.G. en donde el Montaje de un Web Map Service (WMS) es uno de ellos y es el que se describirá en el presente documento.

## 2. ANTECEDENTES

La Dirección General de Catastro y Geografía ha realizado varios intentos en tratar de instalar un WMS que les permita mostrar la información cartográfica y catastral que están produciendo; entre estos esfuerzos está el acercamiento que se ha tenido con el Programa GeoSur, sin embargo por la carencia de personal capacitado en las áreas de informática con sólidos conocimientos de Sistemas de Información Geográfica, y de la capacidad económica para comprar una licencia de un software especializado que publique mapas en la web, se ha visto imposibilitada para desarrollar el WMS de la institución.

Actualmente la DGCG ya cuenta con equipo e infraestructura adecuada para montar este WMS, que adquirió recientemente, lo que posibilito el desarrollar una plataforma para un WMS utilizando los beneficios del software libre, que permitirá a la DGCG mantenerlo en funcionamiento.

Se trabajó con el software Geoserver para publicar los datos y también se utilizó el software Kosmo para la edición de los datos en formato vectorial.

Durante este trabajo se nos asignó parte del personal en donde fue el Ingeniero Jimmy Swarton, Jefe de Informática de la D.G.C.G., quién apoyo en la parte

de la organización informática y acceso a la infraestructura del equipo en donde se habilitó el WMS y al mismo tiempo se desarrolló el proceso de capacitación para darle el seguimiento al WMS dentro de la institución.

### 3. OBJETIVOS

Implementar un servicio web de mapas para la Dirección General de Catastro y Geografía facilitando el manejo de este tipo de información, geográfica y alfanumérica, al usuario final sin necesidad de conocimiento de estándares ni herramientas complicadas por su parte.

Capacitar a una persona para que aprenda sobre el uso y manejo del WMS y del opensource Kosmo.

Definir las mejoras para implementarse a futuro con el WMS.

### 4. METODOLOGÍA

a. Determinación del contexto del problema, que era crear un servicio WMS que la DGCG no tenía: se estudió el problema a resolver, para ello nos centramos en el objetivo del proyecto acotando el problema y dejando ciertos aspectos para realizar en un posible futuro.

b. Análisis y diseño del sistema: Estudio de los opensources Kosmo Geoserver, Openlayers, IIS, Apache y GeoExt proponiendo crear nuestro WMS con este software libre.

c. Recopilación de información sobre este software para su posterior estudio y análisis para su aplicación.

d. Instalación de los software en equipos de prueba para ver su funcionamiento. Aprendiendo de esta forma el uso de ellos, en el caso de Kosmo para editar las capas y exportar estilos en formato SLD, que servirían para las capas que visualizaríamos en nuestro WMS, el Geoserver que serviría para almacenar y publicar la información, en donde los Openlayers nos permitiría visualizar las capas, IIS y Apache que nos ayuda a resolver peticiones entre usuarios finales y el servidor (Geoserver) y el GeoExt que nos da acceso a la creación una interfaz más amigable

para el usuario final sirviendo en conjunto con el Openlayers.

e. Edición de los estilos de las capas que se publicaran en el WMS, exportando todos los estilos en formato SLD guardándose en la carpeta de estilos del programa Geoserver, posteriormente todos estos estilos deben ser subidos uno a uno en el Geoserver.

f. Subir todas las capas agrupándolas según la estructura del SINIT, para ello es necesario crear un espacio de trabajo y luego crear almacenes de datos para subir las capa una por una al Geoserver.

g. Utilizando dos lenguajes de programación, JAVA y HTTP se procedió a crear la página web. Codificando el GeoExt y el Openlayer para que conjuntamente trabajaran y desplegaran la información del Geoserver.

## 5. FUNCIONES Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE EL PROCESO

Investigar, recolectar y leer información sobre los WMS y software Kosmo y Geoserver.

Edición de los estilos en formato SLD con ayuda del software Kosmo.

Algunos de los conceptos en los cuales se llegó a conocer a profundidad se encuentran el WMS (Web Map Service) es un Servicio Web que devuelve mapas como imágenes geoespacialmente referenciadas en tiempo real y que puede fusionar capas de información con distintos datos. Las especificaciones de la implementación de este estándar están publicadas por la organización Open Geospatial Consortium (OGC). El estándar OGC® Web Map Service (WMS) proporciona un interface HTTP para la petición de imágenes de mapas registradas desde una o más Bases de Datos Geoespaciales. La respuesta a la petición es una o más imágenes de mapas (devueltas como JPEG, PNG, etc) que se pueden visualizar en buscadores y aplicaciones de escritorio.

El estándar WMS define tres operaciones:

GetCapabilities (requerido): Obtiene los metadatos del servicio, que constituyen una descripción interpretable automáticamente (y también legible) de información del contenido de los WMS's y los parametros de petición accep-

tados por el servicio.

GetMap (requerido): Obtiene una imagen de mapa con unos parámetros geoespaciales y de dimensión bien definidos.

GetFeatureInfo (optional): Pregunta por información sobre una entidad feature en particular, de las mostradas en el mapa.

Open layers es una biblioteca de JavaScript de código abierto bajo una derivación de la licencia BSD para mostrar mapas interactivos en los navegadores web. OpenLayers ofrece un API para acceder a diferentes fuentes de información cartográfica en la red: Web Map Services, Mapas comerciales.

Kosmo es un sistema abierto de información geográfica, que posee funcionalidades avanzadas dentro del desarrollo de los SIG libre como ser JUMP, Geotools, JTS, entre otros, que permite visualizar y procesar datos geoespaciales y es amigable su manejo para el usuario final.

Figura 1. Área de trabajo con el Software Kosmo

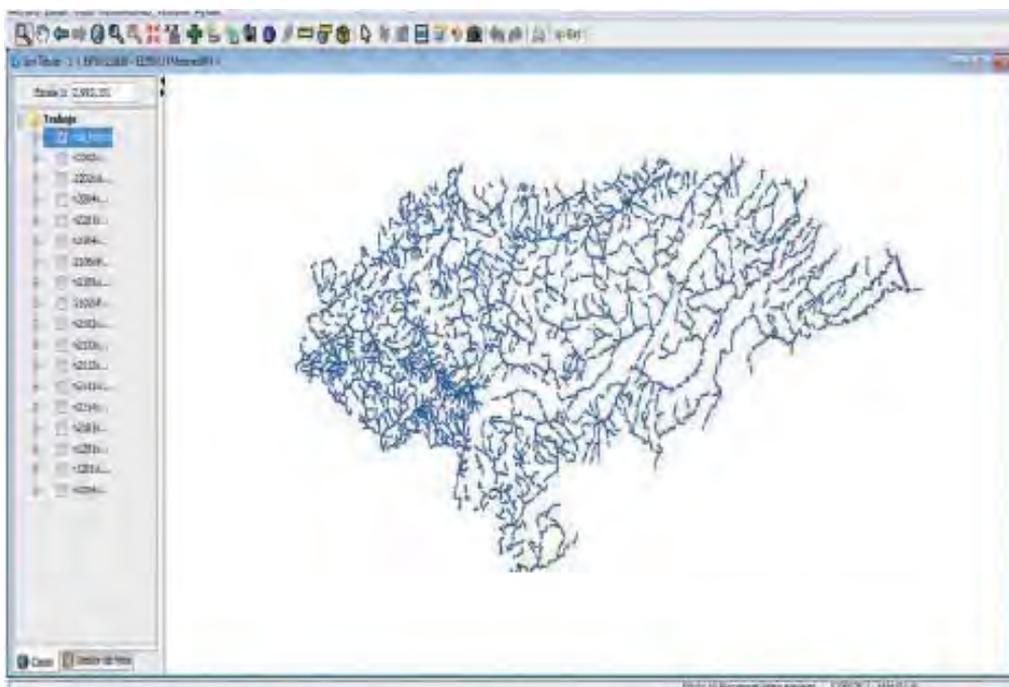
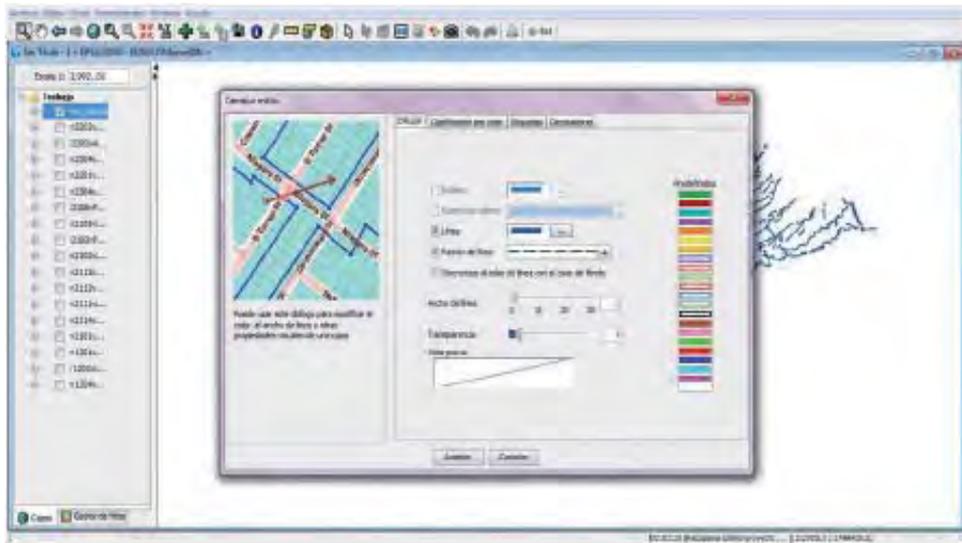


Figura 2. Aplicación para configurar los estilos de los layers en el software Kosmo



El GeoServer es un servidor de código abierto escrito en Java - permite a los usuarios compartir y editar datos geospaciales. Diseñado para la interoperabilidad, publica datos de las principales fuentes de datos espaciales usando estándares abiertos. Entre sus principales ventajas se encuentran:

- **Portabilidad:** se puede correr en windows, en mac o en linux sin mayores modificaciones
- **Mantenibilidad:** tiene una interfaz muy buena (interfaz web) para manejar la configuración.
- **Soporte:** soporta WFS, además soporta WFS-t (WFS transaccional), lo que significa que se puede modificar el mapa a través de un webservice.
- Proyectado para ser compatible con extensiones.
- Fácil utilización a través de la herramienta de administración vía web.
- Soporte amplio de formatos de entrada PostGIS, Shapefile, ArcSDE y Oracle. VFP, MySQL, MapInfo y WFS en cascada también están entre los formatos de entrada soportados.
- Soporte de formatos de salida tales como JPEG, GIF, PNG, SVG y GML.
- Facilidad de escritura de nuevos formatos de datos con la interfaz de almacenamiento de datos GeoTools y clases de ayuda.

- 
- 

Figura 3. Proceso dentro del Geoserver para la configuración de espacios de trabajo



Figura 4. Asignación del nombre de nuestro espacio de trabajo dentro del Geoserver



Figura 5. Visualización de nuestro nuevo espacio de trabajo dentro del Geoserver

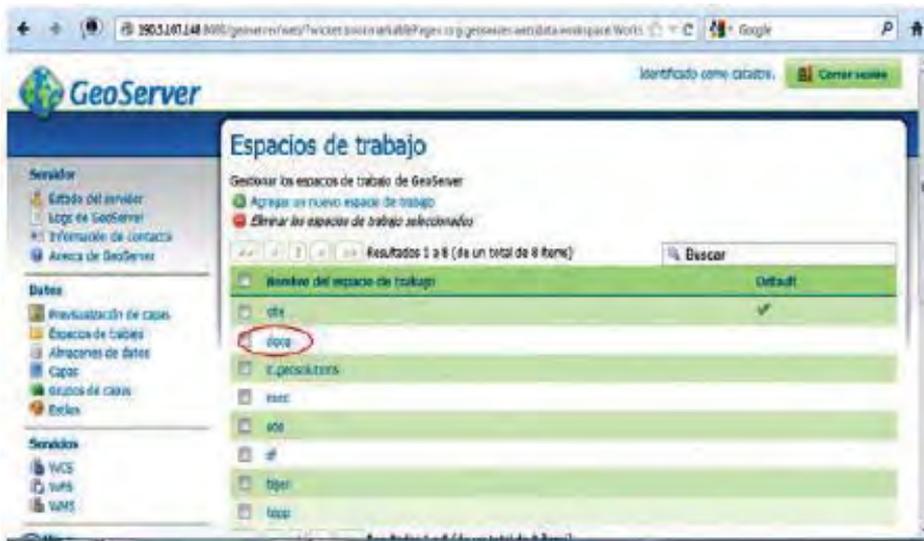


Figura 6. Creación de un nuevo almacén de datos dentro del Geoserver

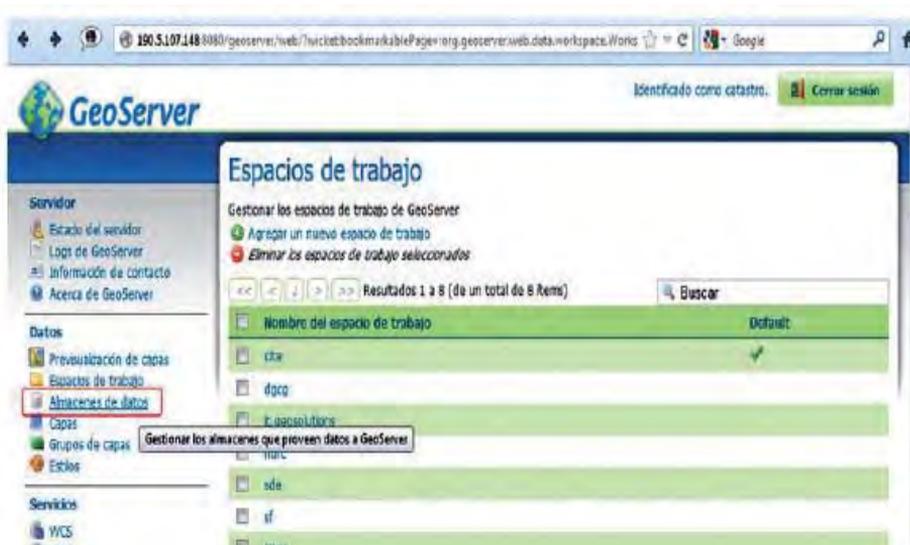


Figura 7. Configuración del origen de los datos vectoriales que se manejaron dentro



Figura 8. Creación de capas de datos dentro del Geoserver



Figura 9. Configuración de capas de datos dentro del Geoserver



Figura 10. Verificación de capas

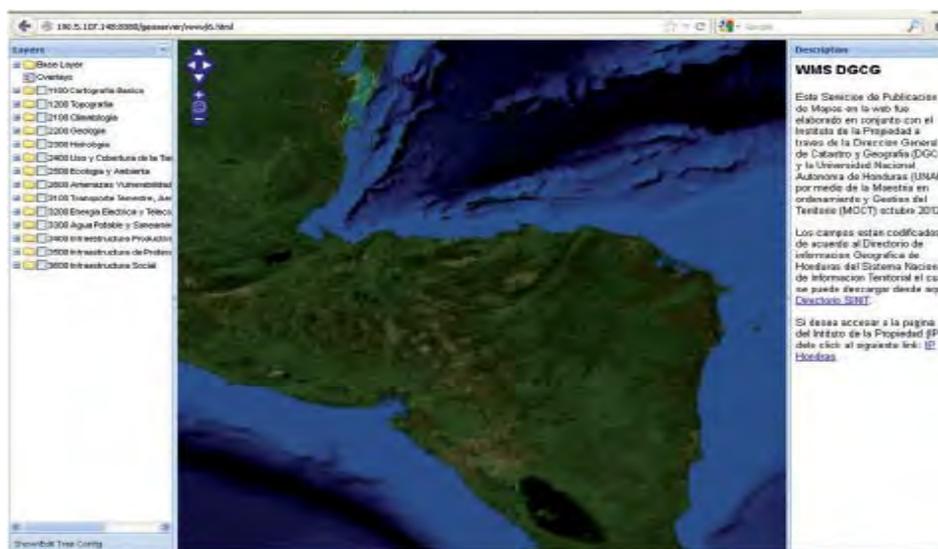




## 6. LOGROS ALCANZADOS Y PRODUCTOS DESARROLLADOS.

- Se logró construir, diseñar y publicar en la web exitosamente el PRIMER servicio de mapas de la Dirección General de Catastro y Geografía.
- Nuestro elemento de apoyo en la DGCG quedó satisfactoriamente capacitado en la creación, uso y manejo del WMS, además de que adquirió nuevos conocimientos de programación que no tenía, ya que tuvo que investigar y leer gran cantidad de documentos en internet y en foros, que nos ayudaron para lograr nuestro objetivo principal.
- Se dio un gran avance ya que la información del país está disponible en la web para ser visualizada por cualquier persona en cualquier parte del mundo.

Figura 13. Visualización del WMS DGCG



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se lograron con gran satisfacción todos los objetivos propuestos al inicio de esta práctica profesional, ya que se instaló el WMS y se capacitó a la persona asignada.
- Se determinó las mejoras se le pueden hacer a este WMS:
  - Subir toda la información en formato vectorial y ráster con el que cuenta

la DGCG, cumpliendo con estándares internacionales tanto de metadatos como de publicación.

- Implementar análisis SIG en el WMS que permitan que más usuarios se interesen por acceder a él.
- Capacitar a más personal dentro de la Institución para su uso y manejo.
- Promocionar el nuevo servicio gratuito de la DGCG
- Incursionar en programas como GeoSur una vez que el WMS cumpla con los estándares internacionales.
- Incorporar a las demás instituciones que elaboran cartografía temática al WMS, a fin de robustecerlo y hacerlo más atractivo para los usuarios finales y de esta forma implícitamente ir trabajando en la IDE del país (ya que actualmente no se tiene).

## 8. APLICACIONES DEL PROYECTO EN LA ORDENACIÓN TERRITORIAL.

El Proyecto tal y como está permite a los usuarios finales identificar el territorio desde las distintas capas que se ponen a disposición, lo cual les sirve preliminarmente para conocer el territorio.

Posteriormente sí se hacen las mejoras que proponemos se podrá utilizar como material de apoyo para la planificación en el ordenamiento territorial, fomentando el uso de opensources en el país.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- López Amenyro, A. A. 2004. Gisweb: **Reingeniería para la implementación de un Web Feature Service**. Tesis Licenciatura. Ingeniería en Sistemas Computacionales. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo. Derechos Reservados © 2004. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/lopez\\_a\\_aa/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/lopez_a_aa/capitulo2.pdf)
- Lopez Gallego, M. (2012). Catalogo de recursos de Información geográfica para proyectos de cooperacion al desarrollo en la UPM. Proyecto de fin de carrera titulación de Ingeniero Tecnico en Topografía. Escuela Tecnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politecnica de Madrid.

- Manual de usuario Geoserver. Disponible en <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/>
- Taber (2010), Geoserver en entorno de producción (I): Instalación básica. Disponible en: <http://www.nipalante.es/2010/03/08/geoserver-en-entorno-de-produccion-i-instalacion-basica/>
- Java Script Toolkit for Rich Web Mapping Applications. Disponible en: <http://geoext.org/>

## 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 investi-

gación 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 conclu-

siones. 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 facilitarían 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 afirmacio-

nes 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 si se trata de una unidad de medida común.

### **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: Rojo-ladrillo. 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 pulgadas,- 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)