

# M A P P I N G

Revista Internacional de Ciencias de la Tierra

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

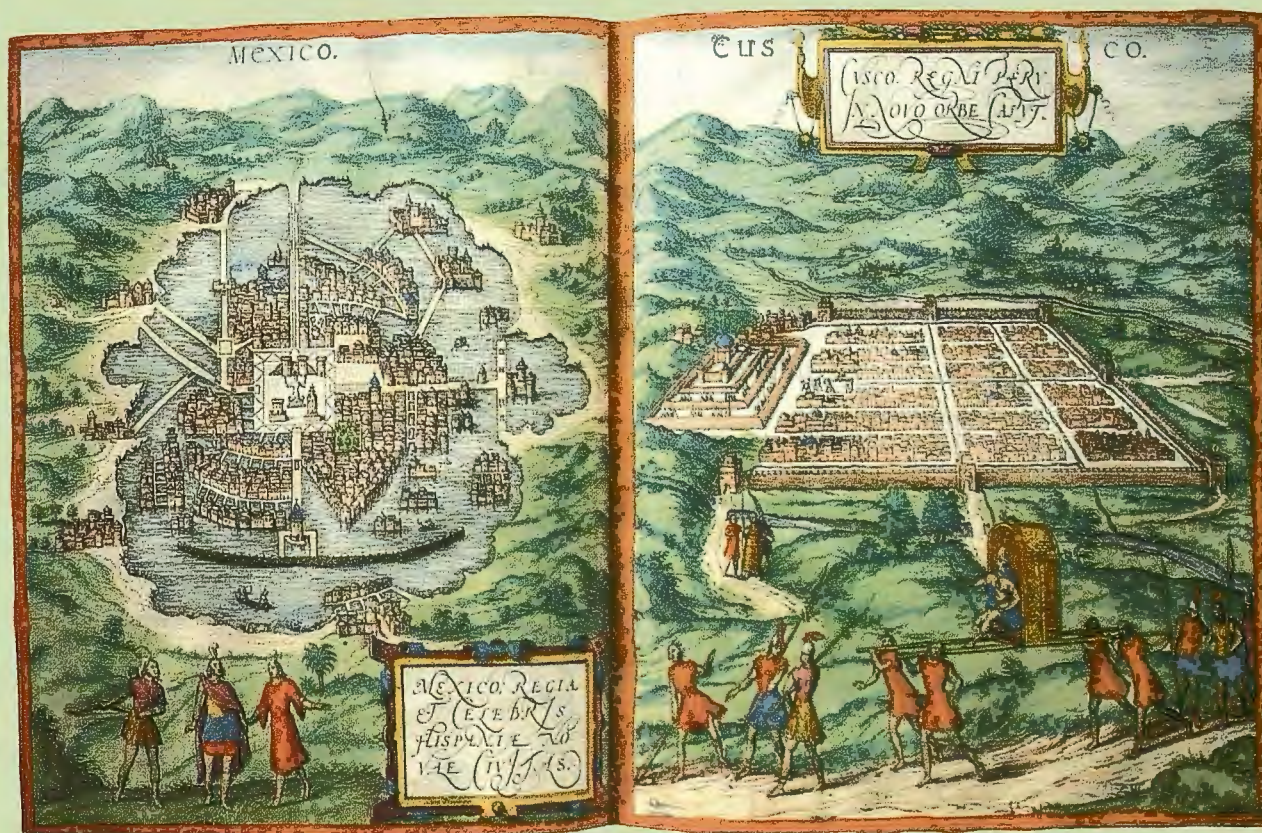
MEDIO AMBIENTE

TELEDETECCIÓN

CARTOGRAFÍA

CATASTRO

TURISMO







**MAPPING**  
**Revista Internacional  
de Ciencias de la Tierra**

*El conocimiento de hoy  
es la base del mañana*

*La calidad de la geotecnología hecha revista*





## COMITE CIENTIFICO

### PRESIDENTE DE HONOR:

D. Rodolfo Nuñez de la Cuevas

### EDITOR JEFE.

D. José Ignacio Nadal Cabrero

### EDITOR:

D. Andrés Seco Meneses

*Universidad Pública de Navarra, España*

### MIEMBROS.

D. Javier González Matesanz

*Instituto Geográfico Nacional, España*

D. Benjamín Piña Paton

*Universidad de Cantabria, España*

D. Andrés Díez Galilea

*Universidad Politécnica de Madrid, España*

D. Stéphane Durand

*École Supérieure de Géomètres*

*Et Topographes, Le Mans, Francia*

Dña. Emma Flores

*Instituto Geográfico, El Salvador*

Dña. Tatiana Delgado Fernández

*Grupo Empresarial Geocuba, Cuba*

D. Luis Rafael Díaz Cisneros

*Cesigma, Cuba*

Dña. Sayuri Mendes

*Instituto de Geografía Tropical, Cuba*

Dña. Rocío Rueda Hurtado

*Universidad de Morelos, México*

Dña. María Iniesto Alba

*Universidad de Santiago, España*

Dña. Cleópatra Magalhaes Pereira

*Universidad de Oporto, Portugal*

D. Javier García García

*Instituto Geográfico Nacional, España*

D. Jorge Delgado García

*Universidad de Jaén*

## SUMARIO

6 SISTEMA DE INFORMACIÓN LOCAL Y MIRADOR.

12 DE IMAGEN RURAL A URBANA DEL MUNICIPIO DE XOCHITEPEC, MORELOS

18 ESTIMACIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR EMPLEANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. PRESENTACIÓN DE SOLARGIS

24 EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS DE LA BAHÍA DE CIENFUEGOS, CUBA (2004-2007)

30 EVALUACIÓN DE UN MÉTODO DE CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS TOPOGRÁFICOS SOBRE IMÁGENES LANDSAT ETM+ EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

42 CARTOGRAFÍA Y GEOMÁTICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL CAMINO DEL INCA O "QHAPAC ÑAN" EN EL DESIERTO DEL JUBONES, SANTA ISABEL (ECUADOR)

52 ESPAÑA EN EL TEATRO DE FAVOLIUS (1585) MAPA Y TEXTO DESCRIPTIVO.

55 REFLEXIONES EN TORNO A LAS PROPUESTAS DE AGRUPACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PAISAJES

60 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL ARROYO DE SANTO TOMÁS, VIÑALES. CUBA

66 ASTURGEO 09. UN MODELO COMBINADO DEL GEOIDE PARA EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

80 ANÁLISIS COMPARATIVO DE SERVIDORES DE MAPAS: COMERCIALES, CÓDIGO ABIERTO Y SERVICIOS GRATUITOS

89 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA EXTINCIÓN DE LA FAUNA VERTEBRADA DEL CUATERNARIO CUBANO

96 BASES PARA LA CREACIÓN DE UN SERVICIO WEB DE MAPAS TEMÁTICOS DINÁMICOS.

**Foto Portada:** Vistas de las dos grandes capitales de América Hispánica: México y Curzco. Braum-Hogenberg. Colonia, 1572 **Edita:** Revista Mapping, S.L. **Redacción, Administración y Publicación:** C/Hileras, 4 Madrid 28013 - Tel. 91 547 11 16 - 91 547 74 69 [www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com). E-mail: [mapping@revistamapping.com](mailto:mapping@revistamapping.com) **Diseño Portada:** R & A MARKETING **Fotomecánica:** P.C. **Impresión:** COMGRAFIC **ISSN:** 1.131-9.100 **Dep. Legal:** B-4.987-92.

Los trabajos publicados expresan sólo la opinión de los autores y la Revista no se hace responsable de su contenido.

# SISTEMA DE INFORMACIÓN LOCAL Y MIRADOR.

Núñez Cruz, José María - Diputación Provincial de Sevilla. García Fernández, Héctor José - Geographica Studio.  
Meléndez Segovia, Ana María - Geographica Studio.

## RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo poner de manifiesto la importancia que adquiere el desarrollo de una metodología con marcado carácter innovador para trabajos basados en datos espaciales. Concretamente, se ilustra a través de un proyecto de la Diputación Provincial de Sevilla denominado "Sistema de Información Local". Se trata de una serie de procesos experimentados que garantizan una actualización continua de la información alfanumérica y espacial y una elevada calidad y fiabilidad de la misma, ofrecida a los usuarios finales a través de Mirador, el portal web desarrollado por Geographica Studio para visualizar, consultar, interactuar, etc., la información geográfica. Se garantiza la inclusión y desarrollo de nuevas tecnologías y la innovación en métodos y organización de datos espaciales.

**PALABRAS CLAVE:** Mirador, innovación, metodología, información geográfica, datos espaciales, Sevilla.

## ABSTRACT

The present article has the aim to demonstrate the importance that acquires the development of a methodology with an innovative marked character for works based on spatial information. Concretely, it can be shown in a current project of the Seville local administration; Diputación Provincial. It is named Local Information System. It is about a group of studied processes that guarantee a constant update of the alphanumeric and spatial information and, also, a high quality and reliability of them. They are offered to the final users by Mirador, the portal web developed by Geographica Studio that allows visualize, consult or interact with the geographical information. The incorporation and development of new technologies, as the innovation in methods and spatial information organization, are guaranteed.

**KEYWORDS:** Mirador, innovation, methodology, geographical information, spatial information, Seville.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo se escribe para explicar un proceso metodológico que ha permitido tomar las decisiones más correctas a los técnicos a la hora de aplicar herramientas para el tratamiento y levantamiento de información de carácter espacial. Al comentar dicha metodología en diferentes charlas del sector hemos detectado que tiene un marcado carácter innovador y que podría ser utilizada por otras Administraciones y entidades.

En definitiva, el objetivo principal del presente artículo consiste en exponer una metodología y una serie de procesos que se diferencian claramente de otros y que han probado su eficacia reiteradamente, adquiriendo de este modo un carácter innovador, aplicable a cualquier variable susceptible de ser representada en el territorio.

La descripción de esta metodología se plasma en un proyecto concreto que Geographica Studio (marca de Geografía Aplicada S.L.) tiene con la Diputación Provincial de Sevilla.

Dicho proyecto lleva el nombre de Sistema de Información Local (SIL) y a través de él se obtiene, se recopila y se trata la información espacial y alfanumérica de infraestructuras

y equipamientos de las Entidades Locales, integrándose todo ello en un Sistema de Información Geográfica con la finalidad de ofrecer información actualizada a los usuarios.

Es por la experiencia que Geographica posee en el desarrollo, actualización y mantenimiento de aplicaciones SIG, el análisis, gestión y recogida de datos alfanuméricos, el diseño e implementación de bases de datos geográficas, etc., por lo que ha desarrollado unas técnicas y un método de trabajo efectivo y con óptimos resultados.

El equipo de trabajo con el que cuenta Geographica Studio para el desarrollo de la metodología que vamos a describir está constituido por once licenciados en dos ramas: unos en Geografía y otros en Informática.

## 2. METODOLOGÍA

La recolección y actualización de los datos, puesto que supone la información básica y esencial que le da base al SIL, se lleva a cabo gracias a un proceso metodológico exhaustivo por parte del personal técnico encargado a tal efecto.

La información alfanumérica se estructura en 53 cuadros en los que se almacenan los datos recogidos según su tipología. Existe un primer conjunto de cuadros que hace acopio de información general de cada municipio, como puede ser número de habitantes, núcleos secundarios con los que cuenta, información disponible en la web municipal, etc. El segundo bloque está compuesto por aquellos cuadros que hacen alusión a la información referente a infraestructuras, es decir, viario urbano y carreteras, abastecimiento de agua, recogida de residuos, etc. Y, por último, son los datos referentes a los equipamientos los que se consideran, tales como instalaciones deportivas, edificaciones culturales, centros asistenciales, parques y jardines, casas consistoriales, etc.

El proceso metodológico se estructura en una serie de fases interrelacionadas que se detallan a continuación.

### 2.1. ÁMBITO DE ESTUDIO Y OBJETIVOS

La extensión territorial que abarca el Sistema de Información Local de la Diputación Provincial de Sevilla se concreta en un total de 102 municipios de la provincia, cuyo criterio de selección se basa en la población municipal, no siendo ésta superior en ninguno de los casos a los 50.000 habitantes. Por este motivo hay tres municipios excluidos del proyecto: Alcalá de Guadaira, Dos Hermanas y Sevilla. Cada integrante del grupo de actualización de datos tiene asignado un número de municipios para actualizar en función de la prioridad que posean. La prioridad de actualización reside principalmente en lo obsoletos que estén los datos o en el volumen de ausencia de información, evitando así un dilatado desfase temporal de actualización entre los municipios.



Puede haber varios municipios actualizándose al mismo tiempo, ya que existen varias personas trabajando conjuntamente en la renovación.

El objetivo principal reside en la obtención de datos de alta calidad, de gran fiabilidad y actualizados sobre las diversas infraestructuras y equipamientos de carácter municipal que, en algunos casos, concierne a la totalidad del municipio y, en otro, tan solo se ciñe a los núcleos de población. El propósito radica en ofrecer al usuario final una información de utilidad, renovada y acorde con la realidad que le rodea, por tanto, se trata de difundir información lo más actualizada posible sobre la situación local.

Es de suma importancia la gran relevancia que adquiere la toma de datos de cada uno de los municipios, pues en función de ellos se elabora toda la información que posteriormente se muestra a los usuarios interesados en consultar datos municipales. La información temática recogida sirve de apoyo para levantar la segunda componente del SIL, es decir, la componente espacial. Igualmente, es necesario contar con unos medios idóneos para facilitar a los usuarios el acceso a la información.

## 2.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE PARTIDA

Una importante tarea es la fase inicial de recapitulación de las fuentes de información de partida disponible para cada

**Las Navas de la Concepción**

Breve descripción del municipio lorem ipsum dolor sit amet, ut est eius placerat vel incididunt, ead in, pede consectetur! fermentum utamco placerat, vites exceptut, eget pede eget con diamunt maffis wstet web del municipio

**Dirección:**  
Plaza de España, 7 - 41460, Las Navas de la Concepción (Sivaya)

**Localizar en el mapa**

**Teléfono:** 955 88 58 00  
**Fax:** 955 88 58 01  
**www.mirador.es**

**Tipo de Entidad:** Villa  
**Partido Judicial:** Cazalla de la Sierra  
**Comarca:** Sierra Norte

- Población y vivienda
- Planeamiento Urbanístico
- Comunicación y energía
- Carreteras
- Viarío urbano
- Ciclo del agua
- Recogida de basuras
- Alumbrado público
- Instalaciones deportivas
- Centros culturales

**39 Características de los centros culturales**

Nombre del centro	Tipo	Titular	Gestión	Superficie m2		Estado	
				Cubierta	Area libre	Solar	
Biblioteca Municipal	Biblioteca	Comunidad Autónoma	Municipal	135	0	11235	Buena
Centro Juvenil El Castillo	Centro Cívico/Social	Municipal	Municipal	294	0	747	Buena
Hogar del Pensionista San Pedro	Hogar del pensionista	Municipal	Municipal	121	3	124	Regular
Hogar del Pensionista	Hogar del pensionista	Municipal	Municipal	300	70	378	Ejemplar
Centro Cultural El Pecho	Casa de Cultura	Municipal	Municipal	558	176	418	Buena
Centro Municipal	Centro Cívico/Social	Municipal	Municipal	644	0	664	Buena
				<b>2632</b>	<b>249</b>	<b>12920</b>	

**40 Uso de los centros culturales**

Periodo	Instalación	Uso	Superficie cubierta m2	
	Código	Núcleo		
2005	CU41066000101001	Las Navas de la Concepción	Biblioteca	135
2005	CU41066000101002	Las Navas de la Concepción	Cívico social	140
			Educativo	747
			Otros tipos	7
2005	CU41066000101003	Las Navas de la Concepción	Bar, restaurante	3
			Hogar del pensionista	118
2005	CU41066000101004	Las Navas de la Concepción	Hogar del pensionista	300
2005	CU41066000101005	Las Navas de la Concepción	Cívico social	200
			Educativo	278
			Otros tipos	80
2005	CU41066000101006	Las Navas de la Concepción	Cívico social	644
			<b>Total Municipio</b>	<b>1852</b>

- Zonas verdes
- Mercados y ferias
- Cementerios y tanatorios
- Mataderos
- Centros sanitarios
- Centros asistenciales
- Centros de enseñanza
- Bomberos y protección civil
- Ayuntamientos y centros administrativos
- Edificios públicos sin uso

Copyright © 2008 Diputación de Sevilla. Todos los derechos reservados. [Contacto](#)

Figura 1: relación de información alfanumérica visualizada en Mirador



municipio. Se realiza un análisis exhaustivo y pormenorizado del material existente, para examinar las potencialidades de los datos y, a partir de ahí, actualizarlos y obtener datos nuevos. El material a que nos referimos está constituido por:

- La información alfanumérica y espacial de fases anteriores de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales (EIEL) de la Diputación de Sevilla, concretamente del año 2006.
- La información del servicio WMS de ortofotografías del Instituto de Cartografía de Andalucía y del PNOA.
- La información catastral a través de WMS.
- La web municipal. En la mayoría de los casos los Ayuntamientos disponen de una página web en la que ofrecen una información referente a las edificaciones de uso público, teléfonos de interés, actividades, datos de po-

blación, información sobre infraestructuras, etc.

- Otras páginas web de organismos públicos, como por ejemplo la web de la Consejería de Educación, donde se ofrece detalladamente datos de los centros de enseñanza.
- La comunicación con los técnicos municipales. Esta fuente es fundamental para adquirir una información con un elevado grado de fiabilidad y actualización. Se dispone de una base de datos en la que está almacenado, al menos, un contacto municipal por núcleo de población y, normalmente, el contacto con dicho personal se lleva a cabo por vía telefónica.
- La consulta de la aplicación “incidencias”, donde se recogen los hechos y acontecimientos que ejercen algún tipo de influencia o modificación en la información existente.

## Municipios de la Provincia de Sevilla



Figura 2: Ámbito territorial objeto de estudio

1 Aguadulce	22 La Campa	43 El Garrobo	64 Montalvo	80 Sotiles
2 Alora	23 Carmona	44 Gibera	65 Morón de la Frontera	81 San Juan de Aznalcázar
3 Abanda del Aljarafe	24 Carmona	45 Givens	66 Las Huelgas de la Concepción	82 Sanlúcar de Mayor
4 Alcazar de San Juan	25 Carrion de los Céspedes	46 Givens	67 Olvera	83 San Nicolás del Puerto
5 Alcazar del Rio	26 Cosentino	47 Olvera	68 Osuna	84 Sanroque
6 Aceite del Rio	27 Castiblanco de las Arroyas	48 Quintanilla	69 Los Palacios y Villaverde	85 El Suroeste
7 La Alfranca	28 Castilleja de Guzmán	49 Quintanilla	70 Palomares del Rio	86 Sevilla
8 Algámitas	29 Castilleja de la Cuesta	50 Rávena	71 Paradas	87 Torre
9 Almadén de la Plata	30 Castilleja del Campo	51 Real de Valverde	72 Pedrera	88 Tomares
10 Almonaster	31 El Castiello de las Gaviotas	52 La Rambla	73 El Pedroso	89 Utrera
11 Arenas	32 Cazalla de la Sierra	53 Lebrija	74 Peñarol	90 Utrera
12 Arcaduz	33 Comarxina	54 Lora de Estepa	75 Pízar	91 Valencina de la Concepción
13 Arcaduz	34 Corrales del Rio	55 Lora del Rio	76 Pízar	92 Valmaseda de la Condado
14 Babalzar	35 Cortes	56 La Lanza	77 La Puebla de Cazalla	93 Villaverde del Aljarafe
15 Beas del Rio	36 El Corral	57 El Madroño	78 La Puebla de los Infantes	94 Villaverde del Rio y Minas
16 Bujalance	37 Los Corrales	58 Marzales del Aljarafe	79 La Puebla de San Blas	95 Villaverde de San Juan
17 Bujalance	38 Dos Hermanas	59 Marzales del Aljarafe	80 El Real de la Jara	96 Villaverde del Rio
18 Bujalance	39 Elgo	60 Marchena	81 La Roca del Rio	97 El Valle del Aljarafe
19 Burguillos	40 Espartaco	61 Marchena	82 La Roca de Andaluza	98 Cádiz Mayor
20 Los Caballeros de San Juan	41 Estepa	62 Miralva de la Jara	83 El Rocío	99 Isla Mayor
21 Carran	42 Fuentes de Andalucía	63 Los Molinos	84 El Rocio	100 El Cuervo de Sevilla

### 2.3. TRABAJO DE GABINETE

Una vez analizadas las potencialidades que ofrecen los datos y fuentes de partida, se realiza el trabajo de gabinete de extracción de información. Todas las fuentes de información analizadas en la etapa anterior juegan un papel importante en esta fase del trabajo pues, gracias a ellas, se consigue mucho material de calidad. Además, requiere para

los integrantes del grupo de trabajo unas buenas aptitudes para conseguir, en la inmensa mayoría de los casos, información a través del teléfono con los técnicos municipales.

En primer lugar, se toman las tablas alfanu-méricas de la fase anterior de la EIEL y la geometría de los elementos de la misma. Basándonos en ellos, se recogen las modifica-



ciones oportunas en aquellos casos en los que aparezca un dato erróneo y se hace acopio de aquéllos que sean nuevos, según nuestras fuentes de información. Tanto la inclusión de datos alfanuméricos como la digitalización de nuevos elementos están regidos por una serie de normas de codificación y reglas que dan como resultado datos normalizados y estandarizados.



Figura 3: Álbum fotográfico por municipios de Mirador.

De este modo se van completando los datos hasta alcanzar el punto óptimo de similitud con la realidad. En determinadas ocasiones surgen dificultades y resulta complicado obtener por teléfono toda la información que se requiere.

Es importante destacar la relevancia que adquiere la aplicación de “incidencias”. Se trata de una base de datos que constantemente almacena y gestiona incidencias procedentes de diversas fuentes y que versan sobre actuaciones que están en desarrollo o en proyecto en los municipios que son objeto de estudio. La consulta de estos datos ofrece una rica fuente de información y proporciona rapidez a la hora de acceder a nuevos datos.

Por último, en esta fase se prepara la cartografía, que sirve como base para el consiguiente trabajo de campo. Dicha cartografía se concreta en diversos mapas de los equipamientos distribuidos por el núcleo, de la red de abastecimiento de agua y saneamiento, del alumbrado, de la pavimentación, etc.

#### 2.4. TRABAJO DE CAMPO

Junto con el trabajo de gabinete, el trabajo de campo supone la pieza fundamental para llevar a cabo el proceso de actualización de los datos, además, son partes complementarias de un mismo proceso. Por este motivo, es de gran utilidad realizar una visita a los municipios que se están analizando para finalizar de recabar información.

El trabajo de campo es muy ventajoso para obtener información espacial fiable, puesto que ofrece la oportunidad de confirmar in situ la localización de un determinado elemento.

En concreto, el trabajo de campo consiste en visitar todos y cada uno de los elementos recogidos en fases anteriores, para comprobar in situ los datos teniendo como referencia los mapas previamente elaborados, además de obtener nueva información que desde el gabinete no se haya podido lograr. De este modo se corrobora el estado de los equipamientos y del viario urbano, se recoge información

sobre los usos de los equipamientos, se comprueba la geometría de los elementos, etc. Por otro lado, se establece una visita con los técnicos municipales, para mostrarles nuestra información y así poder contrastarla con la que ellos poseen de su propio municipio. Por último, se realiza al menos una fotografía de cada equipamiento recogido en el SIL.

#### 2.5 SOPORTE TÉCNICO

El medio de almacenaje de los datos se efectúa a través de una base de datos PostgreSQL / PostGIS y los sistemas de información geográfica de escritorio empleados son Quantum GIS en la mayoría de los casos y, en determinadas ocasiones que así lo requieran, se utiliza ArcGIS.

Gracias estas herramientas la información se graba en la base de datos y los ficheros de geometría se actualizan en función de la información obtenida.

### 3. ACTUALIZACIÓN CONTINUA DE LA INFORMACIÓN

La información municipal tiene la peculiaridad de ser inestable en el tiempo, es decir, está sujeta a constantes cambios, tanto en lo que se refiere a la parte temática como a la

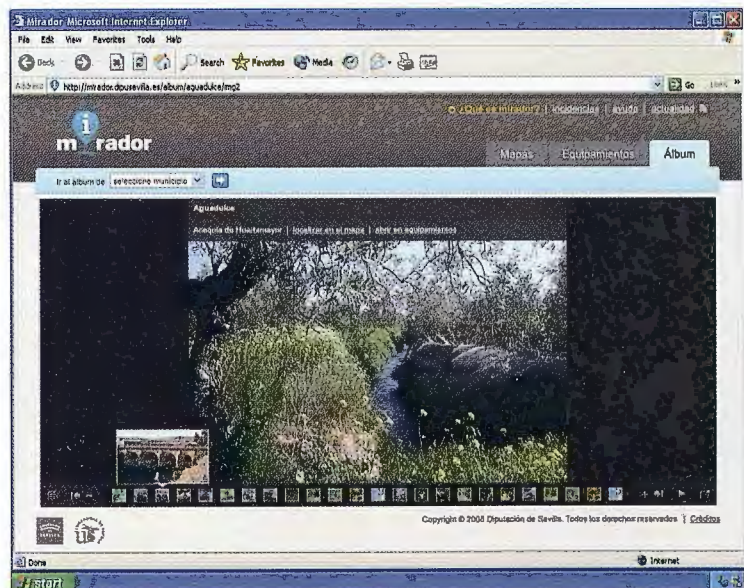


Figura 4: Detalle de un álbum fotográfico de Mirador.

espacial, que obligan a una actualización continua de dicha información. Esta actualización se lleva a término gracias al proceso metodológico descrito para la obtención de datos, pues está diseñado para tal efecto. De las fuentes de información, la base de datos de “incidencias” es un ejemplo fundamental para dar continuidad a la actualización, ya que en ella se van almacenando de forma continuada las incidencias que proceden de diversas fuentes, como BOP, noticias de prensa, Inproba, o incluso de los



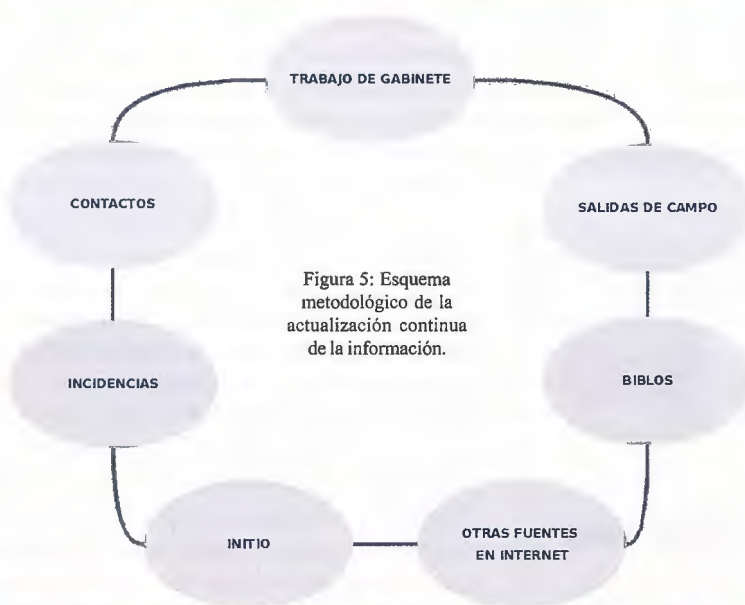


Figura 5: Esquema metodológico de la actualización continua de la información.



Figura 6: visualización del panel de capas en Mirador.



Figura 7: tarjeta de foto de un equipamiento.

propios técnicos de los Ayuntamientos. Las incidencias se codifican según un rango de prioridad establecido. Otra fuente de actualización continuada es “Biblos”, una base de datos que almacena bibliografía disponible y fuentes de información que consultar para actualizar y mantener dicha información.

## 5. MIRADOR

Mirador es el sitio web donde se muestra la información cartográfica, alfanumérica y gráfica del SIL. Está basado en dos piezas clave: una es el visor cartográfico Pulsar, creado y diseñado por Geographica Studio, y otra es el Servidor de Mapas MapServer.

El visor cartográfico Pulsar cubre las necesidades de publicación de información geográfica en Internet/Intranet. Pulsar es un Applet Java con el principal objetivo de mostrar información espacial en un navegador web, aunque podría funcionar como aplicación de escritorio.

Además, permite tareas de impresión y consultas. El fin de Pulsar es visualizar y gestionar información geográfica tanto propia como disponible en Internet. Con Mirador es posible, gracias a este visor, que los usuarios puedan encontrar, visualizar, utilizar y combinar la información geográfica, tanto datos como cartografía, según sus necesidades.

MapSever funciona como servidor de cartografía para publicar en la web con una considerable velocidad de acceso a los datos y gran cantidad de formatos soportados, tanto vectoriales como raster.

Mirador ofrece a los usuarios la oportunidad de acceder al sistema de incidencias y emitir avisos de cambios o de elementos nuevos detectados en sus municipios. La información recibida es gestionada por los grupos de trabajo y es resuelta mediante trabajo de gabinete, siempre que sea posible, o mediante una reunión con el emisor de la misma, cuando las necesidades lo requieran. Una vez resuelta la incidencia, la información adquirida se graba en la base de datos y es visible para todos los usuarios. Este proceso Mirador garantiza, una vez más, la actualización continuada de los datos.

## 6. CONCLUSIONES

La metodología descrita para la actualización del SIL supone una serie de avances con un elevado carácter innovador. Algunas de las mejoras son:

- Una actualización continua de los datos municipales.
- Una innovación en materia de procesos y organización de la información.
- El desarrollo de herramientas que permiten una mayor y mejor difusión de la información a través de las nuevas tecnologías.
- La innovación en el uso y explotación de nuevas tecnologías.
- Una capacidad para interactuar con el usuario. Permite que los técnicos del Ayuntamiento comuniquen las actualizaciones a través de incidencias del portal web Mirador.
- Una mejora de la difusión de información.



# Venta, Alquiler y Reparación de Instrumentos Topográficos

Servicio Técnico · Servicios Especiales Topografía

**ENCUENTRE SU EQUIPO ROBADO**



- LOCALIZADOR GPS INTEGRADO EN SU EQUIPO TOPOGRÁFICO
- VISUALIZACIÓN EN GOOGLE EARTH DE TODOS SUS MOVIMIENTOS
- ALARMA DE PERÍMETRO DE SEGURIDAD
- CONECTADO A CENTRAL RECEPTORA DE ALARMAS
- COBERTURA MUNDIAL



DESDE: **695 €**

[www.grupoacre.com](http://www.grupoacre.com)

# ACRE

The logo for Leica Geosystems, featuring the word "Leica" in a stylized font above "Geosystems".

grupoacre@grupoacre.com 902 490 839  
Autovía A42 Salida 35 Pol Ind Los Pradillos, Illescas  
Calle del Cromo, 14, Pol.Ind San Cristobal, Valladolid

**NUEVA DELEGACIÓN  
EN CASTILLA Y LEÓN**



# De imagen rural a urbana del municipio de Xochitepec, Morelos

Rocío Rueda Hurtado

Profesora Investigadora Tiempo Completo Titular "A" de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Elia Minerva Estrada Aguilar. Profesora de Tiempo Parcial de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos

## Introducción

La dinámica urbana de un territorio tiene su expresión espacial más directa en la transformación del suelo rústico en urbano, transformación ésta que se ha inducido por la acción de los promotores inmobiliarios, o generado a partir de la gestión del gobierno estatal para la construcción de grandes equipamientos en el municipio.

Desde 1960, el fenómeno de desplazamiento de la fuerza laboral humana hacia el estado de Morelos se intensificó, siendo la ciudad de Cuernavaca (capital del estado) el principal atrayente y en segunda instancia los cuatro municipios que le circundan (Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco y Xochitepec), tal fue el crecimiento poblacional y urbano que en 1982 conformaron un continuo urbano y fueron declarados Zona Conurbada de Cuernavaca (ZCC), la cual se extiende desde el noroeste de Morelos hacia el sur, ocupando un área de 689km. (ver figura 1).

Los efectos de la migración masiva que inició a partir de 1960 con la construcción de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac), se dispersaron en los municipios colindantes a la ciudad de Cuernavaca, de modo que la población urbana creció de forma espectacular, y con el correspondiente déficit de equipamiento e infraestructura urbana derivado de la falta de planeación.

El desarrollo y establecimiento de actividades productivas como la industria principalmente, provocó a su vez la conformación de asentamientos humanos irregulares. Unikel, (1976, p 105), al atraer gente de estados vecinos como Guerrero, Puebla, Estado de México y Distrito Federal, en busca de empleo y una mejora de su calidad de vida, todos ellos necesitaron de un lugar donde vivir, pero al no contar con recursos la mayor parte de ellos dieron origen a este tipo de asentamientos.

La urbanización acelerada que se registró, ocasionó un cambio de la imagen urbana y rural, al pasar de un escenario agrario a otro donde paulatinamente surgieron grandes masas de trabajadores y con ello un conjunto de demandas. Gobierno del Estado de Morelos (2002).

El análisis de la transformación del escenario rural a urbano, muestra que la imagen urbana es la representación mental que se hace el individuo sobre las calles, plazas, edificios y todas las actividades sociales, culturales, demográficas, y ecológicas que se desarrollan en torno a una ciudad; entonces, la imagen no es algo transparente ni neutral, sino que constituye un fenómeno muy complejo, puesto que la construcción de su percepción y análisis esta condicionada culturalmente.

Por lo tanto, el realizar el análisis de la imagen urbana no es una tarea sencilla, sobre todo, cuando se pretende ha-

cerlo en un espacio urbano que esta siendo objeto de grandes cambios en el uso del suelo, como producto del paulatino abandono de la planeación urbana. La rápida transformación de la imagen del paisaje, consecuencia de varios factores como la cercanía con la capital del estado, del crecimiento urbano desordenado y un incremento poblacional acelerado.

## Antecedentes

A largo de los últimos sesenta años Cuernavaca, la imagen urbana de esta la ciudad paso de una fase de centralización a otra de dispersión en su periferia y empezó por encontrar limitantes físicos, económicos y políticos para su crecimiento desde diversos ángulos, los cuales, con el tiempo, se superaron Graizbord y Mina (1993 pp. 45-46). La ZCC se expandió físicamente en todas direcciones, aceleró la transformación del entorno de los municipios que la conforman siguiendo como patrón la cercanía de infraestructura vial.

Los mayores cambios en la imagen, por su rapidez, amplitud y profundidad, ocurrieron en Xochitepec, con la construcción de grandes equipamientos urbanos, así como fraccionamientos de viviendas de interés social así como residencias de lujo o de fin de semana, que se establecieron de forma anárquica, sin respetar barreras entre áreas industriales y habitacionales, con formas irregulares de acceso al suelo, que generó una complicada y desarticulada red vial y de transporte, altos niveles de contaminación, donde el suministro de agua potable inestable o escaso, tanto por volumen y disponibilidad, asimismo, la recolección de basura es captada por una estructura obsoleta, en el que los tiraderos de basura se encuentran a cielo abierto.

Al realizar el análisis de la imagen urbana y del paisaje del municipio de Xochitepec<sup>1</sup> como integrante de la ZCC, no es como una actividad sencilla sobre todo, tratándose del espacio urbano que es objeto de enormes cambios en el uso del suelo, donde se ha generado un monopolio y especulación con la tierra, como producto del paulatino abandono de la planeación urbana en manos de las leyes del mercado.

Los asentamientos humanos se dieron sobre áreas con vegetación natural y en zonas de agricultura de riego, las cuales paulatinamente se notificaron. Aguilar (1997). En su artículo *Tenencia de la Tierra y la Conservación del suelo en Morelos*, menciona que fueron pavimentadas áreas de recarga de acuíferos del valle. Esta situación propicia la modificación del clima confortable y que la abundancia de agua de la región se vea reducida cada vez, ambos fac-



tores (clima y agua) caracterizaron la imagen rural de Xochitepec, por las extensas áreas de cultivo de caña de azúcar.

La mancha urbana encuentra como obstáculo natural el cerro llamado de la Calera, no obstante, continúa el avance de la urbanización, donde el terreno es plano y se apoya en dos vías de comunicación: la Autopista del Sol e incipientemente en la carretera federal Cuernavaca-Acapulco.

El desarrollo urbano y económico, así como los factores que propiciaron la concentración urbana y demográfica de la ZZC, que se dio en las dos últimas décadas, es un ejemplo claro de una mala aplicación en la planeación del desarrollo urbano.

**La transformación**

La apariencia de una ciudad proporciona al observador elementos que ayudan a identificar la realidad urbana, ello permite crear en la imaginación del observador aspectos

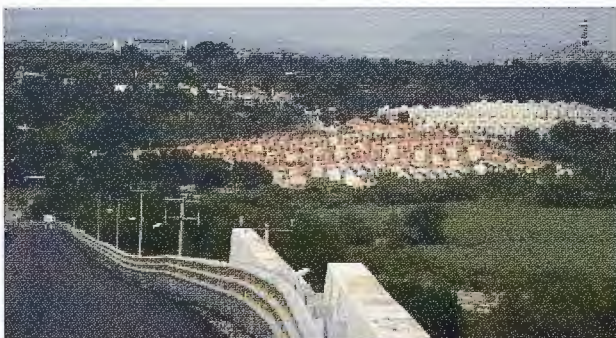
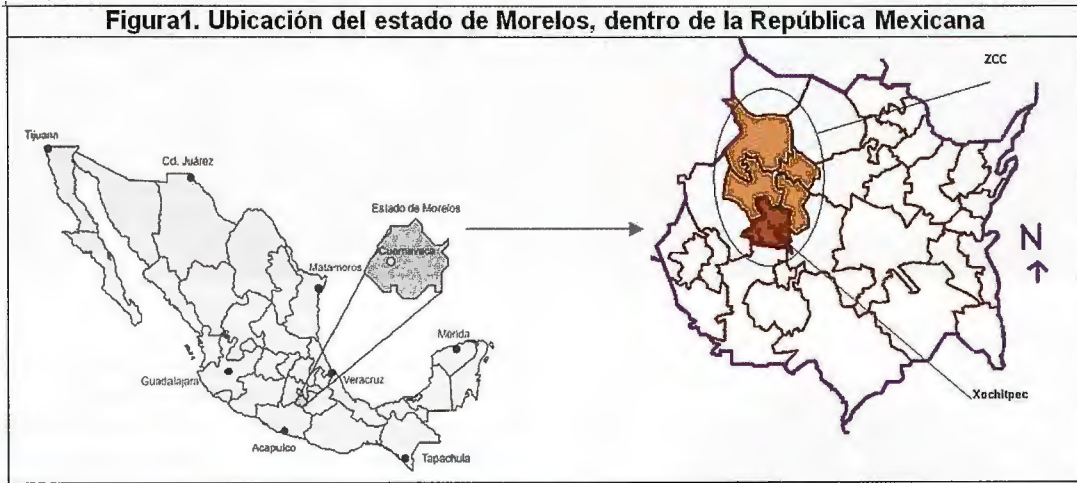


Imagen 1- Vista sur de la cabecera municipal. Construcción de viviendas de interés social en lo que antes fueron zonas de cultivo



Imágenes 2 y 3. Viviendas vernáculas, a la izquierda casa sin cambios, a la derecha viviendas modificadas para combinar uso habitacional con comercial

imaginarios de lo que fue, de lo que es y de lo que será, apoyado en la mezcla de una arquitectura del pasado con la contemporánea.

Hacer memoria de un sitio, es trasladar un objeto ausente al presente, transportar un recuerdo, la memoria interfiere entre el pasado y el presente. El recuerdo no es revivir, sino rehacer, reconstruir, con imágenes e ideas de hoy, las experiencias del pasado. Licona (2000, p 25).

La imagen urbana de acuerdo a lo señalado por Licona (2000) el centro de la cabecera municipal de Xochitepec, recuerda a quien la observa la de un poblado de inicios del siglo pasado (ver imagen 4 y 5), pero que conforme se avanza hacia la periferia se puede describir, como la de un poblado típico tradicional (ver imagen 2 y 3), donde las viviendas vernáculas, se caracterizan por contar con una única puerta de acceso, sin ventanas al exterior, paredes de adobe, techos de tejamanil de un agua, habitaciones de un solo espacio, incluyendo cocina, sala comedor, y al fondo el baño y el patio, muchas de ellas han sido modificadas, causando una afectación por construcciones nuevas donde se aprecia una mezcla de lo típico con lo modernista rebasando las normas establecidas.



Imagen 4. Ex-presidencia municipal Centro histórico





Imagen 5. Vista del centro histórico



Imagen 6. Ex-Hacienda de Real del Puente, al fondo el Acueducto y el río Apatlaco, hoy Hotel (5 estrellas)



Imagen 7. Campos de cultivo de caña de azúcar

Debido a la imagen que proyectan estas viviendas originadas por las modificaciones para difusión de sus negocios, es necesario contar con normas<sup>2</sup> que impidan la pérdida de su identidad tradicional en beneficio de la atracción turística y la conservación de los valores que inducen el arraigo de la población.

Existen antecedentes de planeación: el Programa Parcial de Desarrollo Urbano municipal de 2001, que contemplaba las estrategias y acciones potenciales en beneficio de los asentamientos humanos. Es importante la formalización de un instrumento para que ayude a ordenar los asentamientos humanos y propicie el salvaguardar el potencial natural.

Sin embargo, el lugar goza de un ambiente de tranquilidad de vida campirana donde sus habitantes conviven de manera casi familiar y el caminar por sus pasivas calles invita al descanso, al remanso; la gente se sienta en las afueras de su casa y ve pasar con gran pasividad los automóviles y al resto de la población, lo que genera ese acercamiento y conocimiento de las mismas personas.

La imagen rural y de lo que aún queda de su paisaje natural debe ser motivo de preservación no solamente por ser un lugar agradable por sus condiciones físico biológicas y los lugares de interés turístico e histórico. (ver imagen 6 y 7).



Imágenes 8 y 9. Zonas habitacionales edificadas por las constructoras Grupo ARA y GEO



Concerniente a la imagen del paisaje de la periferia de la cabecera municipal, se ha modificado con la construcción de dos importantes vialidades que atraviesan el municipio. Ambas comunican a la capital del estado con el Puerto de Acapulco: la carretera federal México-Acapulco y la autopista del Sol Cuernavaca-Acapulco. Estas vialidades han sido un polo de atracción para la edificación de grandes equipamientos urbanos públicos y privados, así como para grupos inmobiliarios, entre los que destacan las constructoras: Grupo GEO y Grupo ARA, las que por el número de viviendas que construyeron favorecieron en buena medida al crecimiento urbano desordenado, las imágenes 8 y 9, muestran como estas nuevas urbanizaciones se encuentran insertas lo que fueran campos de cultivo de agricultura de riego. Así también, existen otros desarrollos inmobiliarios que en número de viviendas no son tan grandes como los realizados por ARA o GEO. No obstante, son casas con mayor extensión en su construcción y con amplios jardines lo que significa una buena extensión de terreno, la mayoría de estos conjuntos habitacionales son de fin de semana o de uso permanente para muchas personas de la capital de país y de Cuernavaca.

El mercado inmobiliario ha hecho presencia en zonas consideradas de alto riesgo, al haberse edificarse sobre pendientes, áreas de deslave, como la Unidad Habitacional Jardines de Xochitepec, la construida a los márgenes de la carretera federal, (ver imagen 10), donde los techos de las viviendas se encuentran varios metros por debajo de la altura del nivel de esta vía de comunicación.

Por otra parte, entre los macro equipamientos que se establecieron destacan el aeropuerto internacional "Mariano Matamoros" y el Centro de Readaptación Social del Estado de Morelos (ver imagen 10), éste último construido a márgenes de la autopista del Sol y que han originado un cambio total del paisaje natural. Finalmente la construcción del nuevo campus del Tecnológico de Monterrey que ocupa una vasta extensión territorial.

Entre los problemas que tienen los habitantes del municipio es la escasez de agua, el cual se agravará ya que se



Imagen 10. Vista desde la autopista del Sol del Centro de Readaptación Social

continúa construyendo viviendas, este problema es un aspecto que debe tomarse en cuenta en la planificación de nuevas viviendas.

La tendencia del crecimiento poblacional de la cabecera municipal es preocupante, debido a que la imagen no proyecta tener una armonía con los recursos naturales existentes, siendo evidente que la construcción de grandes zonas habitacionales no parece ser producto de ninguna planificación.

La construcción de grandes equipamientos de zonas habitacionales propiciaron en las dos últimas décadas un cambio de la imagen natural, al pasar de ser eminentemente rural a urbano, no solo por número de habitantes, sino también por el cambio en las actividades económicas de sus habitantes. Por otra parte, muchos de los habitantes que han adquirido las nuevas viviendas son personas que en su mayoría trabajan en la ciudad de Cuernavaca, por lo que Xochitepec se está convirtiendo en una ciudad dormitorio, ya que las viviendas construidas en Xochitepec, resultan más accesibles por su bajo costo.

### Conclusiones

La imagen del paisaje que proyecta Xochitepec es la de un desorden urbano por la dispersión de asentamientos urbanos de nueva creación, que se construyeron en áreas agrícolas de riego, en áreas donde aún se conserva la vegetación natural y en zonas de riesgo. Debido al esparcimiento

de estas nuevas urbanizaciones, es difícil la atención a la población ahí asentada por parte del municipio para que cuenten con los equipamientos y servicios municipales básicos. Rueda (1999).

El desorden urbano ha sido ocasionado por carecer de suficientes instrumentos de planeación; irregularidad en tierras de propiedad social, escasa aplicación de reglamentos referentes al uso del suelo.

Es necesario contar con una reserva territorial que posibilite la reubicación de población localizada en zonas de riesgo. Como los ubicados en inmediaciones de serranías por el riesgo de deslave; aquellos edificados sobre pendientes pronunciadas; aquellos con posibilidad de desborde del río en época de lluvias; y los que se encuentren en zona inundable.



Imagen 10. Unidad Habitacional Jardines de Xochitepec, fotografía tomada sobre la carretera federal



A nivel municipal los conceptos de riesgo y vulnerabilidad se limitan a incendios de las zonas de corte de caña de azúcar, debido a que asentamientos humanos irregulares han invadido estas áreas de cultivo sin prever tal situación. Además de ser de los principales actores que han propiciado el cambio en el paisaje: extensas áreas de campos de cultivo de caña de azúcar y arroz que predominó por más de 500 años. Los campesinos de este municipio aún evocan las imágenes de los ingenios de la región con sus magníficas haciendas y bastas áreas para el cultivo de temporal de la caña.

El desarrollo urbano en el municipio, debe estar supeditado a las características propias de la estructura físico natural y social de Xochitepec, la cual no corresponde a los requerimientos de una zona urbana convencional.

En resumen, el cambio del paisaje natural se dio por la acción de factores endógenos y exógenos. Donde los primeros responden al crecimiento natural de la población, altas tasas de natalidad y la venta de tierras dedicadas a actividades agrícolas o de tierras que se habían conservado con vegetación natural, situación que conlleva a un cambio de las actividades económicas de la población. En tanto que los exógenos responden al avance de la urbanización de la capital del estado, lo que favoreció que algunas tierras fueran expropiadas para la construcción de obras de utilidad pública, entre las que destacan el aeropuerto internacional "Mariano Matamoros", la Autopista del Sol y el Centro de Readaptación Social. Por otra parte, la adquisición de grandes extensiones por parte de inmobiliarias para la construcción de grandes zonas habitacionales. Todas estas obras en su conjunto han hecho que la imagen del paisaje rústico de Xochitepec este cambiando a una imagen urbana.

Es necesario dar medidas preventivas y correctivas para evitar que se construya en las áreas agrícolas, sobre todo en las que conservan su vegetación y cuya topografía e hidrografía hacen que sean zonas no propias para el crecimiento urbano. Esto será posible si se lleva a cabo un Plan de Desarrollo Urbano con los debidos lineamientos.

### **Bibliografía consultada**

Aguilar Benítez, Salvador. "Tenencia de la Tierra y la Conservación del suelo en Morelos", Segundo Encuentro Estatal de Crónicas Morelenses, Instituto de Cultura de Morelos, Jojutla, Mor, México, 1997

Aguilar Adrián G. (coordinador) "Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros Países", ed. UNAM-M.A. Porrúa-Conacyt, México, 2004

Consejo Nacional de Población y Vivienda, "La Población de los municipios de México 1950-1990", Ed. UNO, Servicios Gráficos, México, 1994

Corona Cuapio Reina et al. "Dinámica migratoria de la Ciudad de México" Ed. Gobierno del Distrito Federal, México, 1999

Estrada Aguilar Elia Minerva. Archivo fotográfico tesis doctoral en Historia del Arte, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2002-2009

Gómez Azcarate y Espinosa Vargas, "Cuernavaca y su zona conurbada", en Oswald Ursula (coord), Mitos y Realidades del Morelos Actual, CRIM/UNAM, México, pp. 285-312

Gobierno del Estado de Morelos, Programa Estatal de De-

sarrollo Urbano 2001-2006, Versión preliminar, Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, 2002

Graizbord, Boris y Mina Alejandro, Geografía de la descentralización demográfica de la Ciudad de México, Seminario SOMEDE, Ponencia UAEM, México, 1993

Licona Valencia Ernesto, "El dibujo, la calle y construcción imaginaria", en: Revista Ciudades, No. 46, abril - Junio de 2000, Puebla, México

Linares Zarco, J., "La imagen urbana en el oriente de la zona metropolitana de la ciudad de México: análisis y repercusiones de la crisis económica y la crisis urbana", Tesis doctoral en Historia del Arte, Facultad de Artes, UAEM, 2006

Lynch Kevin, La Imagen de la Ciudad, Editorial Gustavo Gilli, Tercera edición, México, 1998

Oswald Spring Úrsula, "Fuenteovejuna" o caos ecológico, CRIM/UNAM, Cuernavaca, 1999

Rueda Hurtado, Rocío. "Mecanismos del crecimiento urbano en el Valle de Cuernavaca". Editorial Praxis. Instituto Estatal de documentación de Morelos. Morelos. 1999

\_\_\_\_\_. "El reparto agrario en el proceso de desarrollo económico en Morelos". Editorial Praxis. Morelos. 1998

Unikel, Luis, "El Desarrollo Urbano en México". Diagnóstico e Implicaciones Futuras, El Colegio de México, México, 1976

Von Mentz Brígida, "Los habitantes de los pueblos de Morelos de la época prehispánica a los albores de la Revolución", en: Morelos, el Estado, Gobierno del estado de Morelos/Letras Consultores en Comunicación Visual, México, 1993

(Profesora Investigadora Tiempo Completo Titular «A» de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, e-mail rocioru\_eda@yahoo.com.mx

((Profesora de Tiempo Parcial de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, e-mail: avidiaestra@hotmail.com

<sup>1</sup> La abundante mano de obra para la producción y transformación azucarera, que determinó el régimen hacendario a principios de siglo pasado, aglutinó un número de población considerable, como en el municipio de Emiliano Zapata, que se conformó principalmente de las tierras de las haciendas azucareras San Vicente y Dolores (ver Graizbord Boris y Mina Alejandro, 1993) así, como las haciendas San José y San Antonio de Padua en Chiconcuac, municipio de Xochitepec, como consecuencia del reparto agrario, la población se dispersó de acuerdo a la distribución de las parcelas, sin embargo, éstas actuaron como centros aglutinadores de la población campesina (ver Rueda, Rocío, 1998, pp.79).

<sup>2</sup> Estas acciones ya se llevan a cabo en otras ciudades de México como es el caso de la ciudad de Taxco, Guerrero. Donde la homogenización de color de las fachadas tanto de viviendas, oficinas de gobierno y todo tipo de negocios, se deben pintar de color blanco; tejas rojas, puertas y morillos exteriores de madera, la herrería de todas las edificaciones es de color negro, los letreros de negocios, hoteles, bancos, etc, en color dorado o negro. Con ello tanto propios como extraños visualizan la imagen de una ciudad que ha sabido respetar y conservar la arquitectura, en este caso la colonial, cuestión muy valorada por los turistas nacionales y extranjeros.



# One 4 all

Portatil con GPS y GLONASS  
Desde el metro al cm en RTK

ter cm meter dm meter cm meter dm meter cm dm meter cm meter dm met





# ESTIMACIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR EMPLEANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. PRESENTACIÓN DE SolarGIS

J.L. Torres<sup>1</sup>, M. de Blas<sup>1</sup>, A. Gracia<sup>1</sup>, A. García<sup>1</sup>, A. Huarte<sup>2</sup>, I. Díaz de Cerio<sup>2</sup>, A. Garrués<sup>3</sup>, G. Vargas<sup>4</sup> y L. Baigorrotegui<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Torres, José Luis; de Blas, Marian; Gracia, Ana; García, Almudena. Universidad Pública de Navarra. España

<sup>2</sup> Huarte, Alvaro; Díaz de Cerio, Iñaki. Tracasa S.A. España

<sup>3</sup> Garrués, Ana. AC Solar XXI. España

<sup>4</sup> Vargas, Gustavo. ah Asociados. España

<sup>5</sup> Baigorrotegui, Luis. CyC. España

## RESUMEN

Conocer la energía solar incidente sobre cualquier superficie es de gran importancia a la hora de seleccionar el emplazamiento óptimo de los sistemas de aprovechamiento de energía solar, calcular la energía producida por éstos y diseñar edificios energéticamente eficientes. En entornos urbanos, además del amplio abanico de posibles orientaciones e inclinaciones a analizar, los obstáculos adyacentes han de quedar referenciados con respecto al plano de captación de interés, a fin de poder evaluar su influencia sobre el recurso solar disponible. La herramienta informática SolarGIS desarrollada por los autores permite estimar la radiación solar disponible en un determinado plano sin necesidad de tener que desplazarse hasta el emplazamiento definitivo para posicionar los diferentes obstáculos, gracias a la integración de información cartográfica y geométrica mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS). Dicha información, junto con datos de irradiancia global sobre plano horizontal, permiten la estimación de la radiación solar incidente sobre cualquier plano, empleando un modelo de cielo. De este modo, la información cartográfica proporcionada por el GIS permite tanto una rápida estimación del recurso solar disponible en un emplazamiento concreto, como un estudio detallado de amplias zonas urbanas donde instalar nuevos sistemas de aprovechamiento solar.

## PALABRAS CLAVE

Energía, solar, GIS

## ABSTRACT

It is very important to know the incident solar radiation on different surfaces in order to select suitable locations, to calculate the energy production in solar collection systems and to design energy efficient buildings. In urban locations, in addition to the wide range of orientations and inclinations to analyze, obstacles must be positioned with respect to the collection plane so as to evaluate their incidence on the available solar resource. A computer tool developed by the authors is presented for evaluating the solar radiation in urban environments that makes unnecessary to stay in the solar collection emplacement for positioning the obstacles. The developed computer program couples the necessary cartographic and geometrical information, supplied by a Geographical Information System (GIS), to the information corresponding to global solar radiation on a horizontal plane. A sky model is used to calculate the solar radiation on a tilted plane. In this way, the cartographic support supplied by the GIS facilitates both a rapid determination of the available solar resource in an exact location or the study of wide urban areas.

## KEYWORDS

Solar, energy, GIS

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la iluminación y radiación solar incidente sobre planos de diferentes orientaciones e inclinaciones es muy importante, tanto para facilitar la elección de emplazamientos adecuados y la estimación realista de la producción de energía de sistemas de captación solar, como para el diseño de edificios energéticamente eficientes.

En la mayoría de las ocasiones, la citada información no está disponible, aun siendo altamente demandada, por ejemplo, en el desarrollo de planes urbanísticos orientados a la construcción de viviendas y edificios donde se quiere llevar a cabo un buen uso de la energía, o por los departamentos de ingeniería de las empresas de energía solar. Como muestra, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) promueve la obtención de datos de radiación solar estandarizados, con mejor fiabilidad y disponibilidad y con mayor cobertura espacial y temporal, así como productos para la evaluación de recursos solares adaptados a la demanda de proyectistas y empresas del sector de la energía solar. El fin que se persigue con ello es conseguir información más completa y fiable sobre el recurso solar. En este sentido, en los últimos años se han venido llevando a cabo investigaciones y trabajos que tratan de mejorar la calidad de las bases de datos existentes, establecer modelos cada vez más precisos y estandarizar los archivos informáticos que sirven de soporte de la información.

Con el fin de mejorar las estimaciones de radiación solar y superar las simplificaciones que los modelos normalmente empleados asumen, y que implican pérdida de precisión y alejamiento de la realidad física, un número notable de trabajos de investigación se ha orientado al desarrollo de modelos matemáticos sobre distribución angular de luminancia y radiancia en la bóveda celeste. Con ellos es posible determinar, de forma más precisa, la iluminación y radiación solar existentes en terrenos complejos y en entornos urbanos, donde se dan simultáneamente las condiciones de gran variabilidad de orientaciones e inclinaciones y la presencia de obstáculos. De forma paralela, se están elaborando programas informáticos cada vez más complejos para el análisis energético de edificios, que necesitan la información aportada por los citados modelos matemáticos como datos de entrada.



La incorporación de Sistemas de Información Geográfica convierte a la herramienta informática SolarGIS que se presenta en este trabajo en un instrumento eficaz para los diversos usuarios, ya que por un lado, elimina la necesidad de efectuar las correspondientes visitas para fijar la posición de los posibles obstáculos y, por otro, facilita el análisis conjunto de zonas relativamente grandes.

Mediante SolarGIS se podrán obtener resultados de radiación solar disponible para cortos intervalos de tiempo, bien de forma gráfica o numérica, según el interés del usuario, lo que aumentará indudablemente la fiabilidad de las estimaciones de producción energética mediante energías renovables de instalaciones situadas en emplazamientos determinados o de otras aplicaciones donde sea necesario conocer de forma precisa la disponibilidad del recurso solar.

Así, los objetivos del trabajo desarrollado por los autores son:

- Determinar de forma precisa y en cortos periodos de tiempo, la radiación global, difusa y directa incidente en cualquier plano situado en un terreno complejo o entorno urbano.
- Desarrollar un modelo geográfico que facilite la consideración de los obstáculos en la radiación incidente sobre el plano de captación.
- Desarrollar una nueva tecnología que permita determinar la radiación global incidente en las ciudades considerando las zonas edificadas, infraestructuras existentes, espacios públicos, etc.
- Evaluar y seleccionar emplazamientos para el aprovechamiento activo de la energía solar y el diseño de edificios bioclimáticos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR

El valor de la irradiancia global sobre plano horizontal es la medición de energía solar más comúnmente registrada en las estaciones de medida y es, por tanto, el dato de entrada seleccionado para comenzar el proceso de cálculo. Sin embargo, el algoritmo de cálculo para estimar radiación global sobre planos inclinados distingue entre irradiancia difusa y directa, siendo por ello necesario descomponer el valor de irradiancia global en sus dos componentes mediante un modelo matemático adecuado, como se describirá en el siguiente apartado.

Para realizar los análisis previos y seleccionar el modelo más conveniente, se han necesitado medidas experimentales de irradiancia global y difusa sobre plano horizontal, así como de irradiancia directa. La base de datos experimentales se ha obtenido gracias a dos piranómetros y un pirheliómetro situados en un seguidor solar que garantiza el seguimiento solar tanto del pirheliómetro como de la bola que sombrea a uno de los piranómetros para el registro de la irradiancia difusa. (Figura 1)

Para describir el origen direccional de la componente difusa de la energía solar se emplea un modelo de distribución angular que permite cuantificar la radiación difusa procedente de diferentes zonas de la bóveda celeste. Inicialmente, los valores resultantes de la aplicación de varios modelos que se describen en el siguiente apartado se com-

pararon con medidas experimentales, para seleccionar el más adecuado. A diferencia de instrumentos de medida como los piranómetros, los equipos necesarios para registrar lecturas de radiancia y luminancia no son tan comunes ni están tan experimentados. La figura 2 muestra uno de estos equipos, el Sky Scanner desarrollado por EKO, el cual mediante dos sensores registra tanto medidas de radiancia como de luminancia. Ambos sensores están dispuestos sobre un cabezal móvil a dos ejes que permite realizar lecturas en 145 posiciones distintas, cubriendo toda la bóveda celeste.

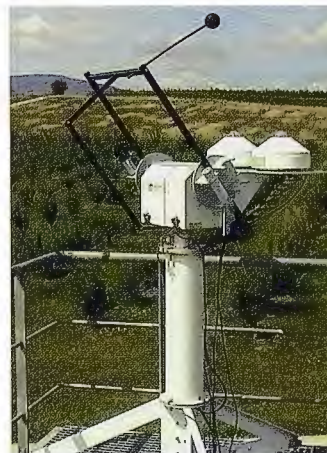


Fig.1: Seguidor solar con dos piranómetros, con sistema de ventilación, para la medición de irradiancia global y difusa (situados sobre plano horizontal) y un pirheliómetro para el registro de irradiancia directa. La bola negra permite sombrear el piranómetro que registra irradiancia difusa.



Fig.2: Sky scanner EKO dispuesto de dos sensores para medir radiancia y luminancia (izquierda) y diagramas de la distribución en los diferentes sectores de medidas de luminancia (centro) y radiancia (derecha).

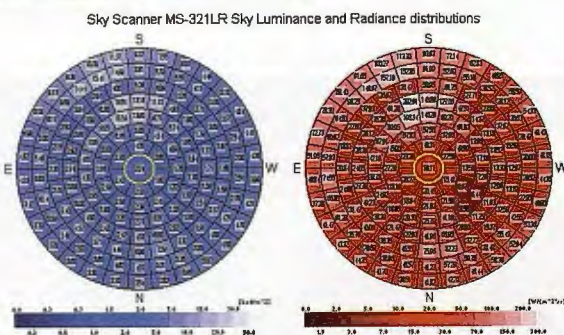


Fig.3 a: Cámara de cielo para tomar fotografías del cielo.



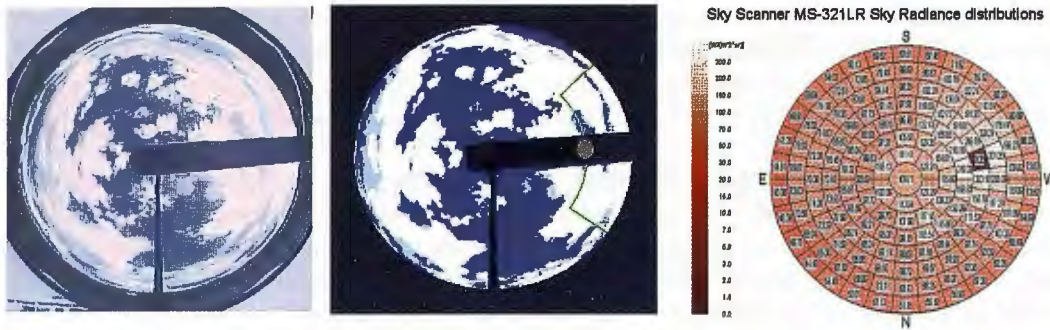


Fig.3 b: Ejemplo de una de las fotografías tomadas por la cámara (izquierda), imagen procesada por el equipo (centro) y la correspondiente distribución angular de lecturas de radiancia registradas por el equipo SkyScanner EKO (derecha).

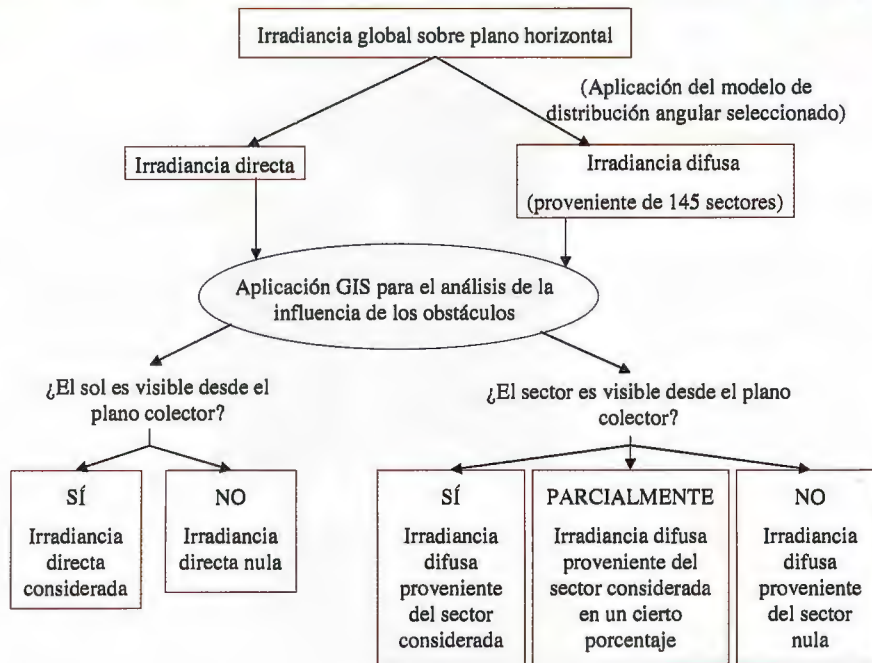


Fig 4: Integración del soporte GIS en el cálculo de la radiación solar incidente sobre el plano de captación, lo que hace innecesario el posicionarse en su emplazamiento para describir la distribución y posición relativa de los obstáculos.

Una cámara de cielo (Figura 3), sincronizada con el resto de instrumentos de medida, se emplea para disponer de información sobre las condiciones de cielo, ya que es necesario conocer el estado del cielo, que pueden variar entre cubierto, despejado o intermedio, para seleccionar los coeficientes incluidos en el modelo de distribución angular a aplicar.



Fig. 5. Entorno urbano generado por la herramienta Map Editor™. El plano de captación solar puede ser colocado en el punto de interés y la energía solar incidente sobre el mismo puede ser estimada teniendo en cuenta la incidencia de los obstáculos.

## 2.2. MODELOS PARA ESTIMAR LA RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE SOBRE PLANOS INCLINADOS

En cuanto a datos de radiación solar, el único dato de entrada es la lectura de irradiancia global sobre plano horizontal. No obstante, debido al origen direccional de la radiación solar, es necesario tener en cuenta tanto la com-

ponente difusa como la directa. Dado que estas componentes rara vez se encuentran disponibles en las estaciones de medida, deben ser estimadas. A tal propósito, fueron analizados varios modelos como los que emplean correlaciones polinómicas de diferentes órdenes (Jacovides et al. 2006), modelos basados en funciones logísticas (Boland et al., 2001), el modelo propuesto por Skarveit et al

(1998) o el modelo DirInt (Perez et al, 1992). Este último planteamiento es el que finalmente se implementó dentro de la herramienta informática para la estimación de las componentes difusa y directa, al proporcionar los resultados más satisfactorios.

Mientras la irradiancia directa se puede describir como procedente de un único punto, la componente difusa no puede considerarse homogéneamente distribuida a lo largo de la bóveda celeste, al estar fuertemente influenciada por la posición aleatoria de las nubes, su movimiento, etc. Modelos sencillos (Perez, 1987, 1988; Reindl et al, 1990) separan la bóveda celeste entre tres zonas: una paralela al horizonte, denominada banda de horizonte;

una segunda zona alrededor del sol o zona circumsolar, y por último, el resto de la bóveda que es considerada homogénea. No obstante, existen otros planteamientos más complejos y próximos a la realidad física, como los modelos desarrollados por Perez (Perez et al., 1993), Brunger (Brunger et al., 1993) o Igawa (Igawa et al., 2004), que per-



miten estimar de manera continua a lo largo de la bóveda celeste, los valores absolutos de radiancia y/o luminancia en cualquier punto en función de la posición relativa de éste con respecto al sol. Una versión calibrada del modelo descrito por Perez et al. (1993) se ha integrado en el software desarrollado. En este modelo, la radiancia se considera procedente de 145 posiciones distintas distribuidas en la bóveda celeste, tal y como fueron descritas por Tregenza (Tregenza y Sharples, 1993).

### 2.3. APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (GIS)

La mayor ventaja del programa informático desarrollado para la estimación de irradiancia solar es la integración de un sistema de información geográfica (GIS) que aporta información sobre las características geográficas del emplazamiento del sistema de aprovechamiento de energía solar y de sus alrededores. Dicha información geográfica se incorpora al proceso de cálculo de la radiación solar incidente sobre cualquier superficie, al permitir la consideración, no sólo del posible bloqueo del disco solar por parte de los obstáculos y que afecta a la irradiancia directa, sino también de la irradiancia difusa procedente de los diferentes sectores en que queda dividida la bóveda celeste y que son visibles para el plano de captación solar. La figura 4 muestra un diagrama que ilustra la contribución del GIS al proceso de cálculo. Habiendo dividido la bóveda celeste en 145 sectores, el GIS permite conocer con exactitud los sectores visibles desde un determinado emplazamiento, así como las superficies y obstáculos que bloquean los otros sectores, haciendo innecesario tener que analizar *in situ* la influencia de los obstáculos. En una siguiente etapa, se podrá estimar la aportación de energía solar reflejada procedente de sectores total o parcialmente bloqueados por obstáculos, siguiendo el procedimiento desarrollado por Robinson y Stone (2004, 2005).

Así, la irradiancia global incidente sobre un plano de captación cualquiera se obtiene considerando, por un lado, la irradiancia directa, en caso de que el sol sea visible, y por otro lado, la irradiancia difusa. Esta última puede descomponerse en tres sumandos:

a) Irradiancia difusa procedente de la parte visible de la bóveda celeste,  $I_{d,bov,\beta}$  (Ec. 1)

$$I_{d,bov,\beta} = \sum_{i=1}^p R_i \cdot \phi_i \cdot \sigma_i \cdot \cos \zeta_i \quad (1)$$

$R_i$ : radiancia del sector de la bóveda celeste (proporcionada por el modelo de distribución angular de radiancia)

$\phi_i$ : ángulo sólido subtendido desde el plano de captación por el sector  $i$

$\sigma_i$ : proporción en que el sector  $i$  es visto ( $0 \leq \sigma_i \leq 1$ )

$\zeta_i$ : ángulo entre el sector y el plano de captación

$p$ : número de sectores en que se divide la bóveda celeste (habitualmente 145)

b) Irradiancia difusa procedente de la reflexión sobre los obstáculos situados a mayor cota que el plano de captación,  $I_{d,\rho,u,\beta}$  (Ec. 2)

$$I_{d,\rho,u,\beta} = \sum_{i=1}^p \left( \frac{I_{g\beta} \cdot \rho}{\pi} \right) \phi_i \cdot (1 - \sigma_i) \cos \zeta_i \quad (2)$$

$\rho$ : Reflectancia de la superficie del obstáculo

$I_{g\beta}$ : Irradiancia global sobre la superficie del obstáculo

c) Irradiancia difusa procedente de la reflexión sobre los obstáculos situados a menor cota que el plano de captación,  $I_{d,\rho,i,\beta}$  (Ec. 3)

$$I_{d,\rho,i,\beta} = \sum_{i=1}^p \left( \frac{I_{g\beta} \cdot \rho}{\pi} \right) \phi_i \cdot \cos \zeta_i \quad (3)$$

## 3. RESULTADOS

El programa informático SolarGIS, desarrollado de acuerdo a las características descritas en los apartados anteriores, será comercializado en los próximos meses. La estructura y las características básicas de SolarGIS se describen en el presente apartado.

### 3.1. INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA

#### 3.1.1. Radiación solar

El programa necesita valores medios horarios de irradiancia global sobre plano horizontal para un período de un año, aunque en caso de no disponer de ellos, se pueden tratar series temporales más cortas. El usuario puede proporcionar estos datos procedentes de múltiples fuentes, si bien con un formato adaptado a las necesidades del programa. Además, SolarGIS dispone de una base de datos interna que incluye datos de irradiancia de varias ciudades de España y de otros países. En caso de que el usuario disponga de datos medios diezminutales, como, por ejemplo, los registrados en las estaciones meteorológicas, pueden ser introducidos con este intervalo temporal en el programa, al contar éste con un módulo que genera los correspondientes valores medios horarios necesarios para el cálculo posterior.

#### 3.1.2. Modelo digital del terreno

El programa SolarGIS incluye el sistema de información geográfica, basado en la herramienta Map Editor™. Esta aplicación informática de diseño permite definir y representar de forma sencilla entornos complejos y urbanos, así como incorporar nuevas edificaciones dentro de un entorno previamente definido, al admitir diferentes formatos de otros programas de diseño, tanto en dos como en tres dimensiones. La figura 5 es un ejemplo del tipo de representación que se puede obtener de la herramienta Map Editor™.

#### 3.1.3. Características de los módulos o colectores solares

Las características geométricas y el emplazamiento de los módulos o colectores solares pueden definirse fácilmente mediante una de las barras de herramientas con las que cuenta el programa SolarGIS. El usuario debe definir, bien de forma individual o bien de forma conjunta para series de módulos o colectores, la altura, anchura, distancia al suelo y entre los diferentes planos de captación, ángulo con respecto al plano horizontal o inclinación y ángulo con respecto a la dirección sur o ángulo de acimut (Figura 6). Los módulos o colectores pueden colocarse tanto sobre plano horizontal como inclinado, así como sobre fachadas.

El software dispone de una opción que facilita al usuario una vista del horizonte del plano de captación, es decir, lo que vería si estuviera en la misma localización y posición que el módulo o colector solar, lo cual resulta de gran uti-



lidad para decidir rápidamente si el emplazamiento y posición seleccionados son adecuados o no antes de comenzar el proceso de cálculo, ya que permite evaluar rápidamente la incidencia de los posibles obstáculos sobre la energía incidente sobre el plano de captación.

### 3.2. RESULTADOS PROPORCIONADOS POR EL PROGRAMA

Una vez suministrados al programa los datos de entrada necesarios, éste calcula los valores de irradiancia global, difusa y directa incidente sobre cada uno de los módulos o colectores solares introducidos, así como sobre cualquier otra superficie de interés. Los resultados se presentan tanto en formato numérico como gráfico para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios.

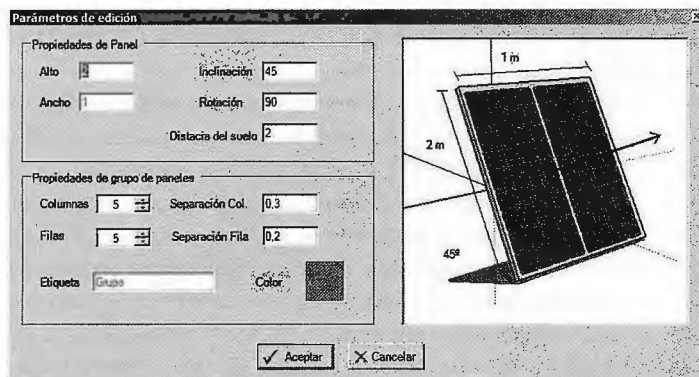


Fig 6. Herramienta del software SolarGIS para introducir las características geométricas y la localización de los colectores o módulos solares.

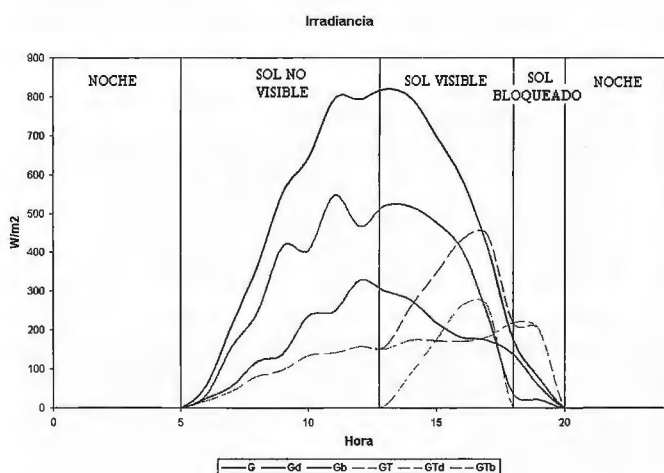


Fig. 7: Representación de la irradiancia global-G (azul), difusa-Gd (naranja) y directa Gb (verde) tanto sobre plano horizontal (líneas continuas) como sobre plano inclinado (líneas discontinuas) para un día. Las horas entre el amanecer y anoecer se describen según sea la visibilidad del sol desde el plano de captación. De modo que el sol puede no ser visible por la propia orientación e inclinación del plano o porque quede bloqueado por la presencia de obstáculos.

Por un lado, los resultados numéricos pueden ser exportados a formato Excel®, a fin de facilitar el desarrollo de cálculos y análisis posteriores. Estos ficheros de datos incluyen los datos de entrada correspondientes a valores medios horarios de irradiancia global sobre plano horizontal, los valores estimados de irradiancia difusa y directa sobre plano horizontal, así como los de irradiancia global, difusa y directa sobre la superficie de captación de interés, derivados del proceso de cálculo. La figura 7 muestra un ejemplo de los valores de irradiancia global, difusa y directa, tanto en plano horizontal como inclinado, obtenidos del análisis de un único día. Debido a la orientación e incli-

nación de la superficie de captación analizada, se observa cómo el sol no es visible por la mañana, mientras que a última hora de la tarde queda bloqueado por obstáculos. Por otro lado, el programa proporciona al usuario una representación gráfica de la escena analizada, con el o los planos de captación y los alrededores, en la que las distintas superficies de interés quedan coloreadas de forma gradual de acuerdo con el valor estimado de irradiancia incidente sobre ellas.

### 4. CONCLUSIONES

El programa informático SolarGIS permite el análisis en detalle de la radiación solar incidente sobre cualquier plano de captación, al tener en cuenta modelos de distribución

angular e integrar un GIS que facilita la consideración de la influencia de los obstáculos en la energía solar recibida. Los resultados de radiación solar incidente sobre los planos de interés pueden ser presentados tanto en formato numérico como gráfico. La información derivada del proceso de cálculo, referida a periodos horarios, mejorará considerablemente las estimaciones de producción energética de los sistemas de aprovechamiento de energía solar, así como de otras aplicaciones que requieren de un conocimiento detallado del recurso solar disponible en un determinado emplazamiento.

### 5. REFERENCIAS

- Boland, J., Scout, L., Luther, M. (2001) Modeling the diffuse fraction of global solar radiation on horizontal surface. *Environmetrics*, 12 (2), 103-116.
- Brunger, A.P., Hooper, F.C. (1993) Anisotropic sky radiance model based on narrow field of view measurements of shortwave radiance. *Solar Energy*, 51 (1), 53-64.
- Igawa, N., Koga, Y., Matsuzawa, T., Nakamura, H. (2004) Models of sky radiance distribution and sky luminance distribution. *Solar Energy*, 77, 137-157.
- Jacovides, C.P., Tymvios, F.F., Assimakopoulos, V.D., Kaltsounides, N.A. (2006) Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation. *Renewable Energy*, 31 (5), 2492-2504.
- Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Steward, R., Menicucci, D. (1987) A new simplified of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 39 (3), 221-231.
- Perez, R., Steward, R., Seals, R., Guertin, T. (1988) The development and verification of the Perez diffuse radiation model. Sandia National Laboratories Report SAND88-7030.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Zelenka, A. (1992) Dynamic global to direct irradiance conversion models. In ASHRAE Transactions - Research Series, 354-369.
- Perez, R., Seals, R., Michalsky, J. (1993) All-weather model for sky luminance distribution - Preliminary configuration and validation. *Solar Energy*, 50 (3), 235-245.
- Reindl, D.T., Beckman, W.A., Duffie, J.A. (1990) Evaluation of hourly tilted surface radiation models. *Solar Energy*, 45 (1), 9-17.
- Robinson, D., Stone, A. (2004) Solar radiation modeling in the urban context. *Solar Energy*, 77 (3), 295-309.
- Robinson, D., Stone, A. (2005) A simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange. *Building Services Engineering Research Technology*, 26 (4), 271-284.
- Skartveit, A., Olseth, J.A., Tuft, M.E. (1998) An hourly diffuse fraction model with correction for variability and surface albedo. *Solar Energy*, 63 (3), 173-183.
- Tregenza, P., and Sharples, S. (1993) Daylighting algorithms. ETSU Report S1350.

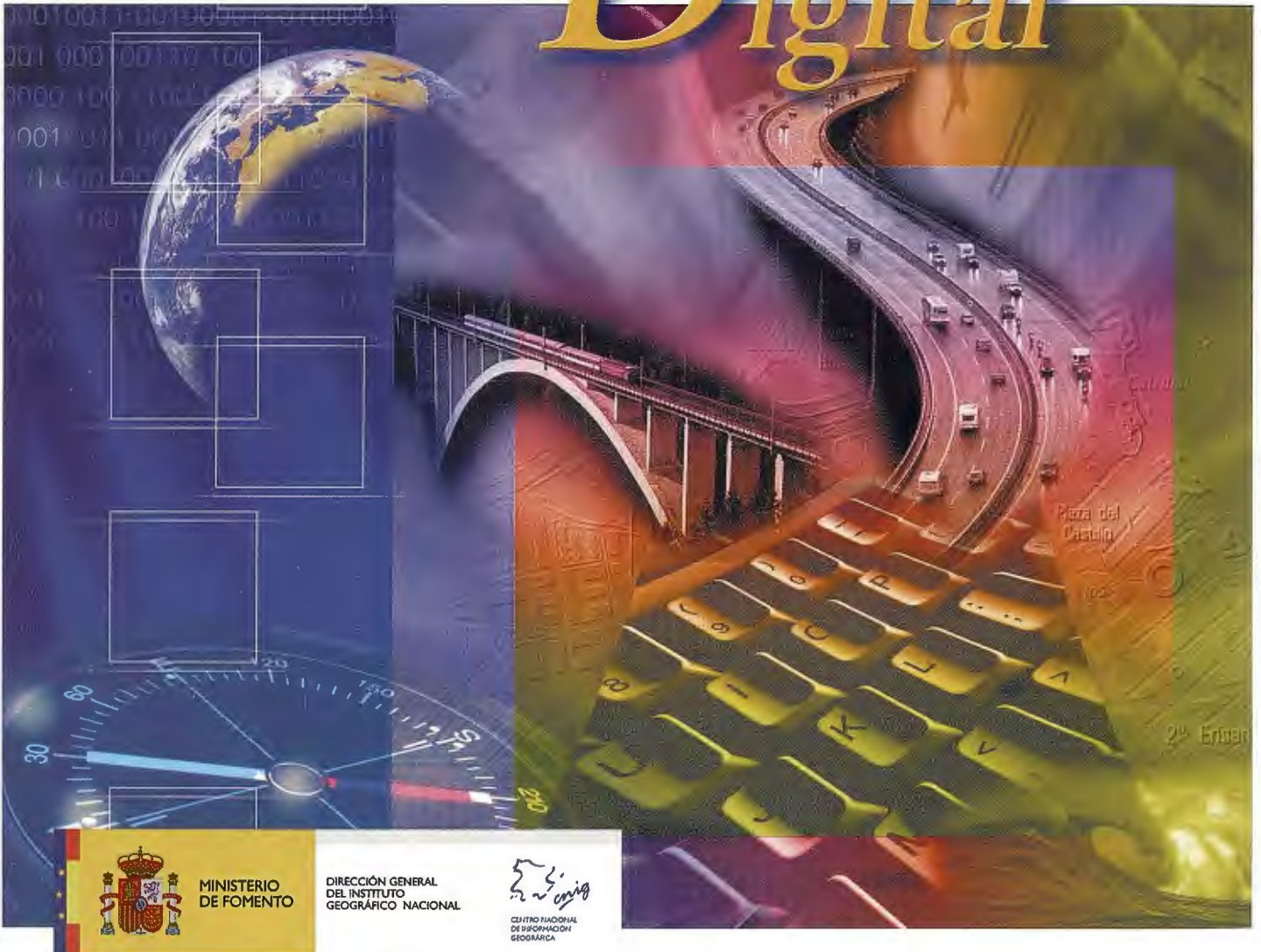
### 6. AGRADECIMIENTOS

El trabajo de desarrollo de la herramienta informática SolarGIS forma parte del proyecto de investigación IIM11807.R11 INNOVATIC (EI-3), financiado por el Gobierno de Navarra. El modelado de la distribución de radiancia en el cielo para la evaluación de la irradiancia forma parte del proyecto de investigación ENE2007-64413/ALT, financiado por la Dirección General de Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia del Gobierno de España.



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

# Cartografía Digital



MINISTERIO  
DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL  
DEL INSTITUTO  
GEOGRÁFICO NACIONAL



CENTRO NACIONAL  
DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN 1000, 500, 200, 25),  
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),  
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT 1000, 200, 25),  
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,  
FOTROGRAFÍA AÉREA, MAPA POLÍTICO DE EUROPA,  
MAPA POLÍTICO DEL MUNDO, CALLEJEROS Y OTROS PRODUCTOS.

Oficina central y comercialización:  
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID  
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13  
e-mail: [consulta@cnig.es](mailto:consulta@cnig.es) • <http://www.cnig.es>



# EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS DE LA BAHÍA DE CIENFUEGOS, CUBA (2004-2007)

Mabel Seisdedo\*, Roberto H. Herrera\* y Gustavo Arencibia\*\*

\*Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) - Cuba.

\*\* Centro de Investigaciones Pesqueras - Ciudad de La Habana. Cuba.

## RESUMEN

La eutrofización es uno de los procesos más estudiados en los ecosistemas costeros, por consiguiente, son utilizados con frecuencia diversos índices para la clasificación del estado trófico de las aguas. A finales de la década del 70, en la bahía de Cienfuegos se realizó un estudio de la eutrofización; sin embargo, durante casi 30 años han ocurrido cambios socioeconómicos que han generado la modificación de determinadas actividades que influyen en la bahía, lo cual trae consigo la necesidad de realizar un estudio actualizado del estado trófico de las aguas de esta bahía teniendo en cuenta la actual presión antropogénica sobre la misma. Se obtuvo un índice de eutrofización (IE) por temporada climática para el nitrógeno inorgánico y el fósforo inorgánico considerando los datos hidrológicos obtenidos en 10 campañas realizadas durante el período 2004-2007. Los valores de los IE obtenidos mostraron para el nitrógeno inorgánico predominio de las condiciones mesotróficas en la temporada lluviosa y condiciones oligotróficas en la temporada poco lluviosa; mientras que para el fósforo inorgánico predominan las condiciones oligotróficas, en ambas temporadas climáticas. El análisis comparativo con estudios previos sugiere que el cambio de funciones de la Fábrica de Fertilizantes, en 1995, fue muy favorable para la calidad de las aguas desde el punto de vista trófico.

**Palabras clave:** estado trófico, índice, calidad del agua y bahía de Cienfuegos.

## ABSTRACT

Eutrophication is one of the most studied processes in coastal ecosystems; hence different indexes are used frequently for the classification of water trophic state. At the end of the 70s, a study of eutrophication in Cienfuegos bay was carried out; however, during 30 years socioeconomic changes have occurred and these have generated modifications of different activities with influence on this bay. Consequently, a study to evaluate the current trophic state taking into account the anthropogenic activities was carried out. An eutrophication index was obtained (EI) for the inorganic nitrogen and the inorganic phosphorus considering both seasons (rainy and not very rainy) and hydrological data obtained from 10 campaigns in the period 2004-2007. The obtained EI values showed for inorganic nitrogen prevalence of mesotrophic conditions in the rainy season and oligotrophic conditions in the not very rainy season; while the oligotrophic conditions prevail for inorganic phosphorus, in both seasons. The comparative analysis with previous studies suggests that activities change in the Fertilizers Factory, in 1995, had a good influence on the water quality from the trophic point of view.

**Key words:** trophic state, index, water quality, and Cienfuegos Bay.

## INTRODUCCION

Durante las últimas cuatro décadas ha pasado a ser más evidente que la eutrofización es un problema significativo en muchos estuarios y zonas costeras. Síntomas como altos niveles de clorofila *a* (Nixon y Pilson, 1983), eventos

de anoxia e hipoxia (CENR, 2000; Kennish, 2002) y florecimientos de algas tóxicas y nocivas (Rabalais *et al.*, 1996) se han identificado en zonas estuarinas de Australia, Japón y Estados Unidos (Okaichi, 1997; Maher, 2001), incluso Margalef (1998) expone que los episodios de mareas rojas son más frecuentes debido al incremento de la eutrofización en aguas costeras. Otras consecuencias producidas por el enriquecimiento de nutrientes de las áreas costeras incluyen muerte de peces (Glasgow y Burkholder, 2000) y pérdida o degradación de los lechos marinos (McGlathery, 2001); así como significativos costos económicos y sociales (Anderson, 2000). Si bien se ha documentado la existencia de los problemas ambientales y la pérdida de la calidad del agua por el enriquecimiento de nutrientes en la zona costera, la mayoría de estas investigaciones refieren a casos particulares de países localizados en latitudes templadas (*e.g.* Vollenweider *et al.*, 1992; Tett *et al.*, 2003), requiriéndose la descripción de los mismos en ecosistemas como el caso de estudio.

Algunos autores (Corredor *et al.*, 1999; Downing *et al.*, 1999; Aranda, 2004) consideran posible que los ecosistemas tropicales de países en vías de desarrollo, reaccionen con respuestas más evidentes a los estímulos del Proceso de Eutrofización, en comparación a las costas de zonas templadas, al contar con mayor intensidad y duración de la radiación solar; así como por la carencia de sistemas de depuración eficientes.

La aplicación de índices y escalas que se basan en el análisis de nutrientes, resulta muy beneficiosa para el estudio del proceso de eutrofización (Vollenweider *et al.*, 1998; López-Cortés *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2006). Sin embargo, la bahía de Cienfuegos, después del estudio de Areces (1986) a finales de la década del 70, no ha contado con otra evaluación del estado trófico de sus aguas que tenga en cuenta los cambios ocurridos en las actividades que inciden en esta bahía, lo cual es el objetivo del presente trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio:

#### Área de estudio:

La bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada en los 22. 09' LN y 80. 27' LO en la región centro y sur de Cuba (Fig. 1), tiene un área de 88.46 km<sup>2</sup>, un volumen total de 0.84 km<sup>3</sup> y una profundidad promedio de 9.5 m. De forma natural está dividida en dos lóbulos delimitados por el bajo "Las Cuevas" que ejerce gran influencia en la circulación de las masas de agua dentro de la bahía.

En esta bahía desembocan los ríos Caunao y Arimao, en el lóbulo sur; mientras el Damují, el Salado, el Arroyo Inglés



y el Arroyo Las Calabazas, en lóbulo norte. También, están presentes diversos usos socioeconómicos: industrial, urbano, turístico, etc., los cuales hacen que este sistema esté propenso al deterioro de la calidad de sus aguas.

### Análisis de datos

El índice de eutrofización (IE) utilizado fue el propuesto por Karydis *et al.* (1983) debido a que solo requiere las concentraciones de nutrientes, a diferencia del índice trófico TRIX (Vollenweider *et al.* 1998) que además considera la concentración de clorofila a, parámetro del que no se tiene datos disponibles.

Se estimó el IE para el nitrógeno inorgánico ( $N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$ ) y el fósforo inorgánico ( $PO_4^{3-}$ ), basado en la ecuación (Karydis *et al.*, 1983):

$$IE = \frac{C}{C - \log x_i} + \log A$$

donde:

IE: es el índice de eutrofización por nutriente de cada estación de muestreo, por campaña.

A: es el número de estaciones de muestreo durante el período de estudio (en este trabajo, 14)

C: es el logaritmo de la concentración total del nutriente durante el período de estudio, es decir, es la suma de las concentraciones  $X_{ij}$  del nutriente obtenidas en cada una de las  $A_i$  estaciones durante los  $M_j$  muestreos (en este trabajo, 5 por temporada climática).

$$C = \log \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^M x_{ij}$$

$X_i$ : es la concentración total del nutriente en la estación  $A_i$  durante el período de estudio.

$$x_i = \sum_{j=1}^M x_{ij}$$

La escala de clasificación es la siguiente: si  $IE < 3$  indica estado *oligotrófico*, para  $3 \leq IE \leq 5$  es *mesotrófico* y para  $IE > 5$  es *eutrófico*.

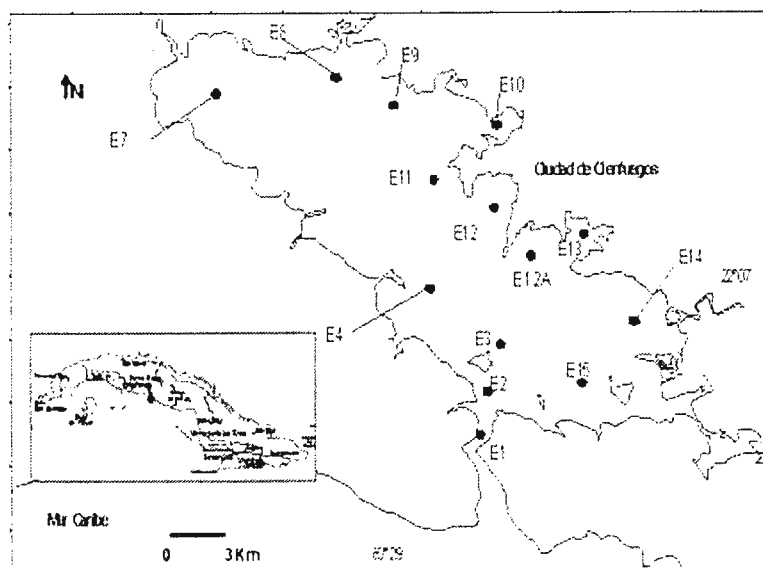


Figura 1. Área de estudio y red de estaciones del Programa de monitoreo hidrológico de la Bahía de Cienfuegos.

Para su cálculo fueron considerados los datos hidrológicos:  $N-NH_3$ ,  $N-NO_2$ ,  $N-NO_3$  y  $P-PO_4$  obtenidos en 10 campañas realizadas durante el período 2004-2007. Para su cuantificación se emplearon las metodologías descritas en UNESCO (1983) y UNEP (1991).

Se consideraron las dos temporadas climáticas (lluviosa y poco lluviosa) teniendo en cuenta uno de los avances considerados en el Modelo Conceptual Contemporáneo de la Eutrofización costera Fase II. Este incluye entre los atributos del sistema que influyen en el tipo de expresión de síntomas eutróficos dentro de sistemas costeros, al tiempo de residencia del agua (NRC, 2000; Cloern, 2001; Boesch, 2002). Según Muñoz y Díaz (2008), en la temporada lluviosa, esta bahía tiene un tiempo de intercambio medio de 3 días; mientras en la temporada poco lluviosa, el tiempo de intercambio medio alcanza hasta 47 días.

La variabilidad espacial se evalúa mediante la desviación estándar (DE) y los intervalos de concentraciones. Para la representación de las distribuciones espaciales de los valores promedios de ambos nutrientes analizados se utilizó la interpolación polinomial (spline biarmónica) (Sandwell, 1987), usando la función griddata de Matlab 7.5 e igual escala de colores para una mejor comparación.

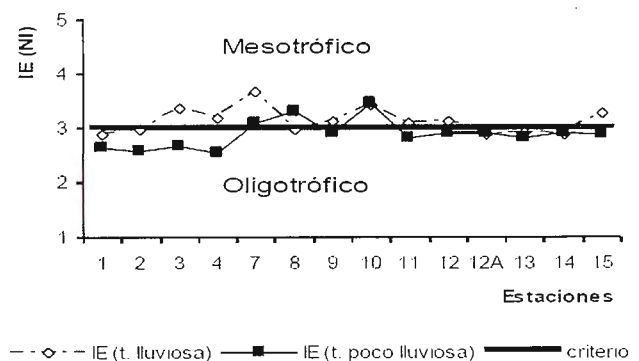


Figura 2. Distribución espacial de los valores de IE para el NI de las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática en el período 2004-2007.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los IE obtenidos para el nitrógeno inorgánico (NI) indicaron en la temporada lluviosa variaciones entre estados

oligotróficos y mesotróficos (Figura 2), predominando esta última clasificación en el 60 % de las estaciones muestreadas; sin embargo, en la temporada poco lluviosa predominaron las condiciones oligotróficas en el 80 % de las estaciones estudiadas.

Por su parte, los valores de IE para el fósforo inorgánico (FI) indicaron condiciones oligotróficas de las aguas en ambas temporadas climáticas, excepto en la estación 14 que mostró condiciones mesotróficas durante la temporada lluviosa (Figura 3), indicativo del aporte de fósforo a esta bahía, a través del río Caunao, durante esta temporada.

Lo anterior evidencia la influencia de la estacionalidad climática en el deterioro del estado trófico de las aguas de este sistema, lo cual está en correspondencia con el aumento de las concentraciones promedio de nutrientes durante la temporada lluviosa (Tabla 1), des-



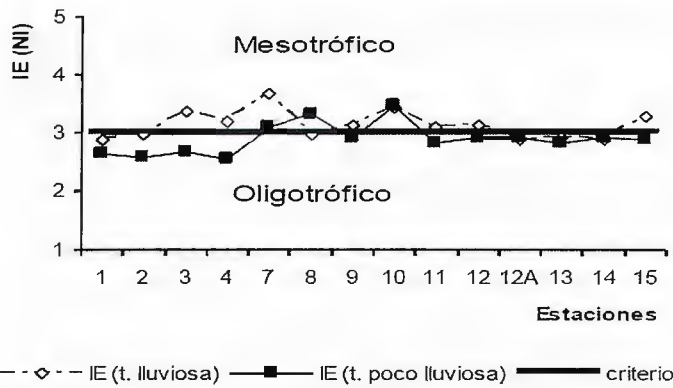


Figura 3. Distribución espacial de los valores de IE para el FI de las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática en el período 2004-2007.

Nutrientes	Temporada	Media	Intervalo	D.E.	Clasif.
N.I. ( $\mu\text{molL}^{-1}$ )	lluviosa	2.69	0.78 - 9.71	1.72	mesotrófico
	poco lluviosa	1.46	0.32 - 3.99	1.14	oligotrófico
F.I. ( $\mu\text{molL}^{-1}$ )	lluviosa	1.25	0.35 - 7.91	1.40	oligotrófico
	poco lluviosa	0.48	0.10 - 1.45	0.30	oligotrófico

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes y clasificación según IE, por temporada climática.

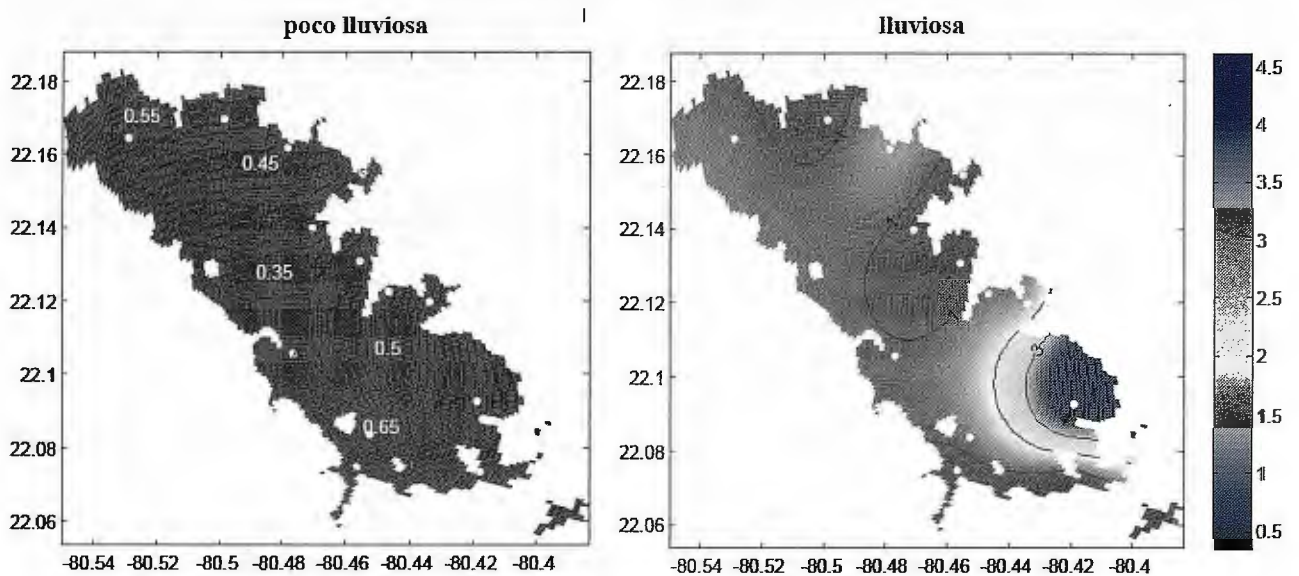


Figura 4. Distribución espacial de los valores del FI superficial en las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática durante el período 2004-2007.

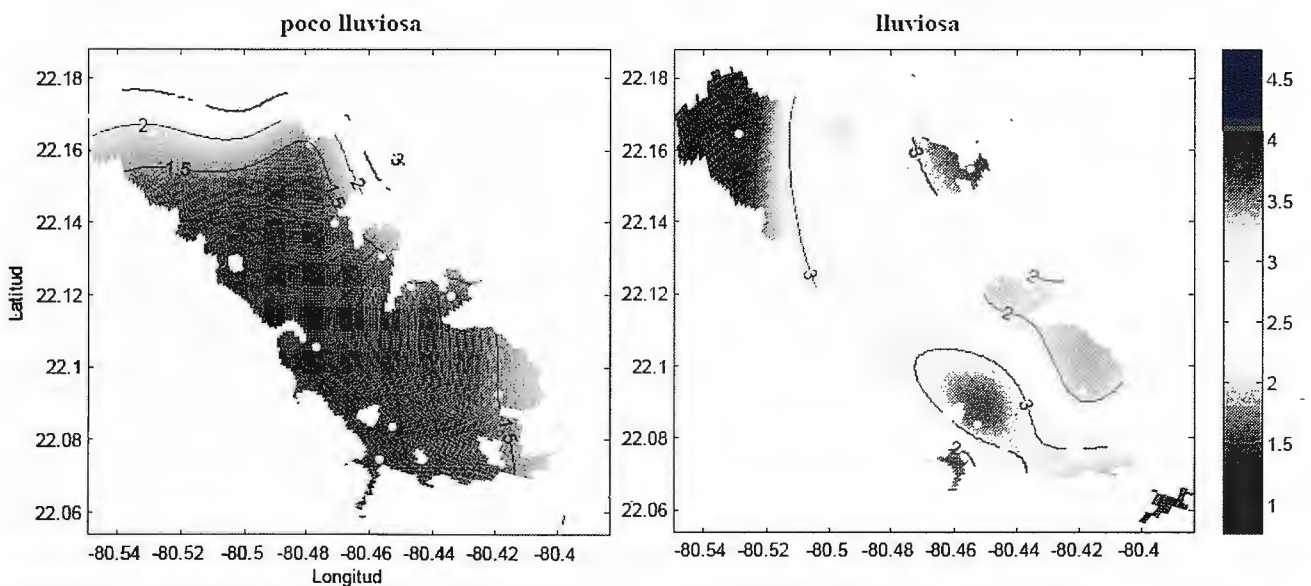


Figura 5. Distribución espacial de los valores de NI superficial en las aguas en la bahía de Cienfuegos, por temporadas climáticas durante el período 2004-2007.



critas también previamente por Areces (1986), Villasol (1990) y por Seisdedo y Muñoz (2004).

También se observó el incremento de la variabilidad espacial de las concentraciones de ambos nutrientes durante la temporada lluviosa (Tabla 1), siendo mayor para el FI con respecto al NI.

Las distribuciones espaciales de las concentraciones de ambos nutrientes por temporada climática muestran correspondencia entre las áreas con condiciones mesotróficas y las de máximas concentraciones; así como un menor incremento de las áreas con altas concentraciones de FI (Figura 4) con respecto a las de NI (Figura 5) en la temporada lluviosa.

El área que comprende las estaciones 7 y 10 (Figura 1) reflejó un comportamiento más estable en las concentraciones de NI (Figura 5). Este resultado pudiera estar relacionado con algunos focos de mareas rojas observadas en el período 2005-2006; en áreas próximas al Arroyo Inglés-Termoeléctrica (Estación 10) (Moreira *et al.*, 2008) que estuvieron precedidas por eventos meteorológicos como huracanes y períodos lluviosos activos. También, sugieren una mayor incorporación de forma estable de este nutriente en la zona comprendida entre el Río Damují y el Arroyo Inglés.

A finales de la década del 70, Areces (1986) identificó la presencia de eutrofización en la bahía de Cienfuegos a partir de los resultados del análisis de la razón  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  y de un índice de eutrofización (IE) basado en una ecuación empírica que incluye las concentraciones de clorofila. En su estudio se evidenciaron diferencias estacionales desde el punto de vista trófico y se identificó a las industrias ubicadas al NE de la bahía como las principales generadoras de la carga total de nutrientes incorporadas en este sistema, fundamentalmente la Fábrica de Fertilizantes.

Una década después, mediante la cuantificación de cargas realizadas por Villasol (1990) aún era obtenida una elevada carga de nitrógeno generada por dicha fábrica, considerándose ésta la fuente de mayor impacto a esta bahía con 9 ton N/d.

Los resultados del presente estudio describen un comportamiento de las condiciones tróficas que no coincide con el obtenido por Areces (1986) y corroboran la suposición de la Fábrica de Fertilizantes como principal causante del deterioro de la bahía desde el punto de vista trófico.

## CONCLUSIONES

- La evaluación estacional de los estados tróficos de las aguas mostró que para el nitrógeno inorgánico, en la temporada lluviosa predominan las condiciones mesotróficas y en la temporada poco lluviosa predominan las condiciones oligotróficas; mientras que para el fósforo inorgánico predominan las condiciones oligotróficas, en ambas temporadas climáticas.
- Los resultados de este estudio sugieren que el cambio de funciones de la Fábrica de Fertilizantes, en 1995, fue favorable para la calidad de las aguas desde el punto de vista trófico, validándose el IE utilizado como parámetro de control de alteraciones provocadas por la actividad industrial de este sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D.M., Kaoru, Y. and A. W. White (2000). Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms (HABs) in United States. Woods Hole Oceanographic Institute Technical Report, WHOI- 2000-11.
- Aranda, N. (2004). Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical. Tesis en opción al grado de Dr. En Ciencias del Mar. Universidad de Barcelona. 246 p
- Areces, A. (1986). Bahía de Cienfuegos: Eutrofización y planeamiento ambiental. Rep. Invest. Inst. Oceanología. No.51:1-36 p.
- CENR (2000). Integrated assessment of hypoxia in the northern Gulf of Mexico. National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources, Washington, DC. Committee on Environmental and Natural Resources, 58 p.
- Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210: 223-253 p.
- Coelho, S, Gamito, S. and A. Pérez (2007). Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. Estuarine coastal and Shelf Science, 71: 218-231 p
- Corredor, J.E., Howarth, R.W., Twilley, R.R. and Morell, J.M. (1999). Nitrogen cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas. Biogeochemistry, 46: 163-178 p.
- Downing, J.A., McClain, M., Twilley, R., Melack, J.M., Elser, J., Rabalais, N.N., Lewis Jr, W.M., Turner, R.E., Corredor, J., Soto, D., Yáñez-Arancibia, A., Kopaska, J.A. and Howarth, R.W. (1999). The impact of accelerating landuse change on the N-Cycle or tropical aquatic ecosystems: Current conditions and projected changes. Biogeochemistry, 46: 109-148 p.
- Glasgow, H.B. and J. M. Burkholder (2000). Water quality trends and management implications from a five-year study of a eutrophic estuary. Ecological Applications 10: 1024-1046 p.
- Karydis, M., Ignatiades, L. and N. Moschopoulou (1983). An Index associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 16: 339-344 p.
- Kennish, M.J. (2002) Environmental threats and environmental future of estuaries. Environmental Conservation 29: 78-107 p
- López-Cortés, D. J., Gárate, I., Bustillos, J. J., Alonso, R. e I. Murillo (2003). Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton en la Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). Hidrobiología, 13, No. 003: 195-206 p
- McGlathery, K.J. (2001). Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters. J. Phycology 37 (4): 453-456 p.
- Maher, P.M. (2001) Nutrients and phytoplankton of the Curdies River, Southwest Victoria. Honours thesis, School of Ecology and Environment, Deakin, Warrnambool.



Margalef, R. (1998). Red tides and ciguatera as successful ways in the evolution and survival of an admirable old phylum. In: Reguera B., Blanco, J., Fernández, M.L., Wyatt, T. (ed.) Harmful algae. Xunta de Galicia Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 3-7 p.

Moreira, A., R. Fernández y M. Abbate (2008). Microalgas formadoras de mareas rojas en la bahía de Cienfuegos, Cuba. En CD, MEMORIAS del V Taller Internacional CONyMA'2008, La Habana, Marzo 2008.

Muñoz, A. y O. Díaz (2008). Los modelos matemáticos en la gestión del medioambiente costero y su aplicación a la bahía de Cienfuegos, Cuba. Memorias del V Taller Internacional CONyMA 2008. Del 3-7 de marzo. La Habana.

Nixon, S.W. and M.E.Q Pilson. (1983). Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In: Carpenter, E.J., Capone, D.G. (Eds.), Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press, New York: 565-648 p.

Okaichi, J.M. (1997). Red tide problems in the Seto Inland sea, Japan. In: Okaichi, T., Anderson, D.M., Nemato, T. (Eds), Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology, Proceedings of the First International Symposium on Red Tides. Elsevier, New York: 137-144 p.

Rabalais, N.N., Turner, R.E., Justic, D., Dortch, Q., Wiseman Jr., W.J. and B. K. Sen Gupta (1996). Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 19, 386-407 p.

Sandwell, D. T. (1987). «Biharmonic Spline Interpolation of GEOS-3 and SEASAT Altimeter Data», *Geophysical Research Letters*, 14, 2: 139-142 p

Tett, P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandsson, C.P., Larsson, U., Kratzer, S., Fouilland, E., Janzen, C., Lee, J., Grenz, C., Newton, A., Gomes Ferreira, J., Fernandes, T. and Scory, S. 2003. Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research*, 23: 1635-1671p.

UNEP (1991). Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No. 50: 41p

UNESCO (1983). Chemical Methods for use in Marine Environmental Monitoring. Manual and Guides. IOC. No. 12: 53 p

Villasol (1990). Estudios de la Contaminación en la Bahía de Cienfuegos. Informe Final. Ministerio del Transporte. Cuba. (inédito): 66 p

Vollenweider, R.A. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., and Viviani, R. (ed.) Marine Coastal Eutrophication. Bologna, Italy. Science of the Total Environment. Elsevier Science. Supplement: 1-20 p.

Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G. y A. Rinaldi (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9: 329-357 p

## Noticias

### Blom presentó el futuro de los modelos geoespaciales en la Conferencia de usuarios ESRI 09

• Blom ofrece el mayor repositorio geográfico de Europa, con más de 100 Terabytes en imágenes de España para servicios de información geográfica de uso profesional

Blom, principal empresa europea de recopilación y procesamiento de información geográfica de alta calidad, estuvo presente en la conferencia anual de usuarios ESRI sobre sistemas de información geográfica que tuvo lugar los pasados 30 de septiembre y 1 de octubre.

Blom, líder en servicios geomáticos online para uso profesional, colaboró en la Conferencia con dos detalladas ponencias donde explicó que internet y los servicios web se han impuesto como un estándar en la difusión y publicación de datos cartográficos. Debido a ello, los geodatos se han popularizado y su valor percibido se ha devaluado. Para hacer frente a esta popularización, Blom explicó las posibilidades para servicios de valor añadido de BlomURBEX, su servidor de información cartográfica, que permite un acceso rápido y sencillo a modelos geoespaciales, cubriendo el 80% de la población europea. BlomURBEX es una plataforma diseñada para proporcionar vía Web el contenido y los servicios únicos de Blom basados en imágenes reales, incluyendo imágenes oblicuas de alta resolución - de áreas urbanas. El sistema ha sido diseñado para satisfacer la creciente demanda de este tipo de contenido en múltiples sectores como pueden ser los catastrales, inmobiliarios, turísticos, geográficos, etc.

BlomURBEX se compone de un grupo de servidores conectados a Internet que ofrecen datos ya procesados usando protocolos muy simples, incluyendo HTTP para facilitar la integración con soluciones web. Como servicio online, BlomURBEX ofrece toda la tecnología necesaria para alojar y ofrecer diferentes conjuntos de datos, con capacidad de procesamiento y almacenamiento suficiente para proporcionar los servicios que sean requeridos.

Entre las ventajas clave de BlomURBEX, se incluyen:

- Acceso a toda la gama de imágenes y bases de datos de Blom, incluyendo imágenes ortogonales, oblicuas e imágenes oblicuas ortorectificadas, y sus futuras actualizaciones -que incluirán mapas vectoriales y 3D utilizando imágenes reales.
- La capacidad para acceder al servicio a través de una amplia gama de aplicaciones: desde el escritorio hasta los dispositivos móviles y a través de cualquier red de acceso, incluyendo la LAN, Internet o el móvil.
- Alta disponibilidad, tolerancia a fallos, baja latencia y fácil escalabilidad.
- La entrega de datos pesados es compatible con cualquier posible aplicación, incluso on-board y en móviles.
- El sistema puede manejar un gran volumen de datos, hasta cientos de terabytes.
- El esquema de entrega de datos permite una manipulación fluida por parte del cliente, con la posibilidad de hacer zoom u obtener una visión panorámica, con múltiples piezas y caché de cliente, y garantiza un mínimo de transferencia de datos, especialmente cuando se usan redes costosas.



# Sensores Lidar

¿Quiere ver el mundo con otra perspectiva?

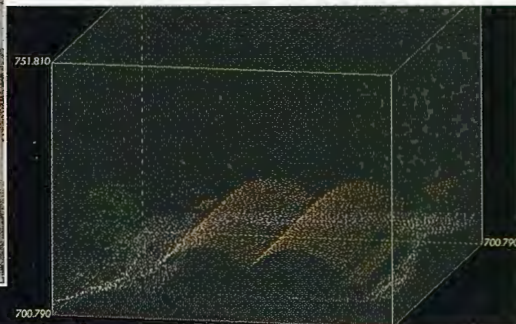
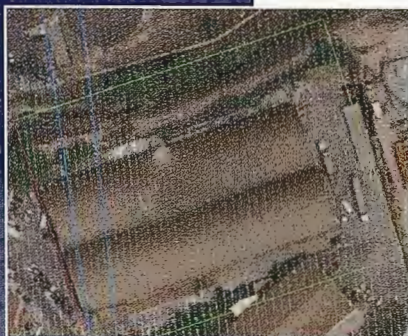
El sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema láser de medición a distancia, que permite la modelización rápida y precisa del terreno, compuesto por un receptor GPS y un sistema inercial (proporcionan la posición, trayectoria y orientación del láser), un emisor y un barredor (scanner) que permite obtener una nube muy densa y precisa de puntos con coordenadas XYZ.

## Aplicaciones:

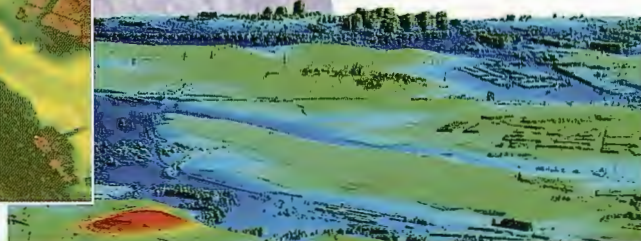
- Aplicaciones cartográficas
- Modelos hidráulicos
- Estudios forestales
- Modelos tridimensionales urbanos
- Seguimientos de costas
- Líneas eléctricas, inventario, puntos críticos

## Productos derivados:

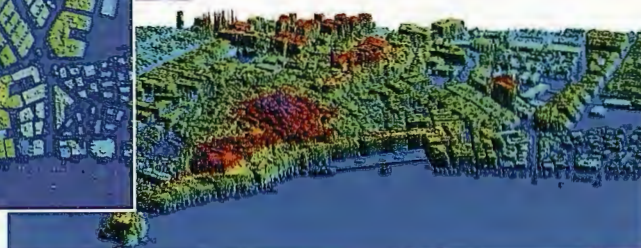
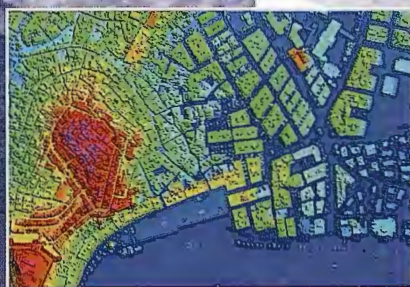
- Curvas de nivel
- Modelos hidráulicos
- TINs
- Cubicaciones
- Perfiles transversales o longitudinales
- Mapas de pendientes
- Mapas de exposiciones
- Visualización 3D



Vuelo digital + LIDAR. 18 cm, Comunidad de Madrid



Aeropuerto de Pamplona. Modelo Digital de Superficie generado por LIDAR - Malla de 2x2m



LIDAR en Almuñécar (Granada) para estudios de inundabilidad

## Ventajas frente a otras técnicas:

- 1 Precisión altimétrica: 10-15 cm
- 2 Densidad de puntos: 0,5 a 8 puntos/m<sup>2</sup>
- 3 Homogeneidad en todas las áreas de un proyecto
- 4 Obtención de MDT y MSD
- 5 Continuidad del MDT: debajo de arbolado, debajo de edificación, eliminación de estructuras
- 6 Precio: Excelente relación precisión/precio
- 7 Rapidez: cortos plazos de entrega para grandes superficies



Paseo de la Habana, 200 • 28036 Madrid (Spain)  
Tel: +34 91 343 19 40 • Fax: +34 91 343 19 41 • info@stereocarto.com

www.stereocarto.com





# EVALUACIÓN DE UN MÉTODO DE CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS TOPOGRÁFICOS SOBRE IMÁGENES LANDSAT ETM+ EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

ABARCA, OSCAR - *Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía-Universidad Central de Venezuela - Venezuela*

ORMEÑO, SANTIAGO - *Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía-Universidad Politécnica de Madrid - España*

## 1. RESUMEN

En este trabajo se evalúa uno de los principales métodos empleados para la corrección de los efectos de la topografía sobre las diferencias del grado de iluminación en imágenes del sensor Landsat ETM+. Para ello se aplicó el método sobre una imagen de un sector montañoso del centro-norte de Venezuela, con la intención de evaluar la necesidad de realizar el proceso de corrección de los efectos topográficos en zonas tropicales. La evaluación se realizó cuantificando la influencia de la corrección en la clasificación de tipos de ocupación de la tierra, mediante el cálculo de la Matriz de Confusión y el Índice de Concordancia Kappa, sobre imágenes con y sin corrección topográfica. Se aplicaron técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas y los resultados se compararon con un mapa de tipos de ocupación derivado de ortofotos del área con fines de referencia. No se obtuvieron diferencias significativas entre las imágenes clasificadas sin corrección y con corrección por efectos topográficos.

**Palabras Clave:** Corrección topográfica, efectos de iluminación diferencial, imágenes Landsat ETM+.

## 2. ABSTRACT

In this work one of the principal methods that is used for the correction of the topographic effects on the differences of the illumination degree in Landsat ETM+ sensor imagery is assessed. For it, the method was applied on a mountainous sector image in the North of Venezuela. The evaluation was realized quantifying the influence of the correction in the classification of land occupation types, by means of the calculations of the Error Matrix and Kappa Index of Agreement on images with and without topographic correction. Supervised and unsupervised classification techniques were applied and the results were compared with a map of land occupation types derived of orthophotos regional with purposes of reference. There were not obtained significant differences between the classified imagery without correction and with correction for topographic effects.

**Key Words:** Topographic correction, differential illumination effects, Landsat ETM + Images.

## 3. INTRODUCCIÓN

El uso de las imágenes de satélite se ve dificultado en zonas montañosas dada la iluminación variable que reciben estas zonas como consecuencia del efecto topográfico derivado de la interacción entre la elevación y orientación del sol con la magnitud y orientación de la pendiente del terreno.

Schneider y Robbins (2001) definen el efecto topográfico como la diferencia en los valores de radiancia entre super-

ficies inclinadas y superficies horizontales. Las imágenes frecuentemente se toman temprano en la mañana o al final de la tarde cuando los efectos del ángulo del sol en la iluminación de las pendientes pueden ser extremos. En terrenos de alta montaña algunas áreas pueden estar tan sombreadas que la información se pierde por completo. Normalmente en las laderas opuestas a la dirección del sol la reflectancia es menor que el valor promedio o general de la imagen.

Estos efectos se manifiestan en el proceso de clasificación. El sombreado exagera las diferencias en la información de reflectancia que procede de materiales similares, ubicados en laderas de pendiente opuesta, por lo que se crea un numeroso grupo de clases de reflectancia. Estos grupos no solo pueden tener diferentes valores de media y varianza, sino que también pueden tener rangos de reflectancia que no se superponen, lo que hace la interpretación más difícil y costosa (Eastman, 2006).

Se han creado varias técnicas para mitigar este efecto topográfico, sin embargo, muchas tienden a ser apropiadas únicamente para el ambiente en el cual fueron desarrolladas y otras requieren información auxiliar altamente detallada, frecuentemente no disponible.

En este estudio se realizó una revisión de las principales estrategias planteadas en la literatura para la corrección del efecto topográfico sobre imágenes Landsat y se aplicó una de las de uso más común, en un ambiente montañoso tropical, con la finalidad de conocer sus implicaciones en zonas de estas latitudes.

### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionó como área de estudio la cuenca hidrográfica del río El Limón, ubicada en la vertiente sur del Parque Nacional Henri Pittier, estado Aragua, Venezuela, en una zona intertropical ubicada entre los 10°15' y 10°20' de Lat. Norte. El análisis se realizó sobre un sector rectangular que incluye la cuenca alta y media del río (desde la cota 2240 msnm hasta la cota 420 msnm). En la Figura 1 se destaca la zona a estudiar. El recuadro correspondiente a esta área se localiza, en su parte alta y media, dentro de los límites del Parque Nacional Henri Pittier y en su parte baja ocupa sectores urbanos de los centros poblados de El Limón, en el estado Aragua, y Aguas Calientes, en el estado Carabobo.



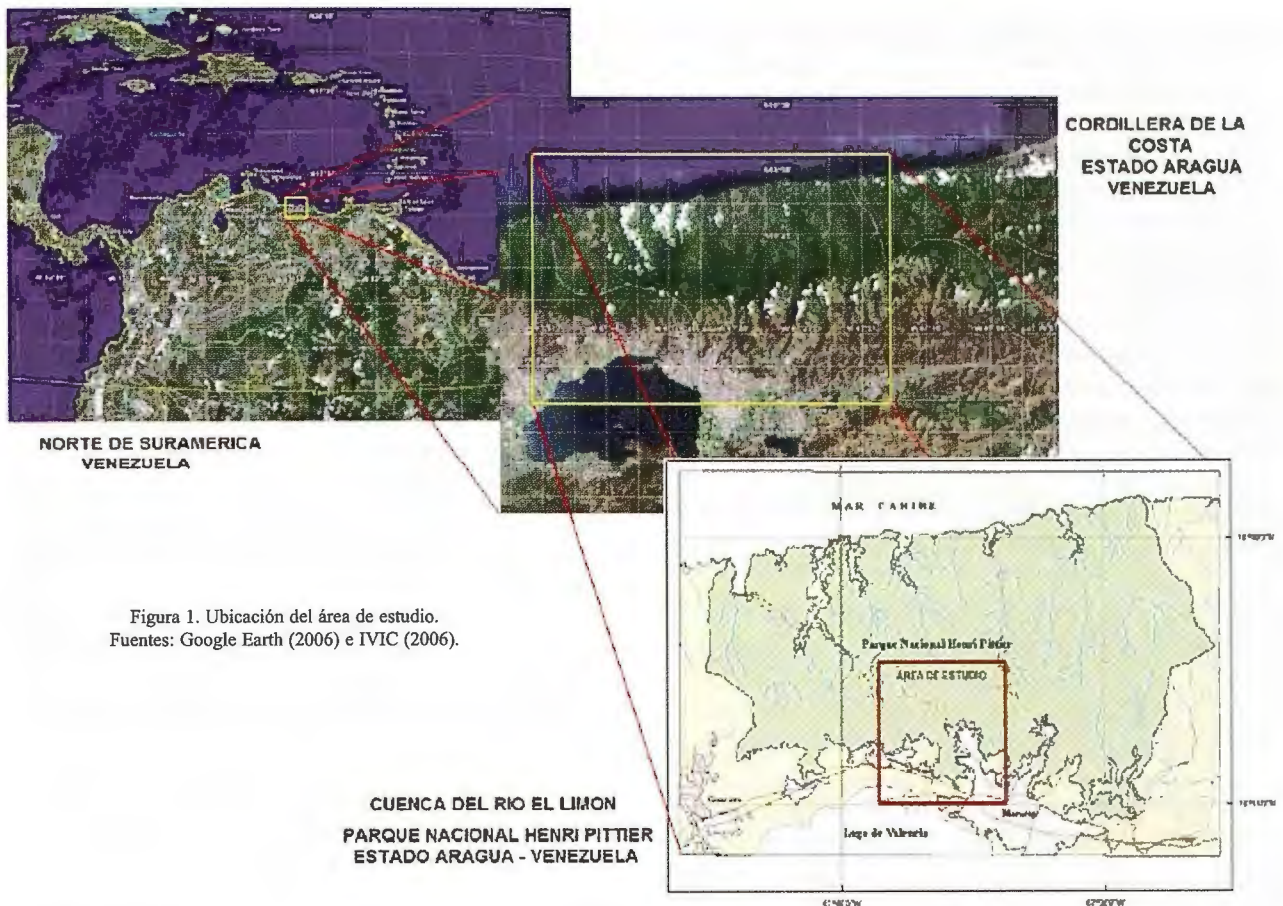


Figura 1. Ubicación del área de estudio.  
Fuentes: Google Earth (2006) e IVIC (2006).

### 3.2. OBJETIVO

Con este trabajo se persigue el siguiente objetivo general: Aplicar un método de corrección de los efectos topográficos sobre imágenes Landsat ETM+ y cuantificar la influencia de la corrección sobre el resultado de diferentes técnicas de clasificación.

### 3.3. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo planteado se formula la siguiente secuencia metodológica:

- Revisión de las principales estrategias planteadas para la corrección de los efectos topográficos en las imágenes de satélite.
- Selección y obtención de imágenes Landsat ETM+ de la zona de estudio y extracción de una sub-ventana de la zona. El procesamiento se realiza con el software IDRISI.

- Obtención del Modelo Digital de Terreno (MDT) del área de estudio y cálculo de las imágenes de pendientes del terreno y de orientación de laderas (aspectos).
- Obtención de un documento cartográfico referencial de tipos de ocupación del suelo, a partir de fotointerpretación, con fines de evaluación de los productos generados por la clasificación de la imagen Landsat.
- Aplicación de uno de los métodos revisados de corrección de los efectos topográficos sobre las imágenes Landsat seleccionadas.
- Aplicación de metodologías estándares de clasificación supervisada y no supervisada, sobre las imágenes Landsat con corrección y sin corrección topográfica.
- Evaluación comparativa de los resultados obtenidos mediante cálculo de la matriz de confusión y el índice de

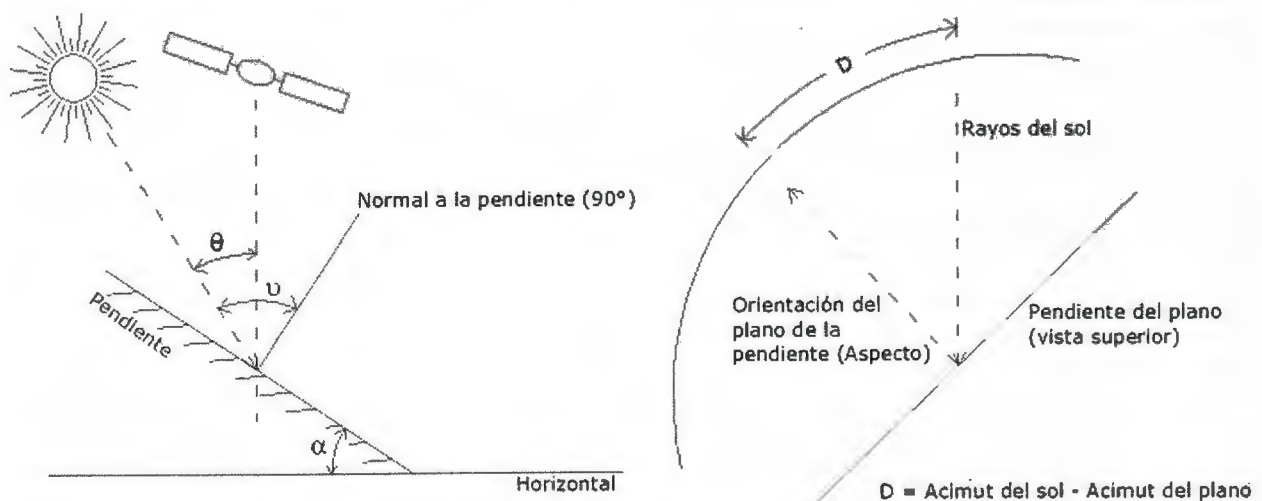


Figura 2. Parámetros verticales y horizontales de la iluminación.  
Fuente: Modificado de Schneider y Robbins (2001) y NASA (2006).

concordancia Kappa, así como mediante análisis visual de las imágenes procesadas.

### 3.4. MATERIALES

Para el desarrollo metodológico se cuenta con los siguientes documentos cartográficos:

a) Ortofotos digitales correspondientes a las hojas 6647-II-SO, 6647-II-SE, 6646-I-NO, 6646-INE del mapa topográfico nacional de Venezuela a escala 1:25.000. Estas ortofotos fueron elaboradas con fotografías aéreas a escala 1:60.000, tomadas en marzo de 1997.

b) Mapa topográfico digital del área de estudio, obtenido por digitalización de las curvas de nivel de los sectores correspondientes de las hojas 6647-II-SO, 6647-II-SE, 6646-I-NO, 6646-INE, del mapa topográfico nacional de Venezuela a escala 1:25.000, de 1979, con curvas de nivel separadas a intervalos de 20 m.

c) Imagen Landsat ETM+ del 14 de marzo de 2001, en todas sus bandas.

### 4. ANTECEDENTES METODOLÓGICOS

Schneider y Robbins (2001) indican que los problemas causados por el efecto topográfico se producen porque los sensores se mantienen operando cuando los niveles de elevación del sol son bajos. Proy et al. (1989) recomiendan utilizar imágenes tomadas con un elevado ángulo de elevación solar, posiblemente mayor de 45°. Sin embargo, dada la poca disponibilidad de datos, generalmente, esta opción no es factible, por lo que se hace necesaria la corrección.

Entre los métodos de corrección más comunes se tienen:

#### 4.1. COCIENTE DE BANDAS

En este método una banda es dividida por otra. Por ejemplo la banda infrarroja (IR) es dividida por la roja (R):

$$\boxed{\text{Banda IR} / \text{Banda R}} \quad (1)$$

o mediante un cociente normalizado, de mayor robustez (NDVI):

$$\boxed{\text{NDVI} = (\text{Banda IR} - \text{Banda R}) / (\text{Banda IR} + \text{Banda R})} \quad (2)$$

este último se usa para limitar el rango de valores y evitar la división por cero.

#### 4.2. MODELADO DE LOS EFECTOS DE ILUMINACIÓN DIRECTA USANDO UN MDT

De acuerdo al supuesto Lambertiano, la porción de la radiancia reflejada de la superficie de un plano está en función de la pendiente y orientación del plano y en relación a la pendiente y al acimut de la radiación solar de un determinado momento. Esta relación es descrita en trigonometría esférica (Smith et al., 1980) por la siguiente ecuación:

$$\boxed{\cos v = \cos \theta \cdot \cos \alpha + \text{sen} \theta \cdot \text{sen} \alpha \cdot \cos(Az_{sol} - Az_{sup})} \quad (3)$$

donde:

$\theta$  es el Angulo cenital solar (Figura 2),

$\alpha$  es la pendiente del plano,

$Az_{sol}$  es el acimut del sol,

$Az_{sup}$  es el acimut de la superficie o plano pendiente, (aspecto u orientación),

$\cos v$  es la proporción de reflectancia real que sale de una pendiente.

La ecuación se puede resolver a través de algebra de mapas con un SIG, usando un MDT para derivar la pendiente y orientación del plano. Teóricamente se pueden crear imágenes de radiancia corregidas dividiendo las bandas de la imagen por  $\cos v$ . (Schneider y Robbins, 2001).

Esta técnica tiene sus limitaciones, Justice et al. (1981), encontraron una sobre-corrección en los datos que causó más amplia variación que los datos sin corrección, para muchas clases de uso de la tierra. Smith et al. (1980), demostraron que el supuesto Lambertiano subyacente al proceso de corrección fue válido sólo para un rango limitado de valores de elevación y orientación solar.

Esta técnica tampoco toma en cuenta la variación de los datos causada por la iluminación indirecta y difusa resultante de la topografía. Es, así mismo, imprescindible el uso de un MDT de alta calidad y geo-referenciado con precisión o de lo contrario se obtendrán resultados muy pobres (Schneider y Robbins, 2001).

A partir del cálculo del ángulo de incidencia ( $v$ ) se han desarrollado diferentes métodos para compensar la diferencia de radiación incidente entre vertientes.

#### 4.3. MÉTODO PROPUESTO POR TEILLET ET AL. (1982)

$$\boxed{\rho_h = \rho_i \left( \frac{\cos \theta}{\cos v} \right)} \quad (4)$$

donde:

$\rho_h$  es la reflectividad de un píxel en terreno horizontal,

$\rho_i$  reflectividad de un píxel en pendiente (imagen),

$v$  es el ángulo de incidencia del flujo de radiación.

Este método considera a los tipos de cobertura como Lambertianas. Se ha demostrado que el método sobre-corrige la imagen, sobre todo en las zonas de muy baja iluminación (Chuvieco, 2002).

#### 4.4. MÉTODO PROPUESTO POR CIVCO (1989)

$$\boxed{\rho_h = \rho_i + \rho_i \frac{(\cos v_m - \cos v)}{\cos v_m}} \quad (5)$$

donde:

$v_m$  es el valor promedio de iluminación en la imagen.

Chuvieco et al. (2003), demostraron la utilidad de la corrección de los efectos topográficos con el método de Civco en la discriminación de cubiertas de baja reflectividad, como las láminas de agua y zonas sombreadas, para la cartografía de áreas quemadas con imágenes Landsat ETM+.

#### 4.5. MÉTODO PROPUESTO POR MINNAERT (1941)

$$\boxed{\rho_h = \rho_i \left( \frac{\cos^k \theta}{\cos^k v} \right)} \quad (6)$$

donde:

$k$  es la constante de Minnaert que varía entre 0 y 1. Cuando  $k = 1$ , la superficie se comporta como un reflector Lambertiano ideal. El parámetro  $k$  puede determinarse empíricamente, linealizando la ecuación anterior mediante logaritmos y estimando la pendiente de una regresión lineal (Ormeño, 2006).



#### 4.6. MÉTODO DEL COEFICIENTE C, PROPUESTO POR TEILLET ET AL. (1982)

$$\rho_k = \rho_i \left( \frac{\cos \theta + C_k}{\cos \nu + C_k} \right) \quad (7)$$

donde:

$$C_k = \frac{b_k}{m_k}$$

$b_k$  es la constante de la recta de regresión entre la imagen de reflectividad de la banda k y la imagen de iluminación,

$m_k$  es la pendiente de la recta de regresión.

Este método, a pesar de que sigue considerando a los cuerpos con carácter Lambertiano, al menos considera el carácter Lambertiano en cada banda, para lo cual emplea la constante empírica  $C_k$ , que se relaciona con la rugosidad promedio de cada banda (Chuvieco, 2002).

El efecto producido por  $C_k$  es similar al de la constante de Minnaert, incrementa el denominador y suaviza la sobre-corrección en las zonas débilmente iluminadas (Ormeño, 2006).

Arribas (2002) encontró que el método del Coeficiente C fue el que mejor corrigió el efecto topográfico en imágenes Landsat TM, en comparación con los métodos de Civco y Minnaert.

### 5. DESARROLLO METODOLÓGICO

#### 5.1. SELECCIÓN DE IMÁGENES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la Serranía del Litoral del la Cordillera de la Costa, en la región centro-norte de Venezuela. Figura 1.

La imagen Landsat ETM+ del área de estudio se obtuvo del Servicio Mundial de Cobertura de la Tierra (Global Land Cover Facility) de la Universidad de Maryland (University of Maryland, 2006), mediante su aplicación Web Earth Science Data Interface (<http://glcapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). Mediante esta aplicación se consultaron y revisaron las imágenes disponibles de Venezuela, en el área geográfica correspondiente a la zona de estudio. Se seleccionó la imagen que tenía la menor cubierta nubosa, la cual corresponde a la 042-974, del 14 de marzo de 2001, en formato GeoTiff.

#### 5.2. OBTENCIÓN DEL MDT DEL ÁREA DE ESTUDIO

A partir del mapa digital a curvas de nivel disponible, se generó un MDT a la misma resolución de la imagen Landsat seleccionada (28,5 m de tamaño del píxel, 385 columnas y 454 filas) para lo cual se utilizó el software Idrisi. Este mapa ocupa un rectángulo de 10.972,50 m, en el eje Este, por 12.939,00 m, en el eje Norte. Abarca la cuenca hidrográfica del río El Limón y sus alrededores, con una superficie de 14.197,32 ha. El mapa a curvas de nivel se obtuvo por digitalización de cartas topográficas con equidistancia de 20 m. En la Figura 3 se presenta el MDT generado, en planta y en perspectiva con las ortofotos del área.

#### 5.3. CÁLCULO DE LA PENDIENTE Y ORIENTACIÓN DE LAS LADERAS

A partir del MDT se generó la imagen de Pendientes del Terreno y la de Aspectos u Orientación de Laderas, utilizando las herramientas de análisis de superficie del software Idrisi. En la Figura 4 se presentan estas imágenes. Estos productos se requieren como entrada para la aplicación del método de corrección de los efectos topográficos. Las zonas planas son identificadas en la imagen de Aspectos con un valor de -1. Con ellas se creó una máscara para asignar un valor de uno a la imagen de iluminación en esas zonas (efecto nulo de la topografía sobre la reflectividad).

#### 5.4. OBTENCIÓN DE LA IMAGEN DE OCUPACIÓN DE SUELO DE REFERENCIA

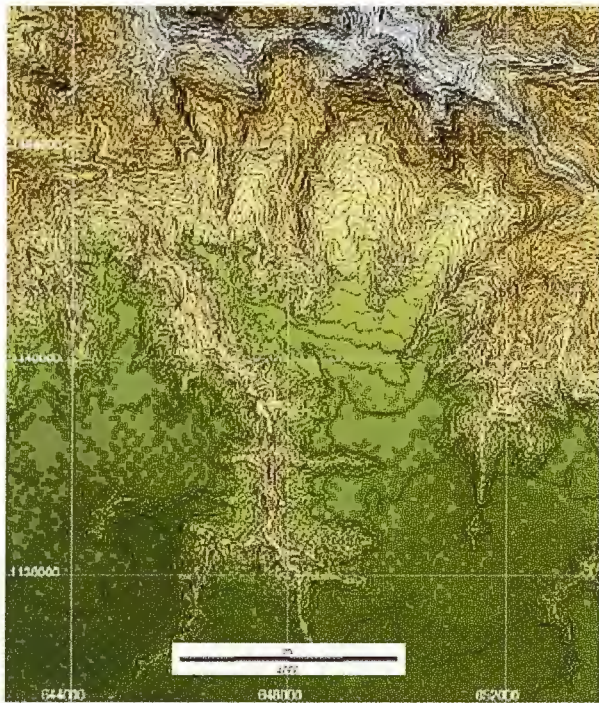
La evaluación de la exactitud de la imagen de tipos de ocupación, derivada del procesamiento de la imagen Landsat ETM+, se hizo comparando con una imagen de tipos de ocupación de referencia. Esta imagen de referencia se obtuvo mediante fotointerpretación de las ortofotos disponibles, que datan del año 1997 (Figura 5). El proceso de fotointerpretación se apoyó en la experiencia y trabajos de campos realizados entre los años 2000 y 2004 (Abarca, 2004).

El sector montañoso del área de estudio se localiza en el Parque Nacional Henri Pittier, zona natural protegida por la legislación ambiental venezolana. Allí predomina el Bosque, que puede ser distinguido en la imagen Landsat por su homogeneidad radiométrica, aunque estructuralmente

está conformado por varios tipos de formaciones boscosas, como el Bosque Nublado, el Bosque Semi-decíduo, el Bosque Decíduo y el Bosque Ribereño. Como consecuencia de los incendios de vegetación, la superficie de los bosques ha venido disminuyendo aceleradamente, principalmente en la vertiente sur del Parque, incrementándose la superficie de los Matorrales y de los Herbazales. En la zona plana del área también se localizan algunos lotes boscosos en las riberas de los ríos El Limón, el Güey y sus tributarios. Los Cultivos y Plantaciones tienen una ubicación localizada al centro-este, centro-oeste y sur-oeste de la imagen y predominan los cereales (maíz), hortalizas (cebolla, pimentón), leguminosas (caraotas), pastos y plantaciones de frutales (mango, aguacate, plátanos). En la Figura 6 se presentan algunas fotografías representativas de tipos de ocupación en el área de estudio.

Recondo et al. (2001) recomiendan el uso de un mapa de referencia del mismo año que la imagen a procesar, para evitar los errores por los cambios entre fechas, sin embargo dado que no se disponía de esta información, se utilizó el mapa digitalizado de las aerofotos del año 1997 y se actualizó con algunos tipos de cobertura fácilmente detectables en la imagen Landsat y levantamientos en el área (Abarca, 2004). De esta manera se actualizó en cierta medida el mapa de referencia con relación a la imagen. Los tipos de cobertura incluidos fueron las áreas quemadas por incendios de vegetación, la cubierta nubosa y las sombras proyectadas por las nubes. La cubierta nubosa y su sombreado fueron considerados como un tipo de cobertura dentro del sistema de clasificación, para evaluar el efecto del método de corrección topográfico, aunque esta categoría de uso sólo ocupa cerca del 1,7% de la imagen.





MDT en perspectiva con sobreposición de ortofotomapas

Figura 3. Modelo digital de Terreno (MDT) del área de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

MDT en planta con sobreposición de curvas de nivel

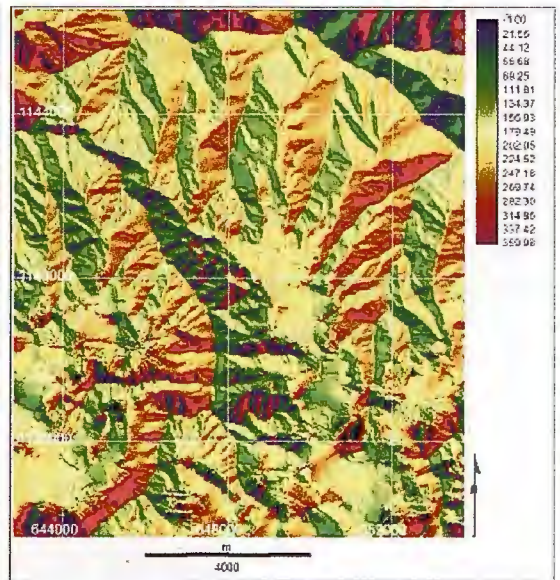
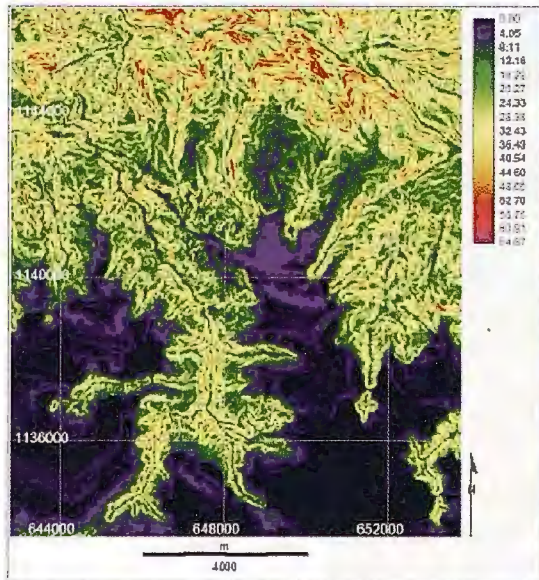


Figura 4. Pendientes del terreno (en grados decimales) y Aspectos u Orientación de laderas (en grados decimales). Fuente: Elaboración propia.

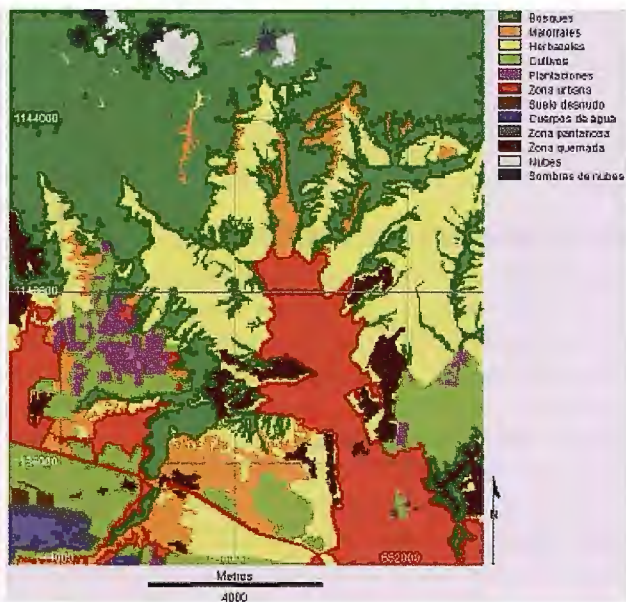
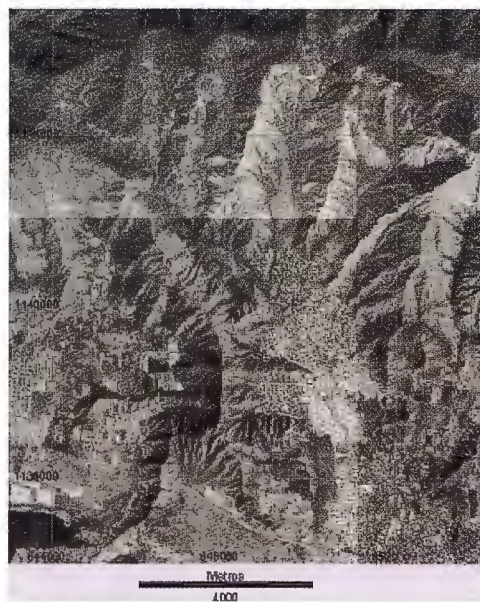


Figura 5. Subventana del mosaico de aerofotos del área de estudio (año 1997) y Tipos de Ocupación de Referencia (año 1997 con actualizaciones del año 2001). Fuente: Elaboración propia.





Figura 6. Fotografías de algunos tipos de ocupación del área de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se presenta la imagen de tipos de ocupación de referencia y en la Tabla 1 se detalla la superficie de cada tipo de ocupación y su proporción relativa a la superficie total del área de estudio. Este último valor se utilizó como probabilidad "a priori" de los tipos de ocupación, valor necesario para el empleo del método Bayesiano de clasificación supervisada.

Tipo de cobertura	Superficie (ha)	Superficie (%)	Proporción
Bosques	5.694,36	40,11	0,4011
Matorrales	907,69	6,39	0,0639
Herbazales	2.800,64	19,73	0,1973
Cultivos	1.358,24	9,57	0,0957
Plantaciones	275,43	1,94	0,0194
Zona urbana	2.082,77	14,67	0,1467
Suelo desnudo	36,47	0,26	0,0026
Cuerpos de agua	151,89	1,07	0,0107
Zona pantanosa	63,76	0,45	0,0045
Zona quemada	582,14	4,10	0,0410
Nubes	142,31	1,00	0,0100
Sombras de nubes	101,61	0,72	0,0072
TOTAL	14.197,32	100,00	1,0000

Tabla 1. Superficie cubierta por los tipos de ocupación de referencia.  
Fuente: Elaboración propia

Banda	Lmin (°)	Lmax (°)	Offset (Biases) (°)	Gains (°)	ND (Neblina)	Inf. Banda (µm)	Med. Banda (µm)	Sup. Banda (µm)	Max ND
1	-6,2	191,6	-6,20	0,775686	60	0,45	0,49	0,52	255
2	-6,4	196,5	-6,40	0,795686	37	0,53	0,57	0,61	255
3	-5	152,9	-5,00	0,619216	27	0,63	0,66	0,69	255
4	-5,1	241,1	-5,10	0,965490	20	0,78	0,84	0,90	255
5	-1	31,06	-1,00	0,125725	14	1,55	1,65	1,75	255
7	-0,35	10,8	-0,35	0,043725	9	2,09	2,22	2,35	255

(\*) : W.m<sup>2</sup>.sr<sup>-1</sup>.µm<sup>-1</sup>

Tabla 2. Metadatos de la imagen Landsat ETM+ del 14/03/2001.

Fuente: University of Maryland (2006).

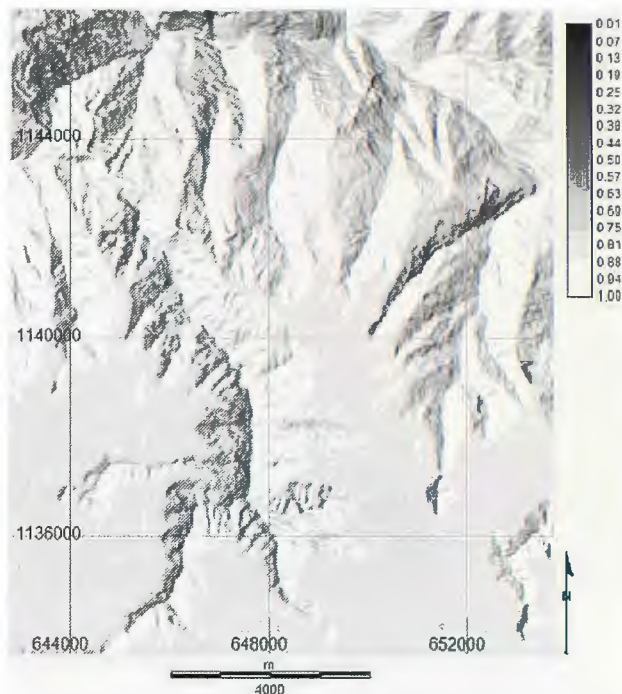


Figura 7. Imagen de iluminación (cos.).  
Fuente: Elaboración propia

## 5.5. CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS ATMOSFÉRICOS

En la Tabla 2 se presenta una síntesis del archivo de metadatos de la imagen, con los parámetros requeridos para realizar el procedimiento de cálculo de los valores de radiancia y reflectancia, así como para efectuar el procedimiento de corrección atmosférica según el método de Chávez (1996).

Para obtener el valor del Objeto Oscuro ( $ND_{min,\lambda}$ ) de cada banda, se trazó un polígono sobre la sombra proyectada por una de las nubes (al centro norte de la imagen). Este polígono tiene una superficie de 9,75 ha y contiene 120 píxeles. Se utilizó un comando de análisis estadístico (EXTRACT en Idrisi) para obtener el valor mínimo de todos los píxeles en el polígono, sobre cada banda, y este fue el ND utilizado como valor de radiancia aportada por la dispersión atmosférica ( $L_{a,\lambda}$ ), o neblina.

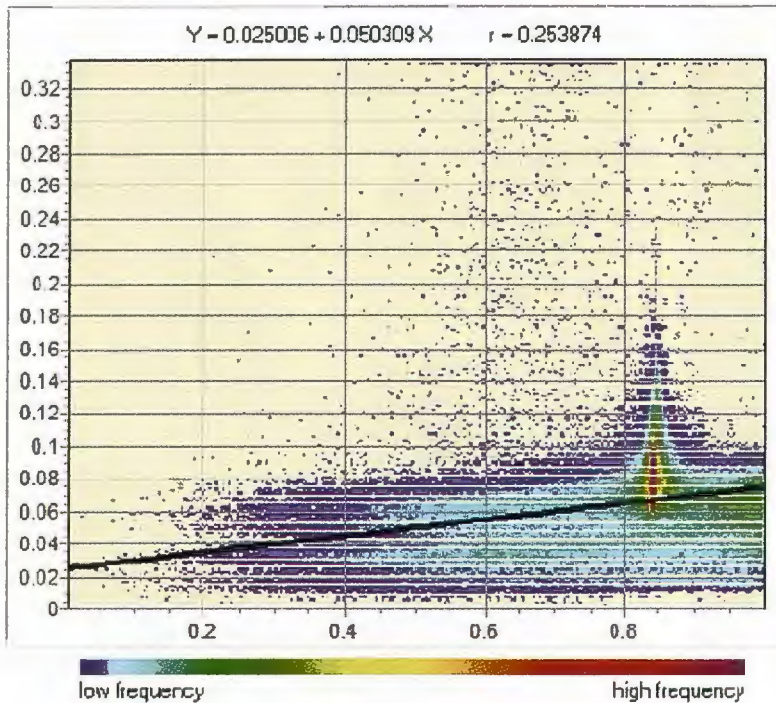
## 5.6. CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS TOPOGRÁFICOS

Se aplicó el método del Coeficiente C, propuesta por Teillet et al. (1982).

Utilizando las imágenes de pendiente y aspecto, derivadas del MDT, el acimut solar y el ángulo cenital solar (Tabla 2), se calculó la proporción de reflectancia real que sale de la pendiente (imagen de iluminación). Esta imagen se presenta en la Figura 7.

El coeficiente C se derivó hallando la correlación entre la imagen de iluminación, como variable independiente, y cada una de las bandas de la imagen como variables dependientes. En la Figura 8 se presenta una de las graficas de correlación obtenidas y en la Tabla 3 los parámetros de cada ecuación y el correspondiente coeficiente.





Regression Parameters:

X axis: cosv  
 Y axis: ellimon\_20010314\_b1\_atmos

Coeff. of Det. = 6.45 %  
 Std. Dev. of X = 0.158347  
 Std. Dev. of Y = 0.031379  
 S.E. of Estimate = 0.030351  
 Std. Error of Beta = 0.000458  
 t Stat for r or Beta = 109.733998  
 t Stat for Beta <> 1 = -2071.473622  
 Sample Size (n) = 174790  
 Apparent df = 174788

Figura 8. Regresión entre la imagen de iluminación (cos) y la Banda 1 de la imagen sin corrección topográfica. Fuente: Elaboración propia.

Bandas	R	Parámetros del coeficiente C		Coeficiente C
		b	m	
1	0,25	0.025006	0.050309	0.497048
2	0,30	0.025359	0.072739	0.348630
3	0,33	0.014233	0.104643	0.136015
4	0,26	0.134338	0.100691	1.338148
5	0,43	0.037513	0.232648	0.161244
7	0,37	-0.004414	0.193781	-0.022778

Tabla 3. Análisis de regresión para la determinación del coeficiente C. Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó el método y se corrigieron cada una de las bandas. En la Figura 9 se observa el efecto de la corrección en tres puntos de la banda 4. En otros puntos de estas imágenes también puede verse el efecto de reducción del sombreado.

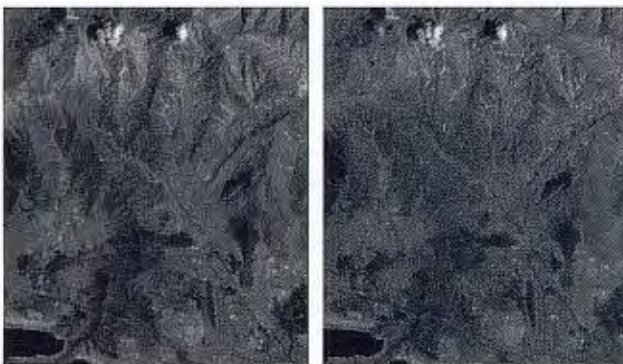


Figura 9. Banda 4 de la imagen Landsat ETM+, sin corrección y con corrección topográfica. Puntos ilustrativos del efecto de la corrección. Fuente: Elaboración propia.

## 5.7. CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN

### 5.7.1. METODOLOGÍA NO SUPERVISADA

Se aplicó el método de agrupamiento llamado CLUSTER en Idrisi, que corresponde a la técnica de análisis de picos de histograma, sobre las bandas con corrección atmosférica y topográfica y sobre las bandas con sólo corrección atmosférica. También se utilizó el módulo conocido como KMEANS, el cual se basa en una técnica de agrupamiento para dividir una imagen n-dimensional en K cluster (grupos) exclusivos (Eastman, 2006). Los grupos espectrales,

determinados por los algoritmos de clasificación, fueron convertidos a las categorías de cobertura predefinidas, ajustando reiterativamente los parámetros de dichos algoritmos e interpretando los grupos resultantes con las clases de cobertura del mapa de referencia.

### 5.7.2. METODOLOGÍA SUPERVISADA

**Áreas de entrenamiento:** Se generó un mapa vectorial de polígonos, correspondiente a las áreas de entrenamiento identificadas sobre la imagen Landsat, en una composición de las bandas 2, 3 y 4 (falso color). Se hizo un proceso iterativo observando los resultados que se iban obteniendo e incorporando nuevas áreas de entrenamiento para mejorar los resultados. En la Figura 10 se presentan las áreas de entrenamiento definitivas seleccionadas sobre la imagen a falso color (en la Figura 6 se muestran fotografías representativas de estos tipos de cobertura).

**Firmas espectrales:** Se realizó la caracterización estadística de las clases informacionales digitalizadas como áreas de entrenamiento, usando el módulo MAKESIG en Idrisi. Esta caracterización, conocida como firma espectral, se presenta en la Figura 11 para el valor promedio de los píxel en cada clase de entrenamiento y para cada banda de la imagen sin corrección topográfica. De igual manera se procedió para la imagen con corrección topográfica.

**Clasificación de la imagen:** Se aplicaron varias técnicas de clasificación con fines comparativos. Las técnicas empleadas fueron: el método de la Mínima Distancia a la Media, el método de los Paralelepípedos, el método de Máxima Probabilidad, basado en la Teoría de Probabilidad Bayesiana, y el método de las Redes Neuronales Artificiales.

Para el método de Máxima Probabilidad se emplearon dos modalidades de cálculo. En una se consideró que la probabilidad "a priori" de los tipos de cobertura era igual para cada una de las clases. En la otra opción se le dio a cada clase la probabilidad de ocurrencia derivada de la imagen de cobertura de referencia, especificada en la Tabla 1 (proporción).



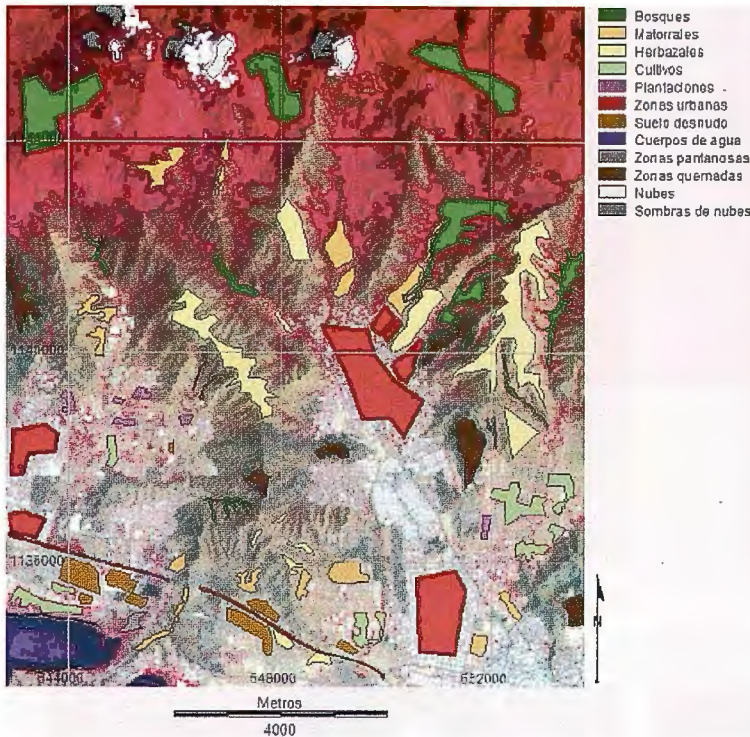


Figura 10. Áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada.  
Fuente: Elaboración propia.

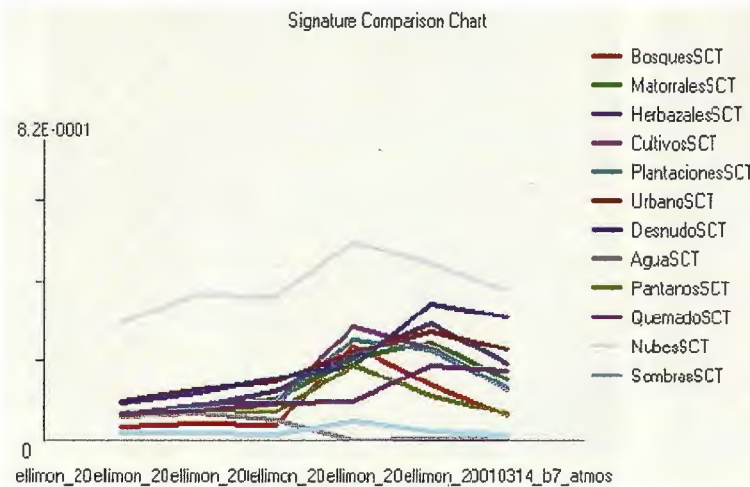


Figura 11. Firmas espectrales por clase informacional y por banda.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se presenta el resultado obtenido con una de las técnicas de clasificación supervisada empleadas (para las bandas sin y con corrección topográfica).

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS TOPOGRÁFICOS

Comparando las imágenes mostradas en la Figura 9, se puede observar como la imagen corregida pierde la sensación de tridimensionalidad, dado que se han reducido las sombras en las laderas ocultas al sol (orientadas hacia el oeste). Igualmente se puede observar como en esas laderas los tonos grises de algunos tipos de cobertura, como herbazales y bosques, se hacen prácticamente iguales a los tonos equivalentes de las laderas soleadas. Sin embargo al observar la Figura 13, que incluye composiciones de las bandas 2, 3 y 4, para las imágenes sin y con corrección

topográfica, se detecta una sobre-corrección en las laderas opuestas al sol en la imagen corregida.

Para realizar una evaluación cuantitativa se hizo un análisis de regresión entre la imagen de insolación ( $\cos \nu$ ), como variable independiente, y las bandas con corrección topográfica, como variables dependientes. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

En la Tabla 4 se observa como se redujo sustancialmente la correlación después de la corrección de los efectos topográficos, lo que indica que prácticamente se ha eliminado dicho efecto sobre la señal de la imagen.

### 6.2. CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN

Para evaluar los resultados de la clasificación se hizo un análisis visual comparativo de la imagen clasificada, tanto con el mapa de referencia de tipos de cobertura, como con la imagen Landsat.

Para hacer una evaluación cuantitativa se calculó la matriz de confusión, que se basa en una tabulación cruzada (crosstab) entre la imagen obtenida con la clasificación y el mapa de tipos de ocupación de referencia (que representa teóricamente la realidad del terreno). Para ello se utilizó en Idrisi el módulo ERRMAT, el cual también calcula el intervalo de confianza para las cifras y el Índice de Concordancia Kappa<sup>1</sup>.

#### 6.2.1. CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA

Con esta clasificación los resultados fueron muy deficientes, lo que se evidencia tanto al hacer el análisis visual como en la evaluación cuantitativa. Esto sucedió con las dos técnicas de clasificación empleadas (CLUSTER y KMEANS) y con las imágenes corregidas y sin corregir.

En la Tabla 5 se observa el valor del índice Kappa para los dos métodos de clasificación. Visualmente se detecta un peor resultado cuando se clasifican las imágenes sin corregir por efectos topográficos. Se observan grupos del mismo tipo de ocupación que son separados por situarse en laderas soleadas o en sombra, aunque esto es sólo evidente en pequeñas áreas de la imagen. Lo mismo se evidencia en el índice Kappa.

#### 6.2.2. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

El clasificador que generó los mejores resultados fue el de Máxima Probabilidad (MAXLIKE), tanto por el análisis visual de los resultados, en comparación con la realidad de la imagen de referencia, los ortofotomapas y el conocimiento que se tiene de la zona, como por la evaluación de la matriz de confusión y el índice de concordancia Kappa (Tabla 5).

<sup>1</sup> El índice Kappa ( $K$ ) es un estadístico que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar. Un valor de  $K$  igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a cero sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar (Chuvieco, 2002).



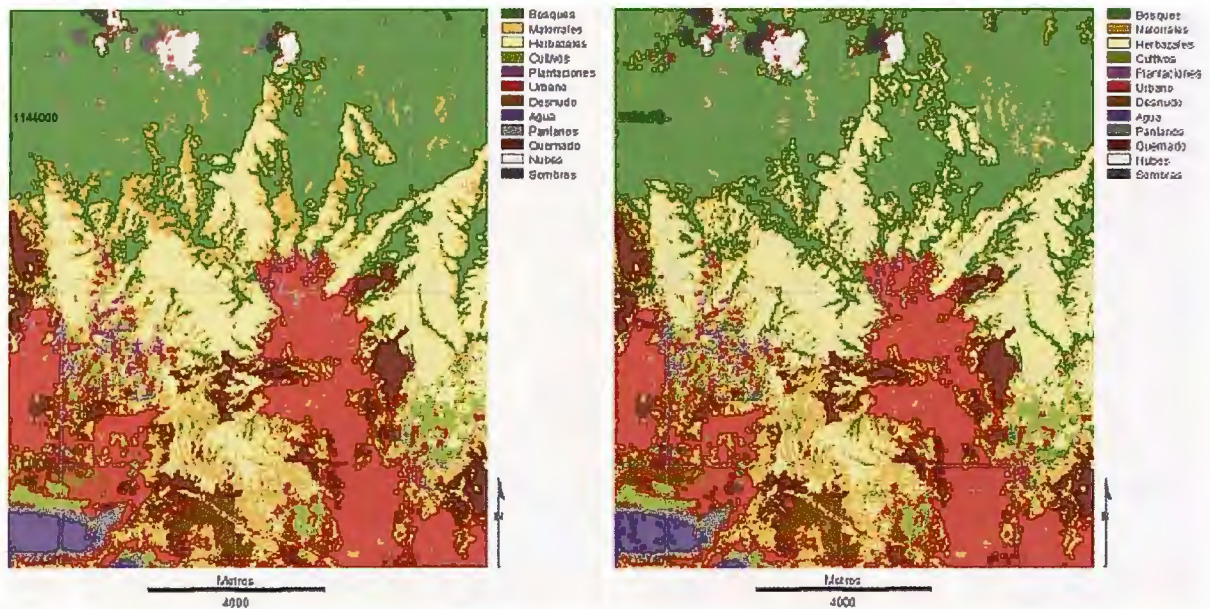


Figura 12. Imágenes clasificadas (Clasificador de Máxima Probabilidad) sin corrección topográfica y con corrección topográfica. Fuente: Elaboración propia.

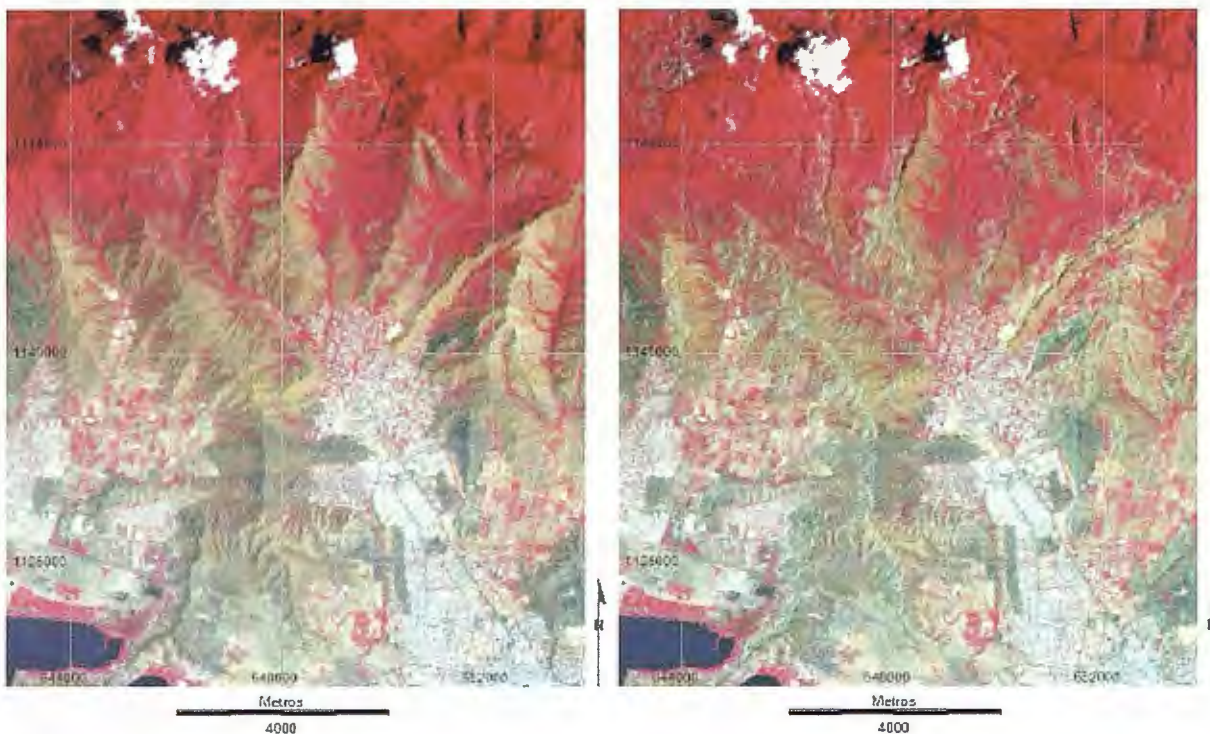


Figura 13. Composición de las bandas 2, 3 y 4 sin corrección de efectos topográficos y con corrección. Fuente: Elaboración propia.

Bandas	Coeficiente de determinación (R)	
	Imagen sin corrección topográfica	Imagen con corrección topográfica
1	0.25	0.0203
2	0.30	0.0201
3	0.33	0.0105
4	0.26	0.0001
5	0.43	-0.0111
7	0.37	0.0242

Tabla 4. Análisis de regresión entre la imagen de iluminación y las bandas de la imagen Landsat. Fuente: Elaboración propia.

Método de clasificación	Índice Kappa global	
	Imágenes corregidas	Imágenes sin corregir
Agrupamiento (CLUSTER)	-0.0484	-0.1356
Agrupamiento (KMEANS)	0.1028	-0.0030
Paralelepípedos (PIPED)	0.1700	0.1946
Mínima Distancia (MINDIST)	0.4023	0.3457
Máxima Probabilidad (MAXLIKE) - probabilidad igual	0.5269	0.5286
Máxima Probabilidad (MAXLIKE) - probabilidad variable	0.5615	0.5610
Redes Neuronales (MLP)	0.4778	0.4696

Tabla 5. Valor del índice Kappa para las imágenes clasificadas con distintas técnicas. Fuente: Elaboración propia.

Comparando las cifras de la Tabla 5, se deduce que las imágenes sin corrección topográfica producen los mejores resultados, salvo para el clasificador de redes neuronales, aunque la diferencia del índice Kappa entre todas ellas es casi despreciable. Con relación al clasificador de Máxima Probabilidad, visualmente se aprecia un

resultado más acorde con la realidad en las imágenes sin corrección topográfica, principalmente en la identificación del tipo de cobertura Matorrales y en algunas zonas de transición Bosque/Matorrales, Bosque/Herbazales (Figura 12).

De acuerdo al análisis de la matriz de confusión corres-



pendiente al clasificador de Máxima Probabilidad con la imagen sin corrección topográfica (Tabla 6), los tipos de ocupación: bosques, uso urbano, cuerpos de agua, zonas quemadas, nubes y sombras de nubes, tienen niveles de error inferiores al 30%, mientras que el suelo desnudo, cultivos y plantaciones, tienen niveles de error superiores a 70%.

Cobertura	Categ.	1	2	3	4	5	ErrorC
Bosques	1	52915	1639	3172	123	107	0.0941
Matorrales	2	10501	4973	6936	2903	714	0.8228
Herbazales	3	3845	1844	19076	2196	260	0.3067
Cultivos	4	137	156	612	3336	809	0.4187
Plantaciones	5	251	200	124	536	781	0.6675
Urbano	6	669	874	2093	4781	660	0.3108
Desnudo	7	2	232	1064	1709	56	0.9936
Agua	8	0	0	0	30	0	0.1772
Pantanos	9	78	4	9	410	4	0.6491
Quemado	10	1477	1252	1391	495	0	0.4401
Nubes	11	6	1	0	3	0	0.0108
Sombras	12	224	0	3	0	0	0.2116
<b>Total</b>		<b>70105</b>	<b>11175</b>	<b>34480</b>	<b>16722</b>	<b>3391</b>	
<b>ErrorO</b>		<b>0.2452</b>	<b>0.5550</b>	<b>0.4468</b>	<b>0.7885</b>	<b>0.7697</b>	<b>0.3472</b>

Cobertura	Categ.	6	7	8	9	10	ErrorC
Bosques	1	95	20	2	0	6	0.0941
Matorrales	2	1681	10	7	0	295	0.8228
Herbazales	3	189	2	3	0	98	0.3067
Cultivos	4	515	256	2	26	0	0.4187
Plantaciones	5	417	10	3	10	2	0.6675
Urbano	6	22338	103	12	10	524	0.3108
Desnudo	7	141	21	0	0	71	0.9936
Agua	8	0	0	1750	347	0	0.1772
Pantanos	9	46	23	86	392	13	0.6491
Quemado	10	216	4	5	0	6138	0.4401
Nubes	11	4	0	0	0	0	0.0108
Sombras	12	0	0	0	0	0	0.2116
<b>Total</b>		<b>25642</b>	<b>449</b>	<b>1870</b>	<b>785</b>	<b>7167</b>	
<b>ErrorO</b>		<b>0.1289</b>	<b>0.9332</b>	<b>0.0642</b>	<b>0.5006</b>	<b>0.1408</b>	<b>0.3472</b>

Cobertura	Categ.	11	12	Total	ErrorC	Categ.	KIA
Bosques	1	14	317	58410	0.0941	1	0.6317
Matorrales	2	21	26	28067	0.8228	2	0.3388
Herbazales	3	0	0	27513	0.3067	3	0.4698
Cultivos	4	34	0	6083	0.4187	4	0.1830
Plantaciones	5	15	0	2349	0.6675	5	0.2198
Urbano	6	338	11	32413	0.3108	6	0.8418
Desnudo	7	0	0	3296	0.9936	7	0.0285
Agua	8	0	0	2127	0.1772	8	0.9350
Pantanos	9	42	10	1117	0.6491	9	0.4961
Quemado	10	0	0	10998	0.4401	10	0.8498
Nubes	11	1277	0	1291	0.0108	11	0.7269
Sombras	12	11	887	1125	0.2116	12	0.7071
<b>Total</b>		<b>1752</b>	<b>1251</b>	<b>174789</b>			<b>Overall Kappa</b>
<b>ErrorO</b>		<b>0.2711</b>	<b>0.2910</b>		<b>0.3472</b>		<b>0.5610</b>

Tabla 6. Matriz de Confusión e Índice de Concordancia Kappa para clasificación sin corrección topográfica. Fuente: Elaboración propia.

El principal tipo de cobertura de la zona, correspondiente a bosques, que cubre 40% del área, tiene un 24,52% de error de identificación, las zonas quemadas tienen un error de 14,08%, la zona urbana un error de 12,89%, los cuerpos de agua 6,42%, las nubes 27,11% y las sombras 29,10%. Las nubes y su sombra, al igual que el resto de tipos de cobertura, resultaron clasificados casi con el mismo error en las imágenes con y sin corrección topográfica.

El alto nivel de error en la identificación de los suelos desnudos (95,32%), cultivos (78,85%) y matorrales (55,50%) se puede atribuir a la variabilidad espacial y temporal de este tipo de coberturas, por lo que existen diferencias entre el mapa de ocupación de referencia (del año 1997) y la imagen Landsat (del año 2001). Las plantaciones también tienen un alto nivel de error (76,97%), pero este se debe a la dificultad estadística para su identificación, por la mez-

cla que existe entre el área cubierta por el dosel de las plantas y el área sin ninguna cobertura o cubierta por hierbas. En buena parte del área se presentan, todos los años, incendios de vegetación que afectan en gran medida a las áreas de herbazales y matorrales pero también impactan a las zonas de cultivos y plantaciones y reducen paulatinamente la superficie bajo bosques.

El área identificada como zona pantanosa también tiene un alto nivel de error (50,06%) y un índice Kappa de 49,61%. Esto se explica por la situación particular del crecimiento acelerado de la cota de agua del Lago de Valencia, el cual año tras año ha venido ocupando las tierras de sus márgenes, dedicadas al cultivo y al uso urbano, generando un gran problema de naturaleza socio-ambiental en la región. Este crecimiento ha hecho cambiar la extensión y ubicación de este tipo de ocupación, desde la situación del mapa de referencia (año 1997) hasta una nueva situación en la imagen Landsat (año 2001).

Cobertura	Categ.	1	2	3	4	5	ErrorC
Bosques	1	52933	2219	4003	658	424	0.1302
Matorrales	2	8549	4221	4529	2921	666	0.8178
Herbazales	3	5194	2207	20829	2246	237	0.3265
Cultivos	4	614	153	626	3353	767	0.4700
Plantaciones	5	347	153	71	386	626	0.6768
Urbano	6	761	787	1841	4558	610	0.2999
Desnudo	7	12	262	1092	1681	52	0.9936
Agua	8	0	0	0	32	0	0.1782
Pantanos	9	40	12	7	414	5	0.6272
Quemado	10	1356	1150	1426	468	3	0.4267
Nubes	11	84	9	41	5	1	0.1179
Sombras	12	215	2	15	0	0	0.2120
<b>Total</b>		<b>70105</b>	<b>11175</b>	<b>34480</b>	<b>16722</b>	<b>3391</b>	
<b>ErrorO</b>		<b>0.2449</b>	<b>0.6223</b>	<b>0.3959</b>	<b>0.7995</b>	<b>0.8154</b>	<b>0.3438</b>

Cobertura	Categ.	6	7	8	9	10	ErrorC
Bosques	1	309	33	3	0	2	0.1302
Matorrales	2	1825	11	5	0	423	0.8178
Herbazales	3	168	3	3	0	39	0.3265
Cultivos	4	502	256	1	26	0	0.4700
Plantaciones	5	329	8	2	8	2	0.6768
Urbano	6	22080	91	15	10	427	0.2999
Desnudo	7	135	21	0	0	44	0.9936
Agua	8	0	0	1748	347	0	0.1782
Pantanos	9	47	22	87	394	4	0.6272
Quemado	10	207	4	6	0	6225	0.4267
Nubes	11	39	0	0	0	1	0.1179
Sombras	12	1	0	0	0	0	0.2120
<b>Total</b>		<b>25642</b>	<b>449</b>	<b>1870</b>	<b>785</b>	<b>7167</b>	
<b>ErrorO</b>		<b>0.1389</b>	<b>0.9532</b>	<b>0.0652</b>	<b>0.4981</b>	<b>0.1314</b>	<b>0.3438</b>

Cobertura	Categ.	11	12	Total	ErrorC	Categ.	KIA
Bosques	1	10	266	60860	0.1302	1	0.6244
Matorrales	2	2	10	23162	0.8178	2	0.2827
Herbazales	3	0	0	30926	0.3265	3	0.519
Cultivos	4	28	0	6326	0.47	4	0.1705
Plantaciones	5	5	0	1937	0.6768	5	0.1755
Urbano	6	330	30	31540	0.2999	6	0.8305
Desnudo	7	0	0	3299	0.9936	7	0.0284
Agua	8	0	0	2127	0.1782	8	0.934
Pantanos	9	15	10	1057	0.6272	9	0.4989
Quemado	10	0	13	10858	0.4267	10	0.8599
Nubes	11	1347	0	1527	0.1179	11	0.7668
Sombras	12	15	922	1170	0.212	12	0.7352
<b>Total</b>		<b>1752</b>	<b>1251</b>	<b>174789</b>			<b>Overall Kappa</b>
<b>ErrorO</b>		<b>0.2312</b>	<b>0.2630</b>		<b>0.3438</b>		<b>0.5615</b>

Tabla 7. Matriz de Confusión e Índice de Concordancia Kappa para clasificación con corrección topográfica. Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados son equivalentes a los deducidos del índice Kappa (Tabla 6). Éste toma valores que varía de un mínimo de 2,85% para suelos desnudos, hasta un máximo de 93,50% para los cuerpos de agua.

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la matriz de confusión e índice Kappa, obtenidos para el clasificador de Máxima Probabilidad sobre las imágenes con corrección topográfica.



Estos toman valores bastante parecidos a los de la imagen sin corrección topográfica. La mayor diferencia se presenta en la identificación de los matorrales, con un 62,23% de error, que es congruente con lo observado en las imágenes.

## 7. CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista cuantitativo el método de corrección reduce el efecto topográfico sobre las imágenes, tal como se deduce del análisis de regresión entre la imagen de iluminación y las bandas sin y con corrección topográfica (Tabla 4), sin embargo, visualmente el método utilizado produce una evidente sobre-corrección en las laderas opuestas al sol.
- La corrección de los efectos topográficos con el método seleccionado no mejora el proceso de clasificación de las imágenes, tanto con el empleo de métodos supervisados, como con métodos no supervisados. Este resultado ocurre tanto para las categorías de cobertura que tienen un alto nivel de error de determinación (suelo desnudo, cultivos, plantaciones), como para los tipos de cobertura con bajo índice de error y alto índice de concordancia Kappa (bosques, zonas quemadas, cuerpos de agua, nubes y sombras).
- La zona de estudio tiene una ubicación latitudinal cercana al Ecuador, por lo que el sol presenta a lo largo de todo el año un ángulo de elevación relativamente alto durante la hora de toma de las imágenes, siendo en consecuencia menor el efecto de sombreado que en latitudes altas. Por tal razón la corrección de efectos topográficos parece innecesaria en esta zona, principal aspecto que se pretende evaluar al seleccionar un área de estudio en latitudes tropicales, pero se deben estudiar áreas de relieve más accidentado y otros métodos de corrección, en la misma faja intertropical, para poder sustentar conclusiones en este sentido.
- Los métodos de clasificación supervisados resultaron ser los más efectivos y en particular el algoritmo de Máxima Probabilidad (clasificador Bayesiano) utilizando probabilidades "a priori" diferentes para cada tipo de cobertura.
- La imagen de ocupación del suelo utilizada como referencia tiene una diferencia de cuatro años con relación a la imagen Landsat, por lo que se hizo una actualización (a la fecha de la imagen de satélite) para algunos tipos de ocupación, como las áreas quemadas y los herbazales. En ese lapso de tiempo se han producido cambios derivados básicamente de los incendios de vegetación. La superficie ocupada por el Lago de Valencia y las zonas pantanosas aledañas se han incrementado en pequeña proporción y las áreas urbanas se han mantenido relativamente estables. Estos cambios, a pesar de la actualización, pudieron afectar los valores de la matriz de confusión y contribuir negativamente con el bajo índice global Kappa. Sin embargo, para algunos tipos de cobertura se obtuvo un índice Kappa elevado y allí, consistentemente, al igual que para las coberturas de bajo índice, no hubo diferencia significativa entre las imágenes clasificadas con y sin corrección topográfica.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, O. (2004): *Optimización del aprovechamiento de los recursos hidráulicos superficiales que abastecen a la red de acueductos locales de la población de El Limón, Municipio Mario B. Iragorry, Estado Aragua*. Maracay-Venezuela: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela. 80 pp.
- Arribas, D. (2002): "Análisis y cartografía de las propiedades de los combustibles mediante teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)". *Ecosistemas*. Año XI, No 3/2002. Septiembre-Diciembre [en línea]. [Citado 10 enero de 2007]. Disponible en WWW: < <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/269.pdf>>.
- Chávez, P. (1996): "Image-based atmospheric corrections - Revisited and improved". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), pp. 1025-1036.
- Civco, D. (1989): "Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, pp. 1303-1309.
- Chuvieco, E. (2002): *Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona-España: Ariel Ciencia. 586 pp.
- Chuvieco, E.; Heredia, A.; Martínez, S.; Piñeros, W. y Quintero, E. (2003): "Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes Landsat ETM+". *Geofocus* (Artículos), N° 3, 2003, pp. 216-234 [en línea]. [Citado 12 enero 2007]. Disponible en WWW: < <http://geogocus.rediris.es/principal.html>>.
- Eastman, R. (2006): *Idrisi Andes. Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, Ma: Clark Labs, Clark University. 327 pp.
- Google Earth (2006): [En línea]. [Consulta: 04 al 11 de mayo de 2006].
- Justice, C.; Wharton, S. y Holben, B. (1981): "Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 2, July-Sept. 1981, pp. 213-230.
- Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) (2006): *ANAPRO Digital*. Centro de Ecología - Unidad de Información Geográfica [en línea]. Actualizado en 2006. [Consulta: 04 al 11 de mayo de 2006]. Disponible en WWW: <[http://ecosig.ivic.ve/mapa\\_pn.htm](http://ecosig.ivic.ve/mapa_pn.htm)>.
- Minnaert, M. (1941): "The reciprocity principle in lunar photometry". *Astrophysics Journal*, Vol. 93, pp. 403-410.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2006): *Landsat 7 Science Data Users Handbook* [en línea]. Actualizado en 2005. [Consulta: 04 al 11 de mayo de 2006]. Disponible en WWW: <[http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook\\_htmls/chapter1/chapter1.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter1/chapter1.html)>.
- Ormeño, S. (2006): *Teledetección Fundamental*. 3Ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía. 344 pp.
- Proy, C.; Tanre, D. y Deschamp, P. (1989): "Evaluation of topographic effects in remotely sensed data". *Remote Sensing the Environment*, 30, pp. 21-32.
- Smith, J.; Lin, T. y Ranson, K. (1980): "The Lambertian assumption and Landsat Data". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46, pp. 1183-1189.
- Teillet, P.; Guindon, B. y Goodeonugh, D. (1982): "On the slope-aspect correction of multispectral scanner data". *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 8, pp. 84-106.
- Recondo, C.; Méndez, A.; García, P.; González, R. y Sáez, E. (2001): "Un método sencillo para la corrección topográfica de imágenes de satélite. Aplicación a imágenes Landsat-TM de los Consejos de Mieres y San Martín del Rey Aurelio (Asturias) para obtener mapas de vegetación". *Mapping Interactivo*, Enero/Febrero 2001, N° 67 [en línea]. [Citado 12 enero 2007]. Disponible en WWW: <[http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=103](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=103)>.
- Schneider, K. y Robbins, P. (Ed) (2001): *GIS and Mountain Environments*. Worcester, Ma: Clark Labs, Clark University. UNITAR. Volume 5. 125 pp.
- University of Maryland (2006): *Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility* [en línea]. Actualizado en 2004. [Consulta: 04 al 11 de mayo de 2006]. Disponible en WWW: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>.



# Cartografía de Calidad

Empresa certificada a la  
calidad NOR ISO 9002



Avda. Hytasa, 38, Edificio Toledo, 1-4º  
41006 SEVILLA  
Tels.: 95 465 57 76 - 95 465 51 27 - Fax: 95 465 57 76  
E-mail: [invar@invarsl.com](mailto:invar@invarsl.com)  
[www.invarsl.com](http://www.invarsl.com)



# CARTOGRAFÍA Y GEOMÁTICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL CAMINO DEL INCA O “QHAPAC ÑAN” EN EL DESIERTO DEL JUBONES, SANTA ISABEL (ECUADOR)

José Miguel Gaspar Soriano

Consultor y coordinador técnico en geodesia y geomática en la Municipalidad de Santa Isabel, Ecuador.

## RESUMEN:

Este artículo muestra la importancia que tiene conocer la ubicación geoespacial del Camino del Inca o “Qhapac Ñan” actualmente postulado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. El Qhapac Ñan se engloba dentro de un contexto histórico-cultural de alta relevancia en latinoamericana, por lo tanto se hace necesario su mantenimiento, difusión y protección. Para ello, es imprescindible saber la localización del Camino del Inca y la orografía del terreno por donde discurre, en este caso a través del Desierto del Jubones delimitado dentro del Municipio de Santa Isabel (Ecuador). Se describen los procesos de adquisición de datos espaciales, y cálculos de gabinete necesarios para representar, a escala de detalle en el mapa, las zonas con vestigios del camino del Inca, y un modelo 3D para una mejor interpretación topográfica de la zona. Resaltar el impacto cultural que tiene el estudio arqueológico e histórico del Qhapac Ñan, que es posible profundizar mediante los estudios topográficos, contribuyendo al rescate y conservación de este.

## ABSTRACT:

This article shows the importance of mapping on the Inca Trail or “Qhapac Ñan”, currently postulated by UNESCO as Heritage of Humanity. The Qhapac Ñan is under a historical-cultural context of high importance in South America, where its maintenance, dissemination and protection is necessary. For this, it is essential to know the Inca Trail's reference and the terrain's topography over which it runs. This project is located in the Jubones Desert limited by the Municipality of Santa Isabel (Ecuador). It describes the spatial data acquisition and calculations processes, a 3D model for better interpretation of surface of interest and the Inca Trail's vestiges areas. Mapping study has a big impact in archaeology and in the Territory Management and Planning fields, and it contributes to its rescue and conservation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito es plantear el ordenamiento territorial en sus diferentes articulaciones intersectoriales del Camino del Inca, que abarca desde lo socio-económico hasta lo cultural. Para la correcta planificación territorial de la zona es necesario disponer de una cartografía de detalle del Camino del Inca que atraviesa el Desierto del Jubones, y evaluar con mayor detalle sus repercusiones en el ámbito arqueológico, histórico y territorial.

El Desierto del Jubones<sup>1</sup> se sitúa a lo largo del Río Jubones en el término municipal de Santa Isabel, situado al Suroeste de la Provincia de la Azuay (Figura 1).

## 2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

El camino del Inca conocido como “Camino del jefe” o “Gran camino” (*Qhapac Ñan*) atraviesa todo el territorio

andino. El *Qhapac Ñan* fue construido durante el período de auge del imperio inca, en el siglo XV, y atraviesa alturas que llegan a los 5.000 metros. El Qhapac Ñan, instrumento de dominación y de poder del Inca, constituía el principal vector de intercambio y de circulación en el corazón de los Andes, **de ahí la importancia de su representación en un plano, que si bien sirve para su estudio arqueológico también tiene un papel crucial a la hora de planificar el territorio, ya que es una zona a preservar por su relevancia histórica.** Dicho camino era recorrido en su totalidad por militares, comerciantes y artesanos pero sobre todo por los mensajeros del Imperio Inca, **los chasquis**, que representaban el símbolo por excelencia del mito del “camino”. Estos mensajeros (personas designadas por sus comunidades para asumir dicha tarea al servicio del Inca en el tramo del Qhapac Ñan que atravesaba su territorio) que corrían relevándose cada 5 kilómetros, permitían que un mensaje atravesara en unos pocos días la mitad del Imperio (2.000 kilómetros).

Cada siete kilómetros, un **pukara** (puesto fortificado) ejercía control del movimiento sobre el camino. Cada 21 kilómetros, un **tambo**, ciudad etapa (tambo significa “descanso” en quechua, Zona B), ofrecía abastecimiento a los viajeros y militares. Y cada 50 kilómetros se encontraba una ciudad importante. La influencia de este camino, tan importante para la cultura incaica, afecta el término municipal de Santa Isabel. Se observa a lo largo de la trayectoria del camino un tambo y una zona que al parecer puede ser un sitio donde se posicionaban para estudiar las estrellas. Han quedado numerosos vestigios arqueológicos de estos caminos, que atraviesan todos los **grandes sitios ceremoniales precolombinos** (Chavin, Tiwanaku, Machu Pichu, valle sagrado del Urubamba), **las grandes capitales del Imperio** (Tomebamba y Cuzco), numerosos vestigios de antiguos centros urbanos incaicos y precolombinos (Cañaris, Mochica, Chimú, Incas...), y numerosas ciudades coloniales históricas: Ingarpica, Cuenca, Cajamarca y Tarma.

<sup>1</sup> Determinado así por la gente local de la zona.

## 3. ZONA DE INFLUENCIA

La zona de influencia que implica las comunidades de Minas de Huascachaca, Comunidad del Jubones y Sumaypamba, siendo estas economías de subsistencia del Cantón Santa Isabel, está desglosada en tres zonas A, B y



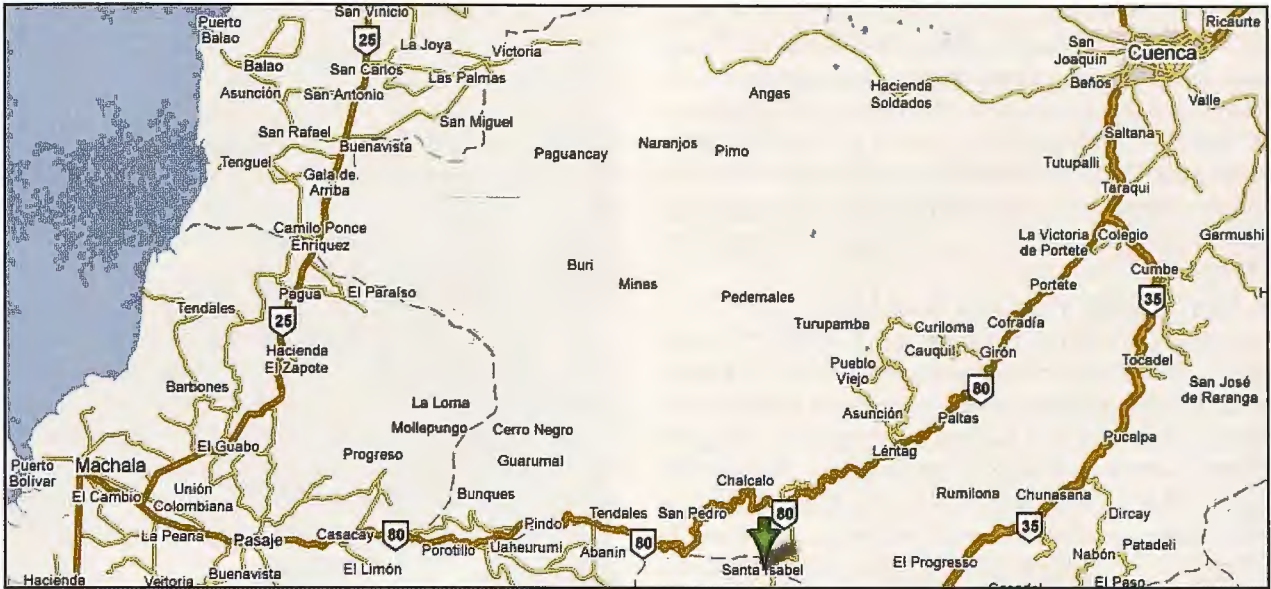


Figura 1. Mapa de carreteras comarcal del Sur del Ecuador.



Figura 2. Se observa los puntos donde están situados los yacimientos en la hoja cartográfica.

C (Figura 2). En cada una de ellas se aprecian restos incaicos de pequeña magnitud.

La Zona A está compuesta por un camino de unos 200 metros que atraviesa una zona de la carretera comarcal, situada en la ladera de una montaña (Figura 3.A). El camino recorre parte de la ladera de la montaña hasta llegar a una zona de derrumbamientos, en donde se pierde la continuidad del camino.

La zona B está formada por un yacimiento de forma rectangular, de aproximadamente 100 metros cuadrados (Figura 3.B). Todo parece indicar en un principio que se trata de una zona de descanso para los chasquis (Tambo) en sus largos trayectos. Aquí ellos podían descansar y alimentarse para seguir de nuevo su camino.

La Zona C es la más complicada del proyecto, y la que mayor interés arqueológico representa. Todas las zonas de



Figura 3. A) En la figura de la izquierda se aprecia el camino desde la ladera de la montaña hasta llegar al derrumbe. El camino se encuentra en la vaguada, rodeado en rojo. B) La imagen central representa una perspectiva de la Zona B, donde se observa restos arqueológicos incas, cerca del río Jubones. C) En la imagen de la derecha se visualiza la zona C donde el Río Jubones atraviesa una zona acantilada, el río termina su meandro y empieza la zona rocosa de fuerte pendiente.

Figura 4. A) En la imagen de la izquierda se observa un puente actual construido bajo la construcción de otro antiguo puente, que según fuentes locales data de tiempos incaicos (en el mapa se ha señalado como punto de interés). Se observa también una figura geométrica con forma circular incrustada en el suelo con una ligera pavimentación. Podría hacer referencia a un sitio donde se estudiaban las estrellas. B) A la derecha se muestra los restos del muro que rodea el yacimiento.





estudios se sitúan siguiendo el Río Jubones, este al llegar a la zona donde la roca es más fuerte (Figura 3.C) va dejando sus meandros y atraviesa una zona acantilada, es por este motivo que la zona de estudio se hace más dificultosa. Según las informaciones locales se hace visible a partir de un puente que está formado por un pequeño sendero con una longitud de unos 250 metros que atraviesa la ladera de una zona acantilada de gran pendiente hasta llegar a la cima de la montaña.

#### 4. INSTRUMENTAL UTILIZADO

Los puntos de referencia pertenecen a la Red GPS Nacional del IGM (Red de primer orden perteneciente al Instituto Geográfico Militar, y que a su vez está enlazada con SIRGAS95<sup>2</sup> (ITRF94)). La longitud máxima de estos puntos con los puntos de la Red que se quiere implantar no supera, en la mayoría de los casos, una distancia mayor a los 14 kilómetros exceptuando un vector que tiene 70 kilómetros, utilizado únicamente para realizar el ajuste altimétrico. Este factor de longitud junto con la precisión que se quiere alcanzar son los condicionantes básicos que determinan la utilización del instrumental y la metodología a emplear.

Instrumental utilizado:

- Walkitalkies, se consigue estar en todo momento en continua comunicación con los diferentes operarios, y supervisar todas las observaciones en tiempo real.
- 3 Receptores GPS topo-geodésicos (Figura 5), de esta forma se consigue observar 3 vectores simultáneamente, ganando tiempo y redundancia.
- Estación Total con distanciómetro láser automático.



Figura 5. A) Receptor GPS Geodésico Sokkia. B) Material utilizado para los hitos de los puntos.

- Clavos de acero con arandelas para poder escribir las consiguientes reseñas, martillo, cemento, etc. para la materialización de los hitos.
- Trimble Total Control para el cálculo y ajuste de la Red Local.
- Diversos programas específicos de topografía (Autocad, MDT, etc.).
- 3 grupos de trabajo, cada uno situado en diferentes sitios observando simultáneamente los nuevos puntos densificados.

<sup>2</sup> Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.

#### 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La necesidad de cartografiar la zona de influencia del Camino del Inca es debido a la repercusión que puede tener, entre otros, en el ámbito arqueológico delimitando las zonas que pueden aportar datos históricos de gran importancia cultural. Destacar también la trascendencia que tiene la determinación de aquellas zonas de mayor interés histórico y turístico. Se establece una serie de puntos de control o de referencia cartográfica para obtener un origen de

coordenadas, de esta forma el levantamiento topográfico está referido a un Sistema de Referencia Espacial con coordenadas absolutas.

##### 5.1. Consideraciones previas

Previamente a la observación en campo se tuvo que establecer contacto con el IGM (Instituto Geográfico Militar) para poder obtener las reseñas de los puntos de referencia a utilizar en la observación y compensación del ajuste GPS. Se obtienen puntos de referencia en las zonas de A, B y C referidos a SIRGAS95.

Se procedió a estudiar la zona de actuación y a comprobar si los puntos del IGM que se requerían existían físicamente en campo. Se estudió cuidadosamente la planificación, recorrido y tiempo de observación. Los puntos de referencia utilizados en este proyecto están situados en zonas estratégicas (planta de agua de Santa Isabel, Figura 6), y en la montaña más alta de la zona (Tortopali).

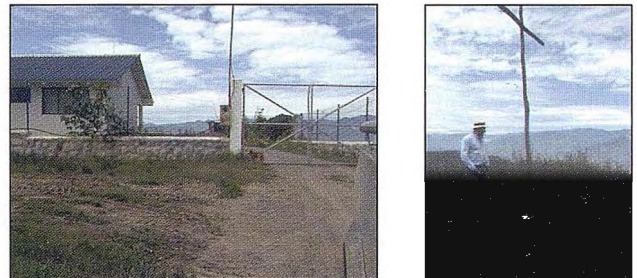


Figura 6. A la izquierda se observa la planta de Agua de Santa Isabel (Pilancón), y a la derecha se sitúa el punto de Tortopali.

##### 5.2. Materialización de los puntos de referencia

Una vez se tuvo claro los puntos a utilizar y su ubicación, se procedió a la planificación y materialización de todos aquellos puntos necesarios para realizar los levantamientos topográficos en las tres zonas de estudio (A, B y C). Las dimensiones de los mojones de los puntos tienen una base de 25x25cm, con una altura sobresaliente del terreno de 20cm, y con una profundidad de 30cm para evitar el desplazamiento del punto (Figura 7). Se establecieron un par de puntos en cada zona de interés, visibles entre sí, y de fácil estacionamiento con los aparatos topográficos para que se pueda obtener un acimut de salida (si se utilizan métodos clásicos), y un origen del que partir.

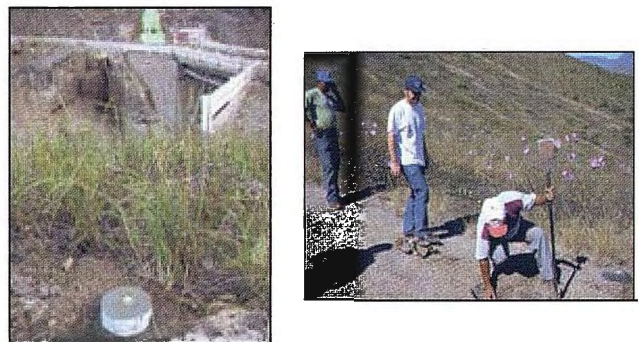
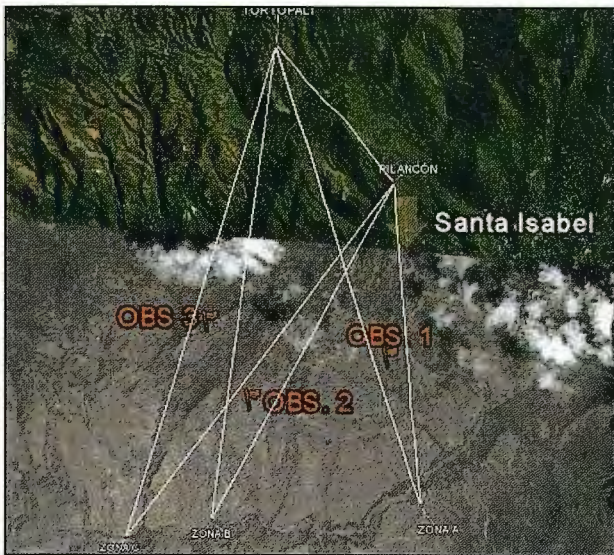


Figura 7. Se aprecia la materialización de los puntos de referencia de los levantamientos. En la imagen de la izquierda se observa un punto de origen de la zona C (S.I.-F), y en la imagen de la derecha se observar un punto origen de la Zona B (S.I.-C).

##### 5.3. Observación en campo

Para poder realizar las observaciones GPS de una forma satisfactoria se tuvo que formar tres grupos de trabajo que operaron en diferentes zonas realizando mediciones simultáneamente. Se realizó un itinerario (Figura 8) donde cada grupo tenía un punto asignado.





6h00	10h00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-A
6h00	10h00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-B
11H00	13H00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-C
11h00	13h00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-D
15H00	17H00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-E
15h00	17h00	TORTOPALI	PILANCÓN	SI-F

6h30	11h00	C-07-02-72	SI-C
6h30	9h00	C-07-02-72	SI-B
9H00	11H00	C-07-02-72	SI-F

Figura 8. A la izquierda se observa las diferentes sesiones GPS del primer día de trabajo en campo. Las observaciones en la Zona A se corresponden con OBS.1, la de la Zona B con OBS.2 y así sucesivamente. Las tablas de la derecha se corresponden con las 6 sesiones de observaciones que se realizaron, repartidas en dos días. En la tabla superior está la distribución de los puntos de referencia (IGM) y los puntos a calcular, la tabla de abajo visualiza la observación con el punto de referencia más alejado situado en Cuenca, para poder realizar el ajuste tridimensional.

Las observaciones están desglosadas en 6 sesiones, repartidas en 2 días, realizadas a distintas horas, y con una duración aproximada de 60 minutos para las primeras 3 sesiones debido a la poca longitud de los vectores, y de 240 minutos para el punto C correspondiente a la sesión 2 ya que la longitud del vector es mayor, debido a que el punto necesario para realizar el ajuste en 3D está muy alejado de la zona en cuestión.

Las tres primeras sesiones GPS se realizaron en un día de trabajo con un total de 14 horas. En cada una de ellas intervinieron siempre 3 puntos medidos simultáneamente.

#### 5.4. Enlace al Sistema de Referencia SIRGAS95

La importancia cartográfica que tiene enlazar los levantamientos en el Sistema SIRGAS es debido a que *permite unificar todo el camino INCA de diferentes países en un mismo sistema de referencia*. Se mejora el intercambio de información entre los distintos países, además de las ventajas correspondientes que tiene su uso para la *no transformación de datum cuando se utiliza GPS*.

que influye sustancialmente sobre el resultado final si los vectores son de larga longitud. En este caso al ser vectores tan pequeños estos factores no son determinantes en la solución.

Se realiza un ajuste por *Red Libre* donde se define si la red en relativo ha sido observada correctamente, es decir si las observaciones realizadas en campo han sido válidas, y por lo tanto la bondad del trabajo. Posteriormente se realiza el cálculo del ajuste por *Red Ligada* con 3 puntos fijos (Tortopali, Pilancón y C-07-02-72).

Los resultados estadísticos obtenidos tras el *ajuste Ligado* han sido válidos para las precisiones exigidas en este trabajo (Figura 11). El Error estándar de peso unidad a posteriori ha sido de 1,115, y se asemeja al *Error de peso unidad a priori*, que nos indica el grado de proximidad que hemos tenido en la suposición de la precisión supuesta inicial. El número de iteraciones ha sido dos, con lo que el sistema ha convergido en una solución rápidamente. La



Figura 9. A la derecha está representado los puntos origen de partida y las longitudes respectivas a cada uno de los puntos a calcular en las Zonas A, B y C. La imagen central se corresponde con un punto de la red 2º Orden de Cuenca, situado en el Parque Calderón. A la derecha se observa el punto correspondiente a Tortopali.

## 6. CÁLCULO Y COMPENSACIÓN GPS

Los resultados de un ajuste dependen del criterio a priori que se haga sobre las observaciones y método de compensación, todo ello está relacionado con el tipo de precisión que se requiere, longitud entre puntos de observación, etc. Hay que tener en cuenta factores como el modelo troposférico, modelo ionosférico y las efemérides preci-

precisión tras haber ajustado la Red a la geometría *establecida por los puntos de referencia* en planimetría oscila desde 11,1 mm a 37,3 mm, y en altimetría de 25,9 mm a 87,9 mm como máximo.

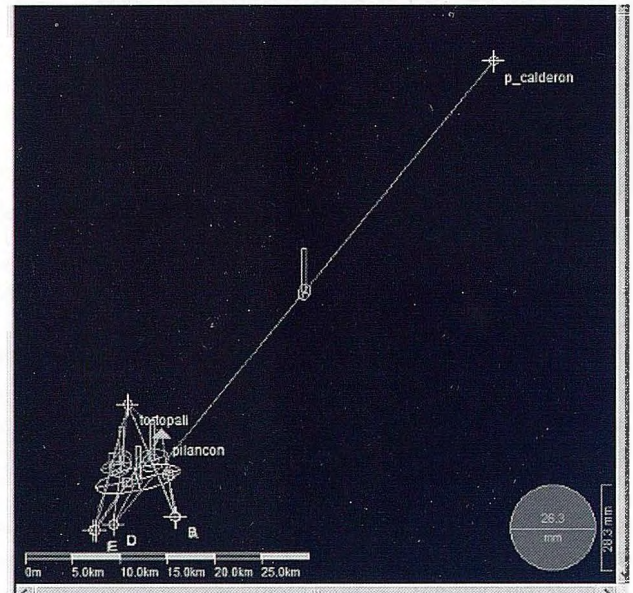
En la salida de resultados se introdujo el modelo geoidal EGM96, ya que en la actualidad no existe ningún modelo de Geoide Nacional o Local para la zona, con lo que las alturas Ortométricas están referidas al EGM96.



Point	Semimajor Axis	Semiminor Axis	Angle	95% confidence radius
A	37.8mm	28.6mm	-75.0°	82.9mm
B	34.2mm	24.8mm	76.1°	74.1mm
C	29.6mm	24.5mm	11.8°	66.6mm
D	20.8mm	16.3mm	-89.7°	46.0mm
E	18.7mm	9.7mm	70.2°	38.3mm
p_calderon	0.0mm	0.0mm	90.0°	0.0mm
pilancon	0.0mm	0.0mm	90.0°	0.0mm
tortopali	0.0mm	0.0mm	90.0°	0.0mm

Adjustment in the National System.	
Number of GPS Baselines	12
Number of Total Station Measurements	0
Number of Control Points in National System	3
Number of Adjusted Points	8
Confidence level	1 $\sigma$
Significance Level for Tau Test	1.00 %
Standard Error of Unit Weight	1.115
Number of Iterations	2
Refraction Coefficient	0.140

Figura 10. A) Se observa las líneas bases calculadas. Las elipses de error relativas nos informan sobre el error cometido entre puntos. El mayor error se produce entre los vértices de Tortopali y el punto F, que se debe a que el punto F estaba materializado en la zona más cóncava del lugar, rodeada de montañas que hacía que la recepción de satélites no fuera todo lo buena que pudiera ser. Aún así el resultado es aceptable para este tipo de trabajo. B) En la imagen de la derecha se aprecia los resultados obtenidos tras el Ajuste Fijo y las elipses de error absolutas en cada uno de los puntos. Se determina de esta forma la zona de incertidumbre para cada punto de la Red mediante los semiejes mayor y menor de la elipse y su orientación.



Point	Northing	$\sigma$	Easting	$\sigma$	Height	Elevation	$\sigma$
A	9631316.8356m	29.3mm	688209.6689m	37.3mm	1105.9015m	1087.1831m	62.5mm
B	9631376.8211m	25.5mm	688091.0858m	33.7mm	1083.7719m	1065.0602m	39.9mm
C	9630555.3730m	29.4mm	681669.6072m	24.7mm	1015.7588m	997.6117m	87.9mm
D	9630539.4213m	16.3mm	681628.6573m	20.8mm	1014.3677m	996.2248m	32.4mm
F	9629908.1943m	11.1mm	679533.3777m	17.9mm	983.4833m	965.5503m	25.9mm
p_calderon	9679487.6030m	0.0mm	721860.3500m	0.0mm	2563.2320m	2540.5556m	0.0mm
pilancon	9640073.4220m	0.0mm	686667.0020m	0.0mm	1961.7040m	1942.7687m	0.0mm
tortopali	9643254.1740m	0.0mm	683250.2750m	0.0mm	2407.0370m	2388.3115m	0.0mm

Figura 11. Coordenadas UTM con Datum Sirgas, y su precisión asociada a cada coordenada obtenida tras la compensación por Red Ligada.

*Todos los parámetros antes comentados indican estadísticamente que las observaciones que se han realizado en campo son correctas y que la Red Fija ha sido ajustada y compensada satisfactoriamente.*

*El punto F se determinó por radiación, debido a la insuficiencia de satélites en la observación.*

## 7. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

Tras haber implementado y calculado los puntos de referencia necesarios en cada una de las zonas de interés se dispuso a realizar el levantamiento topográfico por métodos clásicos (Figura 12) con curvas de nivel cada metro, ya que en arqueología es de vital importancia tener un conocimiento exhaustivo de la orografía del terreno para poder realizar los estudios correctamente sobre la dirección y trayectoria del camino, zonas de pendientes, zonas de descansos, posibles paradas, lugares de culto, etc.

Se realizaron diversos Modelos Digitales del Terreno para que se pudiera obtener una figura geométrica en 3D desde

cualquier punto de vista. Los datos de posición (x,y) y de elevación (z) fueron obtenidos mediante métodos clásicos ya que se disponía de puntos de referencia X, Y y Z. Para modelizar la superficie es necesario acudir a métodos de interpolación ya que no es posible medir todos los puntos de la superficie. Estos métodos de interpolación espacial permiten calcular el valor altimétrico de toda la superficie conociendo el valor de esta variable en otras posiciones. Uno de los interpoladores utilizado es el Kriging (Figura 13) es un método geoestadístico de interpolación exacto, y genera superficies suavizadas. Representar la tierra, con la variación espacial tan irregular que tiene, resulta muy difícil mediante una función matemática que genere una superficie suavizada, por este motivo crea una superficie estocástica con valores probabilísticos.

## 8. VUELO TRIDIMENSIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Posteriormente se realizó un TIN (Triangulated Irregular Network), interpolación local y exacta que asigna a cada



punto a interpolar un valor que depende del que posean los tres puntos muestrales más cercanos. Una vez realizado este modelo vectorial se fusiona con la imagen satelital (Figura 14) que previamente se había georeferenciado, obteniéndose una visión más real del terreno que se corresponde con la zona de estudio de las zonas A, B y C. Ya se está en disposición de realizar un Vuelo Tridimensional sobre la zona de estudio. El resultado obtenido ofrece un aspecto visual sorprendente, si se tiene un buen Modelo Digital de Elevaciones y una imagen con gran resolución. También permite su difusión y divulgación.

do muy importante porque permite concatenar el *Camino del Inca* con países vecinos.

Los puntos de referencia cartográficos están materializados mediante hitos, que en la medida de lo posible se han instalado en aquellos sitios donde se previó una mayor duración en el tiempo para ser utilizados por cualquier profesional en el ámbito de la topografía o cartografía si se hallan más restos arqueológicos en un futuro.

La integración de imágenes satelitales junto con Modelos Digitales de Elevaciones permite representar el terreno en 3D ofreciendo un gran potencial visual de la zona de estu-

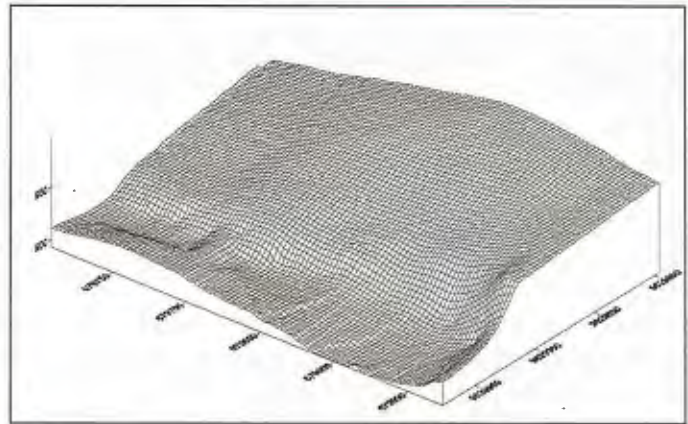


Figura 12. Operario realizando el levantamiento topográfico con Estación Total y Modelo Digital del Terreno correspondiente a la Zona C.

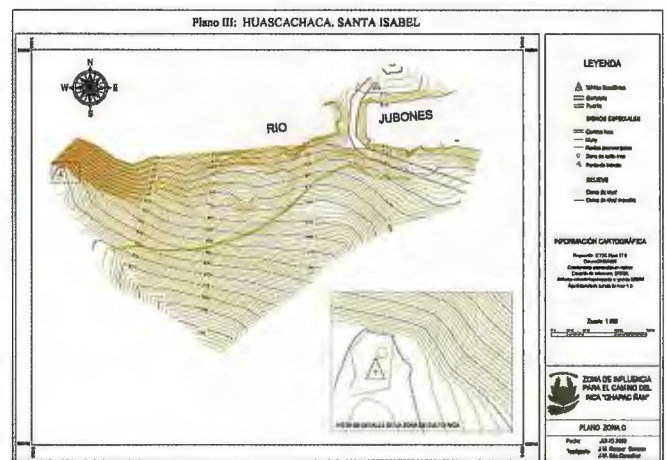
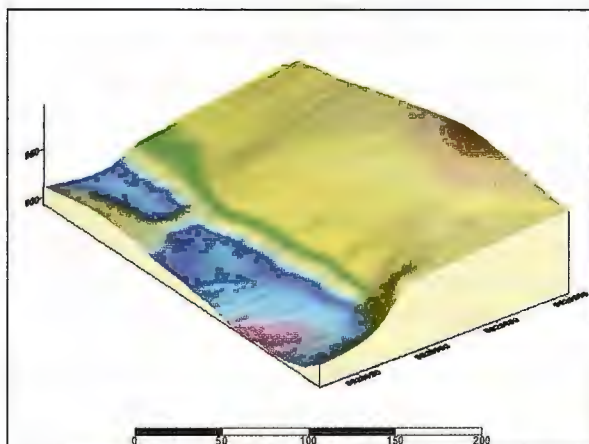


Figura 13. Modelo Digital del Terreno y Mapa Topográfico a escala 1:500 de la Zona C.



Figura 14. Imagen tridimensional de las zonas de interés A y C.

## 9. CONCLUSIÓN

En el ámbito cartográfico citar que el hecho de estar referido al Sistema de Referencia SIRGAS es un valor añadi-

do, aunque esta característica siempre dependerá de los datos de adquisición en campo. Los MDT permiten una mejor interpretación de la orografía del terreno, útil en la



toma de decisiones por planificación del territorio y de gran importancia para el Ministerio de Cultura cuando se trata de sitios de interés arqueológicos, históricos y a su vez turísticos. Se fomenta su difusión y divulgación haciendo más atractivo los sitios de interés.

La importancia que tiene conocer con exactitud el *Camino del Inca* y sus zonas de influencia va más allá de la cartografía, los efectos que conlleva el hecho de saber su trayectoria, conocer con más exactitud su posicionamiento, sus sitios de descanso y zonas de culto tienen una repercusión directa para aquellos expertos en el tema arqueológico-histórico, y también dentro del ámbito de Ordenación y Planificación Territorial. También se ven beneficiadas aquellas zonas por donde pasa el camino al quedar establecido su delimitación y poderse disponer de puntos culturales y turísticos de interés.

Mencionar que probablemente el Municipio de Santa Isabel sea el primero en todo el país del Ecuador en cartografiar el área de influencia del *Camino del Inca* a escala de detalle, siendo pionero en cuanto a la producción de cartografía.

Por último, se fomenta la historia del pueblo incaico que al estar delimitado sobre un mapa hace más fácil su conocimiento para el resto de los ciudadanos, y de esta manera

permite conocer mejor sus movimientos, relaciones entre ciudades y comercio, estilo de vida, etc.

**El Cápac Ñan, patrimonio cultural de la humanidad que constituyó la obra tecnológica de mayor relevancia de América Prehispánica, adquiere suma importancia en el trabajo intersectorial, dentro del marco cultural (Patrimonio Cultural de la Humanidad, UNESCO), ya sea en rescate del mismo, investigación-conservación y debido a la puesta en valor de los bienes patrimoniales. En otro aspecto socioeconómico y territorial vinculado al patrimonio cultural y natural se determina las vulnerabilidades de la zona de influencia del Camino del Inca.**

## 10. REFERENCIAS

### Referencias de Internet

<http://www.sirgas.org>

<http://www.igm.gov.ec>

<http://www.cartesia.org>

<http://www.ministeriopatrimonio.gov.ec>

<http://revistas.arqueo-ecuatoriana.ec>

<http://www.visitaecuador.com>

### Referencias Bibliográficas

Chueca, Herraes, Berné. 1997. Tratado de Topografía III. Redes Topográficas y Locales. Microgeodesia. Paraninfo

---

# Noticias

---

## El firmware Topcon 3.4 G3 ofrece la tecnología de seguimiento de una 'próxima generación'

Topcon recientemente ha anunciado el lanzamiento de la versión de firmware 3.4 G3 para receptores que actualiza significativamente las prestaciones y la utilización de las plataformas de los receptores GNSS de Topcon incluyendo los sistemas líderes de la industria como son el GR-3 y GRS-1.

Jason Killpack, director de producto, comenta, "Este nuevo firmware representa la próxima generación en tecnología de seguimiento. Tiene varias nuevas características para ayudar a los usuarios en campo."

Y añade, "El firmware 3.4 G3 es el primero en el Mercado que puede detectar automáticamente la marca de los receptores de la red, creando correcciones para el receptor móvil y aplicando los "bias" adecuados a las mediciones del sistema GLONASS contenidas en la solución de red GNSS."

Killpack dice, "Diferentes fabricantes tienen diferentes offsets (o biases) para la constelación de satélites GLONASS. Debido a que cada fabricante de hardware genera diferentes datos o correcciones de salida para las mediciones GLONASS, hasta ahora ha sido un reto para un cliente el mezclar sistemas u operar dentro de una red GNSS que no fuera de la misma marca que su receptor móvil."

"En el pasado," añade, "el usuario tenía que utilizar las bases de referencia y los móviles de la misma marca para conseguir añadir los beneficios de las mediciones de GLONASS. Ahora el usuario Topcon puede introducir la marca de la base o de la red manualmente en el software de campo TopSURV 7.2.3, o bien dejar que el sistema apli-

que los offset apropiados automáticamente desde el mensaje emitido RTCM 1033."

El firmware 3.4 de Topcon da la flexibilidad para usar diferentes marcas y modelos como estación base con los receptores móviles de Topcon. "En los entornos de red de hoy en día, el usuario se conecta a una red que puede o no proveer información de un bias a la señal GLONASS. La nueva versión de firmware 3.4 soluciona este problema.", comenta Killpack.

Están soportados los mensajes de red MAC así como los parámetros configurables troposféricos; y también los nuevos y adicionales mensajes RTCM, según comentó.

La posibilidad para el usuario de determinar los offset o bias de forma manual o automáticamente es un gran paso adelante para la tecnología de firmware de receptores, según Killpack. "Esta nueva versión de firmware es la perfecta actualización para cualquier receptor Topcon."

Esta nueva versión de firmware 3.4, incluyendo las notas escritas, así como todas las otras actualizaciones de firmware y software de Topcon, se pueden descargar gratuitamente para los clientes de Topcon desde la página de soporte de Topcon.

## Topcon Europe Positioning

Topcon Europe Positioning B.V. esta situada en Capelle a/d IJssel (cerca de Rotterdam), Holanda. Topcon Europe Positioning B.V. es la central Europea de Topcon Corporation Tokyo. Topcon Europe Positioning B. V. coordina la distribución, ventas, soporte técnico y servicio técnico, desarrollo de la red de ventas así como el flujo vital de feedback de información del mercado Europeo a fábrica.



# SEMANA GEOGRÁFICA EN MÉRIDA

## Del 10 al 14 de Mayo de 2010

Queda abierto el plazo de inscripción para el IV Congreso Internacional de Estudios Territoriales y Ambientales (CIETA), que tendrá lugar por primera vez en España. Este año, el encuentro, lo organizan las revistas Mapping y Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana -con el patrocinio de la Junta de Extremadura, el Instituto Geográfico Nacional, el Centro Nacional de Información Geográfica y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia- para convertirse en el punto de encuentro más importante de los profesionales del sector.

El enclave elegido para esta ocasión ha sido el Palacio de Congresos de Mérida, donde entre los días 10 y 14 de mayo los profesionales más reconocidos del mundo de los estudios territoriales y ambientales participarán en una serie de conferencias y talleres sobre los más diversos asuntos que suscitan el interés general como la Aplicación de SIG y de la Teledetección a Estudios Territoriales; el Desarrollo regional, urbano y ambiental; Desarrollo Rural y Procesos Socio Territoriales; Áreas Naturales Protegidas, Turismo y Territorio; Educación y Territorio; Planeamiento Urbano y Territorio entre otros.

Entre los nombres más destacados se encuentran **M. Sc. Santiago Borrero**, Secretario General del IPGH – Instituto Panamericano de Geografía e Historia; **D. Emilio Chuvieco**, Catedrático de Análisis Geográfico Regional de la Universidad de Alcalá de Henares; y **Dra. Úrsula Oswald Spring**, Investigadora CRIM de la UNAM de México.

Como novedad, en la presente edición se celebrarán, paralelamente, la XV Feria Expogeomática y la Reunión del Grupo de Trabajo para la Infraestructura de Datos Espaciales de España, dos complementos indispensables para uno de los Congresos con mayor reconocimiento en España y América Latina.

Expogeomática, una de las exposiciones más consolidadas del mundo de la cartografía y las ciencias de la tierra, permite a los visitantes acercarse al trabajo de las más de 30 empresas participantes, que se sirven de esta feria como escaparate al gran público.

Por su parte, a través de la Reunión del Grupo de Trabajo para la Infraestructuras de Datos Espaciales de España, los asistentes podrán conocer de primera mano el trabajo del Consejo Superior Geográfico a través de una comisión especializada que agrupa a un amplio número de profesionales de las principales empresas del sector. De esta manera, se busca la integración a través de Internet de los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, tanto a nivel nacional como regional y local, conforme a sus respectivos marcos legales.

De esta manera, el CIETA está llamado a superar la afluencia de público de las ediciones anteriores, celebradas en las principales ciudades de México.

Todos los datos referentes al Congreso, se encuentran en la página web  
<http://www.mappinginteractivo.com/cieta/>

**Revista de Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana** es una Revista a través de Internet perteneciente al grupo Mapping que va a cumplir un año. Su objetivo es recopilar toda la información más importante del sector para España, Portugal y todos los países de América Latina.



# ESPAÑA EN EL TEATRO DE FAVOLIUS(1585)

## Mapa y Texto descriptivo.

Santiago Martín Guerrero. Catedrático de Geografía e Historia - Mario Ruiz Morales. Ingeniero Geógrafo del Estado

Durante los años transcurridos entre comienzos del siglo XVI y finales del XVIII, fueron muchas las obras en cuyo título aparecía la palabra Teatro, en uno u otro idioma. Sin embargo, el significado más frecuente de la palabra se refería a la síntesis de todo el conocimiento, lo que T. Zwinger llamó el Teatro de la vida humana, en el año 1572. Tampoco conviene olvidar el primitivo sentido etimológico del término, muy ligado a la visualización. Con tales antecedentes puede entenderse mejor que el Teatro identificase, generalmente, los atlas o las colecciones de mapas y planos asociadas a un determinado espacio, o a la totalidad del universo, haciendo que cayeran en desuso los vocablos Geografía y Cosmografía. Los dos ejemplos de referencia tuvieron el mismo título: *Theatrum Orbis Terrarum*, siendo sus autores los eminentes cartógrafos A. Ortelius y W.J. Blaeu; sus ediciones respectivas se realizaron en Amberes (1570) y en Amsterdam (1635).

El éxito alcanzado por las distintas versiones del teatro de Ortelius, hizo que colaborasen Favolius<sup>1</sup>, Galle<sup>2</sup> y Plantin<sup>3</sup> para hacer una edición reducida del mismo en latín, que se publicó en Amberes durante el año 1585. El título completo de la obra fue el siguiente: *Theatri orbis terrarum enchiridion, minoribus tabulis per Philippum Gallaeum exaratum; et carmine heroico, ex variis geographis & poetis collecto per Hugonem Favolium illustratum*. Favolius fue el encargado de redactar los textos descriptivos que acompañaban a todos los mapas, Galle fue el responsable de la grabación de los mismos y Plantin el editor del trabajo. Este Teatro, con ochenta y tres mapas (doce ellos plegados) puede consultarse "on line" en la Biblioteca virtual de la Universidad hebrea de Jerusalén. Precisamente ha sido esa la fuente en que nos hemos apoyado para dar a conocer el mapa y la descripción que se hace de la Península Ibérica en el mismo, concretamente en sus páginas 18 y 19.

La escala del mapa es forzosamente demasiado pequeña, una limitación impuesta por el formato reducido del libro. No obstante es compatible con una densidad equilibrada, y homogénea, de topónimos claramente legibles y escritos con una letra itálica de calidad aceptable. La importancia y el tipo de detalle geográfico identificado es evidente gracias a una cierta jerarquización de los rótulos. El tamaño mayor de la letra se utiliza fundamentalmente en la periferia del mapa: los cuatro puntos cardinales (*Septentrio, Oriens, Meridies y Occidens*), el Mar Mediterráneo y Océano Atlántico. Asimismo sucede con las zonas limítrofes representadas: *Galliae Pars y Africae Pars*. En esa misma clase se debe encuadrar el rótulo de la escala gráfica, treinta leguas divididas en seis segmentos de cinco, y el de la cartela que da nombre<sup>4</sup> al mapa y que figura en la esquina Sureste (*Regni Hispaniae post omnium editiones locupleissima*). En el campo de esta bella imagen cartográfica, es decir en el interior peninsular, se emplea tam-

bién idéntico tipo de letra para referirse a los diferentes reinos, aunque solamente se identifiquen los siguientes: Asturias, Cataluña, Valencia, Granada y Andalucía. El tamaño menor se usa para localizar las numerosas ciudades, que son representadas mediante un signo convencional coincidente en la mayoría de ellas: un pequeño edificio con un circulito amarillo en su interior, tan brillante que parece iluminarlo. El listado de tales enclaves manifiesta la importancia histórica de todos ellos, aunque se eche en falta alguno tan significativo en aquella época como el Monasterio del Escorial recientemente construido.

La fiabilidad geométrica de esta representación peninsular es menor que la del mapa previo de Ortelius (1570), pues se trata de una generalización del mismo; la simplificación llega al extremo de eliminar del sencillo marco que lo encierra la doble escala de longitudes y latitudes. No obstante conserva algunas de las virtudes de aquel, como es la de romper definitivamente con las imágenes previas tan influenciadas por los controvertidos mapas de Tolomeo. Siguen presentes, en buena lógica, demasiadas inexactitudes puesto que todavía permanecía sin resolver el problema de la longitud geográfica (echar el punto), fácilmente observables en el exagerado desplazamiento hacia el Este del litoral catalán. La determinación de las latitudes todavía estaba lejos de los éxitos que se lograrían en el siglo XVIII, lo que se traduce en un mal posicionamiento para muchas de las ciudades. Ello no es óbice para que se pueda afirmar que el perímetro peninsular<sup>5</sup> ya se asemeja al real, a pesar de no haberse podido apoyar su dibujo en las todavía incipientes triangulaciones geodésicas. Igualmente elogiable es la imagen que se ofrece de la red hidrográfica, aunque solo se rotulen dos de sus ríos en las proximidades de su desembocadura: Duero y Tajo.

Aunque el mapa sea esencialmente planimétrico, es decir que se hace abstracción del relieve, ha de subrayarse el intento de representar el de la cordillera pirenaica recurriendo al procedimiento ancestral de los perfiles abatidos; en cambio se dejan de lado otros detalles orográficos como Sierra Nevada o Sierra Morena, cuyas imágenes si figuraban en el original de Ortelius. El colorido del cuadro geográfico no puede quedar al margen de este apretado comentario, en el campo del mapa predomina el verde, cuya intensidad va palideciendo al aproximarse a las zonas centrales. Todos los ríos y sus afluentes tienen un ancho sensible de color azul grisáceo, que se transforma en azul brillante en las zonas marítimas; el litoral peninsular lleva un sombreado de apretadas líneas horizontales casi negras. Finalmente el recuadro de la cartela es bermellón, al igual que parte de la escala gráfica, en donde se alterna con un azul más pálido que el anterior. Con ese mismo color rojizo aparecen rellenos las dos islas más próximas a Mallorca, esta por el contrario aparece de amarillo intenso, al igual que los núcleos urbanos, tal como ya se dijo.





Philippe Galle y uno de sus grabados, el taller de impresión



El texto descriptivo se reparte casi a partes iguales, entre las páginas 18 y 19, en forma de un poema con siete estrofas y treinta y siete versos que se reproducen a continuación, primero en latín y después en castellano. No obstante vayan por delante algunas consideraciones al respecto. En primer lugar hemos decidido que la mejor traducción de Hispania debía ser España, en tanto que ese era el nombre con el que se conocía, por aquel tiempo, a esta parte de Europa en el resto del continente. Favolius es redundante al usar el topónimo "Gudianus Anas" ya que mezcla el romano con el árabe, que a su vez recoge al anterior: "Wadi-Anas". Equivocadamente se localiza con el nombre de Calpe al conjunto de Cazorla, Segura, las Villas, verdadero límite geográfico entre las cuencas atlántica y mediterránea. La inclusión en los versos del topónimo Andalucía<sup>6</sup> y la explicación que se da acerca de su origen merece la aclaración que se detalla en la nota de pie correspondiente.



Abraham Ortelius y Christoph Plantin, pintados por Peter Paul Rubens

*Taurino in terram protenso Hispania tergo  
 Assimilis, fluctu océano poene undique circuns  
 Cingitur, excepta qua parte orientia solis*



*Lumina et aurora formosa cubilia cernit,  
 Quaque Pyrenaei nimboso vértice montes  
 Divisos lato spectant discrimine Gallos:  
 Qui freta disturbant nivibus spumosa solutis  
 Cantabrica excelsae ad Baionae moenia, prisco  
 Tempore quae referut Vada dicta Augusta fuisse.  
 Bis septena suo regalia continet orbe  
 Regna, Duces septem ter; Cantaber ordine primo  
 Vascones adiunctos firmo sibi foedere vellet.  
 Tarracon ad Cingae declinas fluminis undas  
 Terminat undoso catalaunica limite regna:  
 Qua freta falcato turbans Balearica cursu  
 Annibus in numeris praeceps defertar Iberus,  
 Quattor et longa regiones terminat ora.  
 Amne Pelendonis descendens collibus amplo  
 Durius, irrigus Lusitanos terminat undis  
 Una parte: Alia latebrosis ecce cavernis  
 Millia per septem se occultans atque resurgens,  
 Occiduo Guadianus Anas sese aequore mergit,  
 Praeteriens tenui extremae curvamine Duras  
 Aurifer è medio, diti vicinus Vlispo  
 In mare prorumpit Tagus Auricoloribus undis  
 Ipseque in occiduum celso sub vertice Calpes  
 Labitur oceanum diverso tramite Betis,  
 Betis oliviferae linquens sua nomina térrae:  
 Aurea perspicuis intelligit vellera lymphis.  
 Quae post Vandalicis exhausta furoribus, uti  
 Vocibus est duris victorum saepe coacta,  
 Et Vandalicia vulgari nomina dicta,  
 Nunc Andaluçia est corrupta voce vocata.  
 Gens elata gravis et fastu plena superbo est,  
 Plena superstitione et anili vana timore,  
 Indolis egregiae, atque invicto robore praestans,  
 Doctrinae cupida, et saevis aptissima bellis.*

España se asemeja a una piel de toro extendida sobre la tierra, ceñida por todas partes por las olas del océano que la rodean excepto por la parte oriental por donde sale el Sol, y por donde, la nublada cumbre de los Pirineos, separando, miran a los Galos:

Las aguas que bajan de las majestuosas alturas de la Cantábrica con sus nieves espumeantes tenazmente corren las murallas de Bayona a la que en los viejos tiempos se aludía como Vados Augustos.

Catorce son los reyes que se contienen en todo su reino, Veintiuno sus duques, en primer lugar el cántabro, al cual firmemente el de los próximos vascones quiere unirse.

El límite de los reinos catalanes se contiene entre las olas de Tarragona y las aguas descendentes del río Cinca. Cuya costa, ciertamente, describe un arco en forma de hoz en las turbulentas aguas del mar balearico. El Ebro lleva aguas abajo a numerosos ríos de la cabecera cuyos amplios límites encierran cuatro amplias regiones.

De los altos puertos de los Pelendones baja el río Duero cuyas aguas riegan a los Lusitanos y los delimitan por una parte. Por otra se oculta y a las siete millas resurge a occidente el mismo e igual río Anas que traza más abajo una tenue y firme curvatura.

En el centro el cercano y aurífero Vlispo desemboca en el mar Tajo con sus doradas olas.

Y del mismo modo, a occidente, bajo las altas cumbres de Calpe se desliza el Betis a otra parte del océano, el Betis cuyas aguas dan nombre a su tierra llena de olivares: tierra que sabe apreciar perfectamente sus maravillosas lanas.

La cual tierra, exhausta por el furor de los Vándalos, y

varias veces sometida, usó las palabras de éstos y fue llamada vulgarmente Vandalicia y ahora, por corrupción de la voz, es llamada Andalucía.

Gente altamente soberbia y altanera difícil de resistir está llena de superstición y de viejos temores vanos, de índole egregia se presentan con la fortaleza invicta de un roble. Es gente de educación apasionada y muy apta para los rigores de las guerras.

1 Hugo Favolius (1523-1585) fue un médico holandés de ascendencia italiana, poeta y viajero que formó parte de una embajada de Carlos V a Estambul. El viaje iniciado en Venecia fue relatado después, mediante un poema, por el propio Favolius, dando cuenta exacta de los lugares y sucesos que había presenciado. El nombre de Favolius fue usado para identificar una de las ciudades (Flavolia) del mapa de Utopía realizado por Ortelius, quien asimismo lo cita como autor de otros mapas: *Belgii Veteris* y *Hodoeporicum Byzantium*. También se le atribuye otro mapa titulado *Tabula Nova Asia Minoris*.

2 Philippe Galle (1537-1612), miembro del mismo círculo religioso que Ortelius y Plantin, era un grabador eminente, artista, escritor, arqueólogo, orientalista y calvinista convencido. El fue colaborador decisivo en el Civitates de Braun y Hogenberg, además de responsable del éxito alcanzado por la primera edición de bolsillo (Epitome) del Teatro de Ortelius. Viajó a Francia, junto a Mercator, Ortelius y Hogenberg, y como todos sus compañeros dejó como recuerdo un "graffiti" en el dolmen de Poitiers. Galle fue el autor del conocido retrato de Ortelius, luego reproducido en las diferentes ediciones de su Teatro

3 Christophe Plantin (1520-1589), grabador real de Felipe II, era un francés que se afincó en Amberes. Su estrecha amistad con Ortelius y Mercator propició que aquella ciudad irradiara conocimientos cosmográficos. Allí poseía Plantin una tienda de mapas e instrumentos matemáticos, llamada en un principio "Gulden Eenhoorn" (El Unicornio dorado) y luego "Gulden Passer" (El Compás dorado), símbolo que presidía muchas de las obras que se editaban en sus prestigiosos talleres. Todas sus publicaciones se caracterizaron por su excelente tipografía, no en vano fue uno de los pioneros en el empleo de las planchas de cobre en lugar de los moldes de madera. El fue el editor de la famosa Biblia Políglota, financiada por el propio rey a pesar de contar con la firme oposición de la jerarquía eclesiástica.

De su prestigio como comerciante, da idea el hecho de que en el año 1560 obtuviera el monopolio para la venta de todos los mapas. Su gran influencia se refleja también en el retrato que le hizo Rubens, compañero de colegio de su nieto Baltasar I Moretus (autor del encargo). En el Museo Plantin - Moretus de Amberes se conserva gran parte de la maquinaria empleada en sus talleres.

4 El título es el mismo que el del mapa peninsular que había incluido Ortelius en su Teatro de 1570, aunque en este caso falte dentro del recuadro la palabra «descriptio» que si llevaba aquel; el error trató de subsanarse escribiéndolo como corrección fuera del referido marco.

5El levantamiento fiable del perímetro peninsular lo realizó Tofiño en el año 1778, permitiendo que se pudiese calcular la superficie encerrada por el litoral: 15762 leguas marítimas de 20 en grado. Recuérdese que el desarrollo de un grado, supuesta la Tierra esférica y de radio 6371 km, es del orden de 111'195 km.

6 La idea de que el vocablo Andalucía está asociado a los vándalos ya fue superada, aunque todavía no se sepa incuestionablemente cual es su verdadero sentido etimológico. Lo que si es cierto es que el topónimo procede del árabe "al Andalus", identificado desde el siglo VIII con parte de la Hispania romana. Una de las teorías más verosímiles que trata de explicar el significado real del término defiende que es de origen bereber y sinónimo de tierra fértil bien regada. Tampoco hay duda de que, tiempo después, el término llegó a identificar la totalidad del territorio peninsular, a medida que iba aumentando la extensión de las regiones conquistadas por el ejército invasor.





# BLOM

IMAGING THE WORLD



BLOM SERVICIOS DE GEOINGENIERIA

- Medio Ambiente y Forestal
- Gestión Urbana y Rural
- Infraestructuras
- Carreteras y Redes eléctricas
- Fondos de ayuda al desarrollo
- Defensa
- Catastro
- Telecomunicaciones



BLOM SERVICIOS DE INFORMACION

- Navegación Real y LBS
- Geo Búsqueda
- Servicios de Emergencia
- Servicios Inmobiliarios
- Gobierno Local y Regional

BloM Sistemas Geoespaciales, S.L.U.  
C/ Zurbano, 46  
28010 Madrid  
Tfno: +34 914 150 350  
Fax: +34 913 104 914  
Email: blom@blom.es  
Web: www.blom.es, www.blomasa.com



# REFLEXIONES EN TORNO A LAS PROPUESTAS DE AGRUPACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PAISAJES

Serrano i Giné, David - Servei de Gestió Evolució del Paisatge - Facultat de Geografia i Història - Universitat de Barcelona

## Resumen

Existe un buen número de propuestas relativas a la agrupación y organización de paisajes. Los trabajos más habituales hacen referencia a clasificaciones, que difieren unas de otras según el criterio rector que toman como referencia. Otras sugerencias de interés son las tipificaciones y tipologías de paisaje así como las taxonomías, algo menos frecuentes pero de gran interés conceptual.

**Palabras clave:** paisaje, clasificación, tipificación, tipología, taxonomía

## Abstract

There is an important number of proposals relative to grouping and organizing landscapes. The most popular approaches refer to classifications, that differ each other according to criterion taken as a reference; other suggestions of interest are typifications and typologies of landscape as well as taxonomies, may be less frequent but of great conceptual interest.

**Key words:** landscape, classification, typification, typologie, taxonomy

## 1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, la Convención europea del paisaje, firmada en Florencia el año 2000 y ratificada por España en 2008, define el paisaje como "cualquier parte del territorio, tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y/o humanos y de sus interrelaciones". Otras definiciones de paisaje adoptan enunciados algo menos generalistas, centrándose en algunos de los aspectos anteriormente anunciados como lo relativo al carácter natural, lo concerniente al carácter humano, las interrelaciones derivadas entre ambos o la misma dimensión espacial bajo la cual puede entenderse el conjunto (Figura 1).

Esta multiplicidad de consideraciones también se manifiesta en las metodologías y los planteamientos de estudio que adoptan autores y escuelas de trabajo (Cáncer, 1994). En este sentido, es interesante recordar la clasificación de Florencio Zoido y Franco Posocco (1998), que diferencia tres planteamientos distintos: uno primero, centrado en la dimensión espacial del paisaje y en su carácter objetivo; uno segundo, que fija interés en aspectos técnicos y de intervención; y un último planteamiento, preocupado por lo percibido y asimilado por el individuo, es decir, por la dimensión subjetiva. En cuanto a los planteamientos de carácter territorial, Arturo García y Julio Muñoz (2002) indican, a su vez, tres líneas de trabajo: la vía sumativa, que aplica al paisaje los principios del historicismo; la vía ecológica, que se centra en las relaciones entre el ser humano y el medio; y la vía sistémica, que concibe el paisaje de manera integrada y funcional.

Precisamente en cuanto a metodologías, también es notable el grado de diversidad existente. La distinción clásica de José Ramón Díaz de Terán (1988) separa los métodos

de carácter analítico de aquellos otros de carácter sintético. Más recientemente, Emilio Ramírez (2006) recupera y amplía esta clasificación, introduciendo conceptos relacionados con el inventario de datos, la delimitación de unidades y el uso de cuencas visuales, entre otros. Por lo común, la mayor parte de procedimientos fijan atención en el grado de homogeneidad del paisaje, de las unidades que lo componen o de los elementos que se pueden destacar en el seno de cada delimitación. Conviene tener presente, no obstante, que dicha homogeneidad puede hacer referencia a parámetros, elementos, energías o, en general, constituyentes que no siempre son coincidentes o se encuentran bien diferenciados. Además, como bien señala Guillermina Garzón (1988), la homogeneidad no debe entenderse como una uniformidad absoluta, sino como una abstracción gradual de cambios de intensidad. En efecto, la idea de "cambios de intensidad gradual" introduce el paso de una concepción continua a una concepción discreta del paisaje y, con él, a un buen número de clasificaciones de paisajes.

## 2. CLASIFICACIONES, TIPOLOGÍAS Y TAXONOMÍAS

La organización y agrupación de paisajes aparece con el objetivo de ordenar por clases distintos tipos de paisaje o, si se quiere, un mismo paisaje bajo distintos criterios de ordenación. Mediante este procedimiento es más fácil simplificar un paisaje o un conjunto de paisajes, determinar con mayor acierto sus semejanzas y diferencias, y también establecer sistematizaciones de distinto orden. Así pues, como apunta la obra referente de María de Bolos (1992: 63), este paso puede considerarse como "la etapa principal, y también como la primaria y previa, de cualquier estudio científico".

Las clasificaciones de paisaje más generalizadas son aquellas basadas en la selección y, si procede, la priorización de determinados elementos constituyentes. Éstos pueden tener, entre otros, cierto carácter representativo, singular o de determinado interés, motivo por el cual acostumbran a estimarse como criterios rectores. Este sería el caso, por ejemplo, de clasificaciones basadas en la estructura, la dinámica, la historia o, como veremos más adelante, la dimensión escalar del paisaje.

En un contexto parecido convendría situar las tipificaciones de paisaje, que tienden a ajustar a una norma o criterio común distintos paisajes más o menos semejantes y que, en sentido laxo, pueden asimilarse a estandarizaciones de paisajes. Las tipologías de paisajes, por su parte, responden a la necesidad de agrupar y clasificar las tipificaciones, es decir, los paisajes tipo. En esta ocasión, nos referiríamos a paisajes rurales o a paisajes tropicales, por citar únicamente dos ejemplos.



- *Entienden [Díaz Pineda et al.] por paisaje la parte fácilmente perceptible de un sistema de relaciones subyacente, el conocimiento del cual explicaría la coherencia y la cohesión de los elementos percibidos, pero que no es fácilmente accesible a la observación directa en su totalidad. Es posible distinguir entre un fenosistema, conjunto de componentes perceptibles en forma de panorama, escena o "paisaje" y un criptosistema o complemento de más difícil observación, que proporciona la explicación que falta para la comprensión del geosistema (González Bemádez, 1981)*
- *Una porción de espacio geográfico concreto que se ajusta al modelo geosistema (Bolós, 1981)*
- *El paisaje se concibe como un sistema territorial compuesto de componentes naturales, y también de complejos de diverso rango taxonómico. (Mateo, 1984)*
- *Landscape is a complex of relationship systems, together forming (also by virtue of its physiognomy) a recognizable part of the earth's surface, and is formed and maintained by the mutual action of abiotic and biotic forces as well as human action. (Zonneveld, 1995)*
- *La forma que adoptan los hechos geográficos, tanto físicos como humanos, sobre la superficie de la tierra; igualmente, las representaciones que de ellos tenemos, los significados que les otorgamos y los valores que les concedemos, de manera personal o colectiva. (Gómez Mendoza, 1999)*
- *El concepto paisaje asociarse a unha imaxe visual formada por un conxunto de elementos relacionados. (García y Gutiérrez, 2000)*
- *Porción de espacio concerniente a la escala de las actividades humanas. Viene definido por su heterogeneidad espacial y temporal, por las actividades humanas que en él se desarrollan y por su ambiente. (Burel y Baudry, 2002)*

Figura 1. Definiciones de paisaje propuestas por distintos autores

Las taxonomías, como su mismo nombre indica, atienden a una doble intención, ya que no solo clasifican sino que también jerarquizan. Ciertamente, una taxonomía debe contemplar la agrupación de paisajes bajo determinados criterios y, posteriormente, su ordenación en grupos ya clasificados; ello permite una reunión jerárquica según afinidades preestablecidas y de acuerdo a conjuntos cada vez más amplios. Siguiendo a Soledad y María Luisa López Fernández (1985), para que una clasificación cualquiera pueda considerarse taxonómica, conviene respetar determinados aspectos básicos:

- a) En una taxonomía es preciso que los elementos estudiados sean primero agrupados mediante alguna característica común, que los relaciona según criterios establecidos de antemano. Uno o más grupos (con caracteres compartidos) da lugar a un rango de agrupación con cierta homogeneidad, y suficientemente diferenciado de órdenes jerárquicos inmediatamente superiores o inferiores.
- b) Dichos órdenes jerárquicos inmediatos tienen que mantener su autonomía y, al mismo tiempo, dependencia para con sus semejantes dentro de la taxonomía.

c) Para que eso pueda acontecer de manera eficiente es necesario que los grupos sean excluyentes. Ello impide que un grupo pueda encontrarse al mismo tiempo en dos rangos; así se evita que un grupo altere la homogeneidad de un rango taxonómico y, simultáneamente, que cada rango taxonómico asegure la correcta selección de elementos dentro de cada grupo.

d) Por otro lado, la clasificación taxonómica debe ser abierta, de tal manera que en cualquier momento tanto se puedan crear nuevos grupos dentro de cada rango o nuevos rangos dentro de cada taxonomía.

e) Asimismo, la taxonomía debe ser natural, es decir, tiene que encontrarse de acuerdo con los criterios rectores de la disciplina en que se inserta.

### 3. DIVERSIDAD DE PROPUESTAS

Las distintas propuestas señaladas se configuran en torno a los objetivos de estudio, las características de los datos analizados y la naturaleza propia del lugar de trabajo. En determinados casos las agrupaciones pueden asemejarse a conjuntos más o menos estructurados y cohesionados, y en otros a jerarquías claramente definidas. Como es lógico esperar, se conoce un buen número de propuestas sobre el tema.

Un reciente trabajo de Emma Pérez-Chacón recopila las clasificaciones de mayor difusión (Tabla 1) diferenciando entre geosistema (es decir, un modelo teórico) y paisaje (es decir, una realidad concreta). Respecto este último, las principales distinciones se refieren a clasificaciones según el geosistema que lo constituye, dinámica, componente escalar y componente histórica.

Resulta curioso observar como una parte significativa de las clasificaciones se desarrollan tomando como criterio de referencia el espacio y, con mayor exactitud, la componente escalar del estudio; la recopilación de Emma Pérez-Chacón recoge las conocidas nomenclaturas de Cailleux-Tricart, de Georges Bertrand, de la escuela soviética, de la CSIRO australiana y de los estudios geocieníficos realizados en Gran Canaria y en las tres provincias del País Valenciano. Esta nómina se amplía con la aportación de Marc Antrop (1985), centrada específicamente en clasificaciones y jerarquías de paisaje basadas en razones de alcance espacial (Tabla 2.a, 2.b, 2.c y 2.d). En concreto, la selección realizada resume diecisiete clasificaciones (ideadas desde distintas perspectivas y mediante diferentes metodologías) y las vincula con las distintas denominaciones que reciben sus grupos constituyentes y el alcance espacial al que se refieren.

En otro orden de cosas, conviene hacer mención de las conocidas tipificaciones de paisajes, algo olvidadas en la actualidad, pero de gran interés didáctico y enorme sinteticidad. Entre los diversos ejercicios existentes cabe mencionar la conocida propuesta de Jean Demangeot (1989), así como la de Joseph Gentilli (1968), quizás de menor difusión. Por regla general estas propuestas se articulan alrededor de determinados elementos rectores, como el clima, por su gran papel unificador, o la vegetación, por su impronta fisiognómica; también René Lebeau (1983) realiza una propuesta similar tomando como punto de referencia las actividades agrarias.



tipo de clasificación	critorio de referencia	características
1: clasificación del geosistema	según la estructura:	naturales
	según su dinámica:	antrópicos: con predominio de subsistemas abiótico, biótico y antrópico
		estables; en progresión; en regresión
2: clasificación del paisaje	según el geosistema que lo constituye:	naturales:abióticos/ bióticos/ equilibrados
		antrópicos
	según su dinámica:	paisajes en "equilibrio"
		paisajes en progresion
		paisajes en regresión
	según su componente escalar: tendencia geosistémica	Cailleux-Tricart
		Bertrand: zona, dominio, región natural, comarca, geosistema, geofacies, geotopo
		Soviéticos-Bold's:zona, dominio, megageocora, macrogeocora, mesogeocora, geocora, microgeocora, nanogeocora
	según su componente escalar: tendencia Land System	CSIRO: land region, land system, land facet, land site
		geocientífico: ambientes, subambientes, sistemas, unidades
según su componente histórica	Bolos: precuaternario, cuaternario, históricos	
	Dansereau: (modo de producción e historia) indígena, recolector, agrícola, fabril, urbano, cibernético	
según dominancia de elementos estructurantes	elementos, estructura y dinámica (Bovet y Ribas)	
según su potencial de transformación	---	
según su funcionalidad	naturales, rurales, urbanos	

Tabla 1. Clasificaciones y taxonomías de paisaje. Fuente Pérez-Chacón (2002)

Escala	CSIRO (1957)	MEXE (1965)	PUCE (1970)	DOS (1962)
1:10 000	site	land element (variant)		
1:10 000	land	land	(terrain component)	
1:25 000	unit	facet		
1:50 000			terrain unit	land facet
1:100 000		land system	terrain pattern	
1:250 000	land system			land system
1:500 000	complex land system			
1:1 000 000				
1:10 000 000	compound land system	land region land province land division land zone	province	land región land province

Tabla 2a. Clasificaciones y taxonomías de paisaje. Fuente Antrop (1985)

Escala	Vinogradov (1962)	Bourne (1931)	Brink (1965)	Unstead (1933)
1:10 000		site	(element)	feature
1:10 000	facies		subfacet	
1:25 000	zveno			
1:50 000				
1:100 000	urochischa (land units)		facet	stow
1:250 000	mestnosti	región	recurrent land pattern (land system) (local-abstract)	tract
1:500 000	(land system)			
1:1 000 000				
1:10 000 000	landschaft		land region land province land division	

Tabla 2b. Clasificaciones y taxonomías de paisaje. Fuente Antrop (1985)



Escala	Wooldridge (1932)	Troll (1962) Schneider (1966)	Neef (1967)	Nakano (1963)
1:10 000	flats	Ökotoop	Ökotoop	land-form type
1:10 000		Fliesen-gefüge	Microcho re	series
1:25 000				
1:50 000				
1:100 000		naturräumliche Haupteinheit	Mesocho re	association section
1:250 000	facets	Gruppen naturräumliche Haupteinheiten	Macrchore	
1:500 000				
1:1 000 000				
1:10 000 000			Megachore	province

Tabla 2c. Clasificaciones y taxonomías de paisaje. Fuente Antrop (1985)

Escala	Snacken (1956)	Phipps (1966)	Zonneveld (1972)	Antrop (1981)	Howard & Mitchell (1980)
1:10 000	zone	site	ecotoop o site	geotoop	land element land clump
1:10 000	substreek		land facet	land facet	
1:25 000					land facet land catena
1:50 000					
1:100 000		structure locale			
1:250 000	streek streek-familie	structure régionale	land systeem Landschaft	land system regio	land system (simple)
1:500 000					land región
1:1 000 000					land sub-province
1:10 000 000	land				land province land division land zone

Tabla 2d. Clasificaciones y taxonomías de paisaje. Fuente Antrop (1985)

#### 4. REFLEXIONES FINALES

Las distintas propuestas para organizar y agrupar paisajes son una buena muestra de la diversidad de planteamientos que se desarrollan en torno a los estudios de paisaje; como también se ha notado, esta práctica permite forjar sólidamente las bases teóricas y epistemológicas de la disciplina.

La clasificación acostumbra a ser la manera más elemental de organizar uno o varios paisajes a partir de determinados criterios de referencia, que acostumbran a estimarse como criterios rectores. Entre éstos, uno de los que mayor atención ha suscitado ha sido el alcance territorial, es decir, la dimensión escalar del paisaje. Cuando a clasificaciones de este tipo se les agregan otros procedimientos de categorización, como la estructura, la dinámica o el predominio de elementos y energías, es fácil encontrar un vín-

culo entre concepciones de paisaje de lógicas continua y discreta que, en efecto, terminan configurando clasificaciones de tipo taxonómico.

Las sistemáticas taxonómicas se basan en unidades mínimas de referencia, que se contienen unas a otras y forman unidades de rango superior, a través de una agregación que puede realizarse por contigüidad o por yuxtaposición de unidades de orden inferior. Los criterios de agregación, en principio, se corresponden con los de delimitación de las unidades que, a su vez, responden a los objetivos y criterios de cada ejercicio en particular; la superficie de las unidades mínimas e, indirectamente, las unidades agregadas, tienen que responder al grado de detalle del estudio. La escala de trabajo y, eventualmente, de la cartografía resultante ha de ser proporcional al grado de detalle de las unidades establecidas; de manera consecuente las unidades agregadas también deben responder a estos parámetros de escala y criterios rectores. Es bien lógico, en palabras de Olivier Dollfus (1970: 89): "en changeant d'échelle, on change de nature et pas seulement de dimension".

Esta concepción compartimentada del paisaje acostumbra a ejemplificarse con la estructura de las populares matrioska, o muñecas rusas. Su nacimiento se explica a partir de la labor Vasily Dokoutchaev, que transpuso las ideas holísticas de la edafología al estudio del paisaje, sugiriendo su identificación con la de un "complejo natural territorial". La influencia de la Teoría general de sistemas de Bertalanffy reforzó esta concepción que, ya madura, facilitó la aparición del concepto "geosistema". En 1963 Víctor Sochava propuso estudiar el paisaje como un sistema, de tal manera que "les géosystèmes sont des systèmes naturels, de niveau local, régional ou global, dans lesquels le substrat minéral, le sol, les communautés d'êtres vivants, l'eau et les masses d'air, particuliers aux diverses subdivisions de la surface terrestre, sont interconnectés par des échanges de matière et d'énergie, en un seul ensemble" (Rougerie y Beroutchachvili, 1991:59).

Las clasificaciones y taxonomías del paisaje, sean del tipo que sean, y el establecimiento de tipificaciones y tipologías no debe entenderse de manera excluyente, sino más bien complementaria; de hecho el propósito de cada ejercicio es solucionar determinados aspectos problemáticos o deficitarios no contemplados en otras propuestas. Es por ello que los esfuerzos a realizar deben dirigirse hacia el establecimiento de agrupaciones y organizaciones de paisaje perfectibles entre sí y, especialmente, fáciles de comparar y extrapolar a ámbitos de estudio bien diferenciados.

Finalmente, no conviene olvidar la importancia epistemológica que estos ejercicios poseen en la conformación del marco teórico de la disciplina, la relevancia didáctica y divulgativa de algunas clasificaciones y tipologías de paisaje y, también, las implicaciones sociales y culturales que, como se sabe, se derivan en la construcción del imaginario colectivo.

#### AGRADECIMIENTOS

Durante el redactado de este artículo se ha contado con el apoyo institucional del Servei de Paisatge de la Universitat de Barcelona.



#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTROP, M. (1985) Télédétection et analyse du paysage. En BERDOULAY, Vincent; PHIPPS, M. Paysage et système. Éditions de l'Université d'Ottawa, Ottawa. pp: 125-138.

BOLÒS de, M. (1981) Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. Revista de Geografía (15) pp: 45-68.

BOLÒS de, M. (dir.) (1992). Manual de Ciencia del paisaje. Masson: Barcelona.

BUREL, F.; BAUDRY, J. (2002) Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones. Mundi-Prensa, Madrid.

CÁNCER, L. (1994) Aproximación crítica a las teorías más representativas de la Ciencia del Paisaje. Geographica (31), pp: 17-30.

DEMANGEOT, J. (1989) Los «medios» naturales del globo. Masson, Barcelona.

DÍAZ DE TERÁN, J. R. (1988) Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas. En AYALA, F.J.; JORDÀ, J. (eds.) Geología ambiental. IGME, Madrid.

DOLLFUS, O. (1970) L'espace géographique. Presses Universitaires de France, París.

GARCÍA, C.; GUTIÉRREZ, X. (2000) A paisaxe. Caderno de educación ambiental para o estudio e a interpretación da paisaxe. Venus, A Coruña: Venus.

GARCÍA ROMERO, A.; MUÑOZ JIMÉNEZ, J. (2002) El paisaje en el ámbito de la Geografía. UNAM-Instituto de Geografía, México D.F.

GARZÓN HEYDT, G. (1988) Geología y zonificación de unidades territoriales. En AYALA, F.J.; JORDÀ, J.F. (eds.) Geología Ambiental. IGME, Madrid.

GENTILI, J. (1968) Landscape. En The Encyclopaedia of Geomorphology. New York: Reinhold, New York.

GÓMEZ MENDOZA, J. (dir.) (1999). Los paisajes de Madrid: naturaleza y medio rural. Alianza-Fundación Caja Madrid, Madrid.

GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1981) Ecología y paisaje. Blume, Madrid.

LEBEAU, R. (1983) Grandes modelos de estructuras agrarias del mundo. Vicens-Vives, Barcelona.

LÓPEZ FERNÁNDEZ, S.; LÓPEZ FERNÁNDEZ, M. L. (1985) Geografía-Paisaje-Taxonomía. Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra. Serie Botánica, (5), pp: 23-44.

MATEO, J. (1984) Apuntes de geografía de los paisajes. Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana.

PÉREZ-CHACÓN, E. (2002) Unidades de paisaje: aproximación científica y aplicaciones. En ZOIDO, F.; VENEGAS, C.. Paisaje y Ordenación del territorio. Junta de Andalucía-Fundación Duques de Soria, Sevilla pp: 122-135.

RAMÍREZ JUIDÍAS, E. (2006) Inventario y cartografía del paisaje. Mapping (114). Acceso en: [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=1350](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1350).

ROUGÉRIE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. (1991) Géosystèmes et paysages. Bilan et méthodes. Armand Colin, París.

ZOIDO, F. y POSOCCO, F. (1998) Política de paisaje: protección, ordenación y gestión. En ARIAS ABELLÁN, J. y FOURNEAU, F. (ed.): El paisaje mediterráneo. Le paysage méditerranéen. Il paesaggio mediterráneo. Universidad de Granada-Junta de Andalucía, Granada. pp: 155-166.

ZONNEVELD, I. (1995) Land Ecology. SPB Academic Publishing, Ámsterdam.



**La Tienda Verde**

**LIBRERÍA ESPECIALIZADA**

**CARTOGRAFÍA**

**LIBROS Y GUÍAS DE MONTAÑA, NATURALEZA Y VIAJES**

**DISTRIBUIDORA DE CARTOGRAFÍA Y LIBROS DE MONTAÑA**

C/ Maudes, 23 (Viajes y Naturaleza)  
Tel: 915 353 810 / 915 353 794 - Fax: 915 342 639  
C/ Maudes, 38 (Mapas y Libros de Montaña)  
Tel: 915 330 791 / 915 343 257 - Fax: 915 333 244

Distribución.  
Tel: 915 337 351 - Fax: 915 333 244  
Web: [www.tiendaverde.org](http://www.tiendaverde.org)  
e-mail: [info@tiendaverde.es](mailto:info@tiendaverde.es)





# Soluciones topográficas integradas Trimble



Geotronics Southern Europe, Distribuidor Oficial de Trimble Survey para la zona centro de España, le acerca las soluciones Trimble de más alta tecnología para obtener los mejores resultados en sus proyectos. La integración de tecnología, servicios y la posibilidad de la modulación de los sistemas Trimble, nos permiten acercarle la solución más adecuada a sus necesidades sin recurrir en gastos innecesarios y obtener los mejores resultados con la mejor relación calidad-precio.

**Venta de instrumentos topográficos y accesorios**



**Servicio de equipos y configuraciones en alquiler**



**Servicio técnico oficial autorizado Trimble**



**Servicio de soporte postventa y formación**



**Trimble**  
Distribuidor Autorizado

Geotronics, S.L. Calle Dublin, 1, planta 1ª, Polígono Európolis, 28230 Las Rozas (Madrid)  
Tel. + 34 902 30 40 75 - Fax. + 34 916 370 074 - [www.geotronics.es](http://www.geotronics.es) - [geotronics@geotronics.es](mailto:geotronics@geotronics.es)

 **Geotronics**



# VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL ARROYO DE SANTO TOMÁS, VIÑALES, CUBA.

Hermes Farfán González - Escuela Nacional de Espeleología "Dr. Antonio Núñez Jiménez".  
Sociedad Espeleológica de Cuba. Comunidad "El Moncada", Viñales, Cuba.

Yandy Rodríguez Cueto - Facultad de Geografía. Universidad de la Habana. Ciudad de la Habana.

Julio E. Díaz Sosa - Facultad de Geografía. Universidad de la Habana. Ciudad de la Habana.

## Resumen:

La salvaguardia de la calidad del agua subterránea, como una importante fuente de abasto para la población y el desarrollo económico, requiere de una atención especial dado el caso de que es relativamente fácil su contaminación y muy costosa y difícil su recuperación. En el caso de los acuíferos cársicos, el problema adquiere una dimensión mayor, debido a la gran heterogeneidad y anisotropía que lo caracteriza, tornándolos sumamente susceptibles a la contaminación, cuyos efectos son en muchos casos, difíciles de pronosticar y remediar, y donde una buena parte de los procesos de atenuación de contaminantes no resultan lo suficientemente efectivos. En tal sentido, las técnicas de cartografía de la vulnerabilidad a la contaminación son una herramienta muy útil a la hora de planificar adecuadamente el uso del agua y del suelo en sentido general, ya que son un medio de presentar las diversas propiedades de las hidrogeológicas complejas integradas de manera comprensible en áreas simbolizadas por diferentes colores, los diversos grados de vulnerabilidad (o protección natural). En el presente trabajo se muestran los resultados de la aplicación del método EPIK en la Cuenca del Arroyo de Santo Tomás como un primer acercamiento a la problemática.

Los resultados muestran la elevada vulnerabilidad a la contaminación del área.

**Palabras claves:** Cuenca del Arroyo de Santo Tomás, Vulnerabilidad a la contaminación, acuífero cársico, aguas subterráneas, método EPIK.

## Abstracts:

Safeguard the quality of the underground water, like an important supply source for the population and the economic development, requires of a given special attention due the case that it is relatively easy its contamination and very expensive and difficult its recovery.

In the case of the karst aquifer, the problem acquires a bigger dimension, due to the high heterogeneity and anisotropy that it characterizes. For this reasons, the karst aquifers are extremely susceptible to the contamination, and the effects are in many cases, difficult to predict and remedy, and where a good part of the processes of attenuation of pollutants is not the sufficiently effective. In such a sense, the cartography techniques of the vulnerability to pollutions are a very useful tool when planning the use of the water appropriately and of the floor in general sense, since they are a means of presenting the diverse forms, the integrated complex hydrogeologies properties in a comprehensible way in areas symbolized by different colors, the diverse vulnerability grades (or natural protection). Presently work the results of the application of the EPIK method is shown in the Santo Tomás watersheds like a first approach to the problem. The results show the high vulnerability to the contamination of the area.

**Key words:** Santo Tomás watersheds, vulnerability to pollution, karst aquifers, underground waters, EPIK methods.

## INTRODUCCIÓN.

Uno de los recursos máspreciado para la humanidad lo constituye el agua; el conocer su disponibilidad, calidad y medio más favorable para su explotación, es una tarea vital para el desarrollo de cualquier país. La salvaguardia de su calidad requiere de una atención especial, dado el caso de que es relativamente fácil su contaminación y muy costosa y difícil su recuperación. Por tal motivo, es de suma importancia la planificación de su explotación, a partir del conocimiento de las fuentes contaminantes, el peligro y riesgo a la contaminación, la vulnerabilidad intrínseca y específica de los acuíferos (Jiménez, 2006).

Las fuentes de contaminación del agua subterránea son muy variadas. En adición a las fuentes y procesos naturales, prácticamente cualquier tipo de estructura instalada por el hombre o su propia actividad física, causa eventualmente problemas en la calidad del recurso (Fig.1).

Como es de esperar, el carso no esta exento de estos fenómenos de estrés ambiental y deterioro de la calidad del agua, como recurso indispensable para el desarrollo económico y la vida. Los acuíferos cársicos son extremadamente susceptibles a la contaminación, y los efectos que esta desata son en muchos casos difíciles de pronosticar y remediar debido a la dualidad de los procesos hidrológicos que toman lugar en él, la estrecha relación entre las formas del relieve y el drenaje (superficial y subterráneo), la evolución hidrológica y el grado de actividad hidrológica del sistema cársico. Todo esto determina una alta heterogeneidad y anisotropía de los horizontes acuíferos (Molerio, 2002).

Jalonado por esto, el desarrollo de una densa red de drenaje en su seno provoca que los efectos de propaguen con gran rapidez y afectan muchas áreas aledañas, y en algunos casos, lejanas de las fuentes contaminantes. Como quiera que, el tiempo de residencia de los contaminantes en el carso es, con frecuencia muy corto y con una interacción limitada con el medio, puede que una buena parte de los procesos de atenuación de contaminantes, no resulten lo suficientemente efectivos. Las particularidades del medio cársico hacen todavía más complejo el problema. Tales complicaciones y especificidades, se detallan en el *Final Report de la COST Action 620* (Zwahlen, 2004).



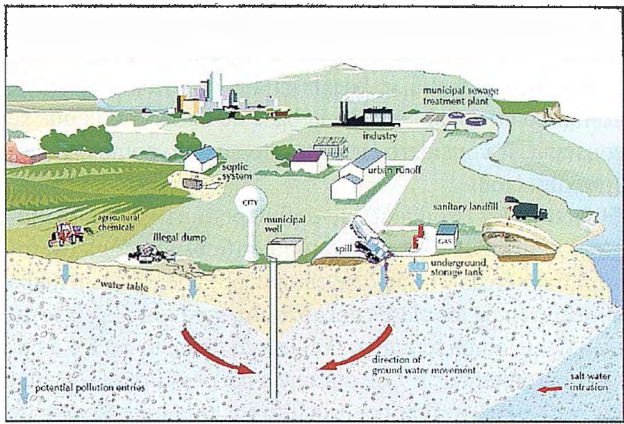


Fig. 1.- Diversas fuentes de contaminación en función de las actividades humanas (Zaporozec y Miller, 2000).

Los puntos más vulnerables a la entrada de contaminantes al carso, lo constituyen las zonas de absorción, y específicamente sus formas asociadas enlazadas directamente con el acuífero o a cavidades directas. Entre ellos, los sumideros (ponores) de corrientes alóctonas adquieren un carácter especial debido a que absorben la escorrentía superficial transportando grandes volúmenes de agua que penetran rápidamente en el acuífero y las respuestas a estos son, también, más o menos rápidas, en dependencia del estado inicial del sistema y de sus propiedades inerciales (Molerio, 2002).

La vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea es "una propiedad intrínseca de un sistema de aguas subterráneas que depende de sus sensibilidad a impactos humanos y/o naturales" (Zaporozec, eds. 2002), y se relaciona con la capacidad de autodepuración de las aguas subterráneas del acuífero en cuestión.

### BREVE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA DEL ÁREA.

La Cuenca del Arroyo de Santo Tomás (CAST), forma parte de la Sierra de los Órganos con un desarrollo excepcionalmente típico de un carso tropical residual en rocas calizas jurásico-cretácicas, desarrollándose fundamentalmente sobre las unidades de manto escamas, denominadas *Infierno* y *Viñales* de la faja de los mogotes (Pszczólkowski,

1987), constituidas esencialmente por las formaciones Jagua y Guasasa. El tipo de carso de la región ha sido denominado como *Carso cónico en alturas complejamente plegadas y falladas, constituidas por series de potentes estratos de rocas carbonatadas y no carbonatadas* (Núñez, Panov y Stecl, 1965), en la que se desarrolla un relieve de montañas bajas cársico-denudativas del tipo estructurocastificadas y de mogotes en cadenas mogóticas (kegelkarst), poljes marginales y dolinas interiores, predominantemente colapsadas, extensos campos de lapiaz en sus más variadas dimensiones y morfologías y un amplio desarrollo del cavernamiento.

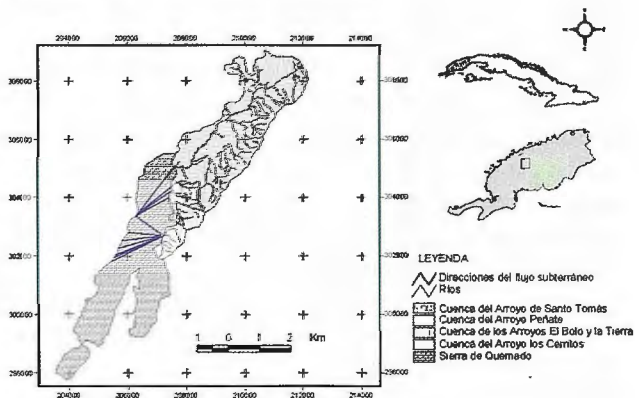


Fig.2.- Mapa de localización del área de estudio.

A su vez, la CAST forma parte de la Cuenca del Cuyaguaje, la mayor del occidente del país, y está compuesta por 5 subcuencas del tipo dendrítico asimétrico, representadas por los de los arroyos de Santo Tomás, el Bolo, Peñate, la Tierra y los Cerritos, que se integran en el interior de la Sierra de Quemado por vía concentrada a través de sendas cavidades transfluentes, absorbentes y de caudal alóctono para dar origen a la Gran Caverna de Santo Tomás (46 km), la mayor de Cuba.

La absorción principal es la alóctona, y se realiza por la vertiente absorbente, ubicada al Este de la sierra, como característica muy peculiar, ya que en el resto de los macizos de la Sierra de los Órganos, esta vertiente se encuentra al sur. Las redes fluviales cortan transversalmente el Valle

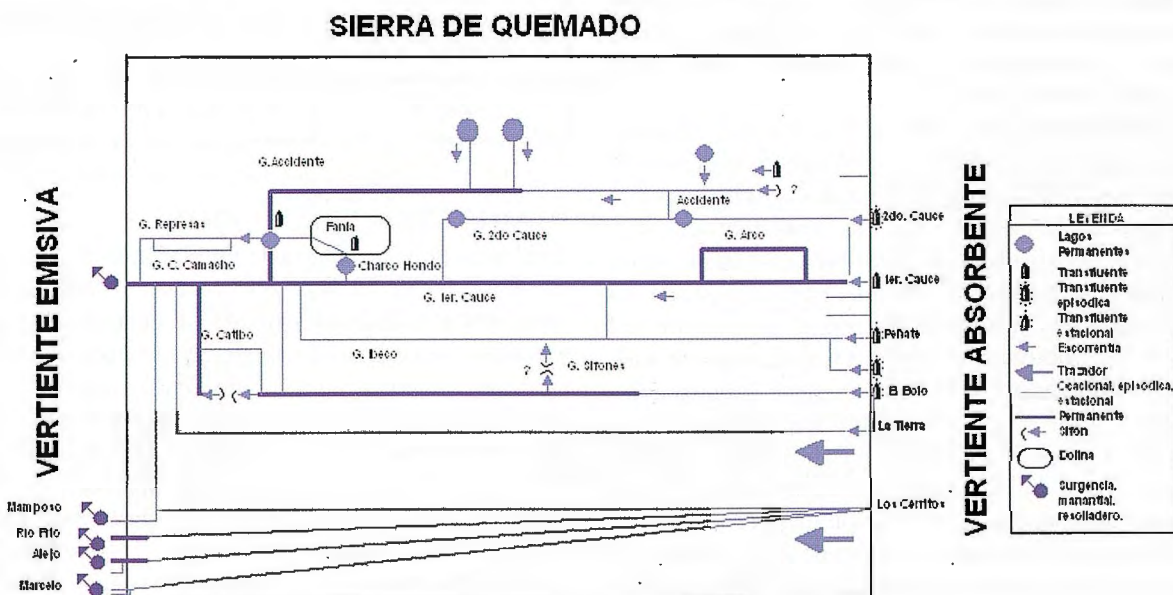


Fig. 3.- Modelo de caja negra de la Sierra de Quemado (Aldana et al, 2007).



del Moncada, siendo este un polje marginal o de contacto. En la parte alta de la subcuenca del arroyo de Santo Tomás, se aprecian rasgos marcados de fluvio-carso, donde se combinan los efectos de la erosión fluvial y los procesos de carsificación, estableciéndose la red fluvial solamente a lo largo del contacto entre estas, en dirección longitudinal. Sobre estas se desarrolla la mayoría de la actividad socio-económica de la región, por lo que en ellas se encuentran los principales escenarios de peligro y riesgo a la polución de las aguas tanto superficiales como subterráneas. La recarga autóctona es menos significativa, aunque en épocas de lluvias se activan conductos que presentan una rápida respuesta ante el estímulo. Molerio (2005), definió mediante balance de cloruros, que la tasa de recarga anual para el sistema puede ser tan alta como del 90 % de la lluvia media anual, con un mínimo del orden del 70% que, en cualquier caso, representan valores elevados pero que pueden explicar el desarrollo de fenómenos internos de mezcla de aguas autóctonas y alóctonas y el de la variedad de espeleotemas y el notable revestimiento secundario que exhibe el sistema subterráneo.

La descarga principal se realiza por el resolladero del río Santo Tomas, a la cual se integran todas las corrientes alóctonas en cierto momento. El arroyo los Cerritos también descarga por el río Frío, y los Manantiales de Alejo y Mamposo, cuya conexión hidráulica detectada a partir del ensayo de trazadores. La descarga es predominantemente concentrada.

### VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. MÉTODO EPIK.

Los mapas de vulnerabilidad son un medio de presentar las diversas propiedades de las hidrogeológicas complejas integradas de manera comprensible. La aplicación de tales metodologías permiten la realización de mapas que representan, en áreas simbolizadas por diferentes colores, los diversos grados de vulnerabilidad (o protección natural), por lo que se hace más tangible la interpretación, y puede ser usado como una herramienta práctica para la planificación del uso de la tierra, basado en la división en zonas de protección y valoración del riesgo. La ventaja de tales definiciones cualitativas y descriptivas es que el término vulnerabilidad es a menudo entendido intuitivamente, particularmente por los tomadores de decisión en el proceso de la planificación (Zwahlen, 2004).

La cartografía de la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas de la CAST, se realizó siguiendo el modelo paramétrico EPIK (DOERFLIGER & ZWAHLEN, 1998; Doerfliger et al., 1999; Tripet, et al, 2000; Barrocu et al., 2007), el cuál considera cuatro factores a los cuales se les asigna un peso específico y un valor para cada una de sus manifestaciones. Los factores son: E (desarrollo del epikarst); P (cubierta protectora); I (condiciones de infiltración); y K (desarrollo de la red cársica). Tal metodología asume cuatro clases de vulnerabilidad que a su vez, se traducen en zonas de protección que atienden a la Regulación Ambiental Suiza (Tripet, et al, 2000). Debido a su sencilla aplicación y caracterización de sus índices, este muestra algunos problemas a la hora de análisis de la vulnerabilidad, los cuales se resumen en (Goldscheider, 2002). No obstante, es una metodología muy utilizada en los últimos tiempos, principalmente porque fue desarrollada para

acuíferos cársicos, y toma en consideración sus propiedades intrínsecas, lo cuál ha dado al pie con el desarrollo de varios métodos que se basan en sus criterios originales. Tomando en consideración la base de datos con la que se constaba, se consideró ensayar este método como primera aproximación.

El factor "E" (Epikarst), se define por análisis morfo-lógicos realizados a los mapas topográficos, geológicos, fotografías aéreas y trabajo de campo, obteniéndose un mapa que diferencia las clases del atributo, mediante la elaboración de un mapa temático con la ayuda de un SIG. La cubierta protectora "P", se obtiene a partir del mapa de suelos, y el mapa geológico, este último, para la presencia de depósitos cuaternarios que sobreyacen el acuífero en cuestión. El espesor del suelo es el elemento para la definición de clases, debido a que esta directamente relacionado con el tiempo de residencia del agua (Doerfliger et al., 1999). Las condiciones de infiltración "I", están dadas por la dualidad de la recarga, y su subdivisión en concentrada y difusa, dependiendo del escurrimiento superficial, los puntos de recarga concentrada, la pendiente y la vegetación. Como último factor, el desarrollo de la red cársica "K", que junto al grado de organización del acuífero juegan un importante rol en la velocidad del flujo, las áreas que se afectan y por supuesto, en la vulnerabilidad del acuífero. Para su caracterización, los datos espeleológicos, de test de trazadores, así como los análisis de series temporales, son de valuable importancia.

La cuantificación y evaluación de la vulnerabilidad se realiza mediante la aplicación de una ecuación, obteniéndose mediante la ayuda del SIG, el factor de protección  $F_p$ , definiéndose las clases de vulnerabilidad como (Tabla 1):

$$F_p = 3E + P + 3I + 2K$$

Clases de Vulnerabilidad	Factor de Protección
Muy Alta	$F \leq 19$
Alta	$19 < F \leq 25$
Moderada	$F > 25$
Baja	$F > 25; P=P4; I=3,4$

Tabla 1.- Clases de Vulnerabilidad de acuerdo al factor de protección "Fp".

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el área, las zonas de vulnerabilidad muy alta representan el 58.04 % del área, y se asocian al desarrollo del carso desnudo, en las montañas bajas del tipo de mogotes y alturas ruiformes, donde se ha instalado extensos y agresivos campos de lapiés (karrenfield) y un gran número de dolinas (predominantemente colapsadas), que en algunos casos se enlazan con los niveles activos o estaciones de las aguas subterráneas. En estas áreas, el desarrollo del epicarso es muy notable, mientras el suelo es poco desarrollado y en la mayoría de las ocasiones inexistente, y donde la red cársica ha encontrado su mayor manifestación, instalándose grandes sistemas de cavernas. En estas zonas también se encuentran los principales puntos de ab-



sorción de la recarga alóctona, constituidas por los sumideros las cavidades absorbentes, transfluentes de caudal alóctono que conforman el sistema subterráneo.

El 26.29 % lo ocupa la baja vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de las Alturas de pizarras, debido a que estas constituyen acuíferos esencialmente

sin recursos de agua subterránea, y al igual que las zonas de vulnerabilidad moderada el desarrollo de la red cársica y del epicarso toman los máximos valores (mayor valor = ausencia de vulnerabilidad).

### CONCLUSIONES GENERALES.

El concepto de vulnerabilidad a la contaminación y las técnicas para su cartografía, han mostrado ser un concepto alternativo para la planificación del uso del suelo y el agua, mediante la evaluación de las características intrínsecas de un sistema acuífero y subdividiendo a este, en varias unidades que muestran diferentes grados de protección. Los escenarios de peligro y los riesgos a que está sometido el sistema acuífero, lo condicionan las condiciones climáticas, los usos de la tierra y el agua y la estructura económica (Molerio, 2002). Por tanto, y por la importancia de estos en nuestro país, se requiere de implementaciones más acertadas que muestren sus particularidades y que permitan la protección de la calidad de sus aguas.

Los resultados de la aplicación del método EPIK a la cuenca del arroyo de Santo Tomás como primera aproximación, han mostrado la elevada vulnerabilidad del área. Trabajos anteriores dirigidos al estudio de la capacidad de autopurificación, los procesos de retención y el coeficiente de consumo de oxígeno de las aguas subterráneas de la Sierra de Quemado, basándose en un ensayo con trazadores (Molerio et al 1995; Molerio, 2005), muestran el estrés a que están sometidas las aguas de ingreso. Estas presentan un alto grado de degradación de su calidad, con bajos valores de OD y altas concentraciones de NH<sub>4</sub>, pero, debido a la recreación de las cavidades, los valores de OD ascienden hacia la descarga, en dependencia de la época del año, y de las respuestas inerciales del sistema ante los eventos de recarga (Aldana et al., 2007).

Tal degradación se debe a que los principales escenarios de peligro a la contaminación de las aguas se encuentra en la parte baja de la cuenca, en los márgenes de la Sierra de Quemado (Farfán et al., 2008), donde se encuentran las áreas de vulnerabilidad muy alta y alta.

### BIBLIOGRAFÍA.

- Aldana, C.; H. Farfán; L. Molerio y M. Parise., 2007: *Self-purification capability of the course or underground water in tropic humid karst mountain. Result of a tracer experiment in the Gran Caverna de Santo Tomás*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 01841. EGU Assambly, Viena, Austria.
- Barrocu, G ; M. Muzzu & G. Uras., 2007: *Hydrogeology an vulnerability map (EPIK Method) of the "Supramonte" karstic systems, north-central Sardinia*. Environmental Geology 51 (5). 701-706.
- DOERFLIGER, N. & ZWAHLEN, F., 1998: *Practical Guide, Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK)*. – Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL): 56 p.; Bern.
- Doerfliger, N; P-Y, Jeannin & F. Zwahlen., 1999: *Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method)*. Environmental Geology 39 (2). 165-176.
- Farfán, H; C. Díaz; M. Parise; C. Aldana and M. Valdés.,

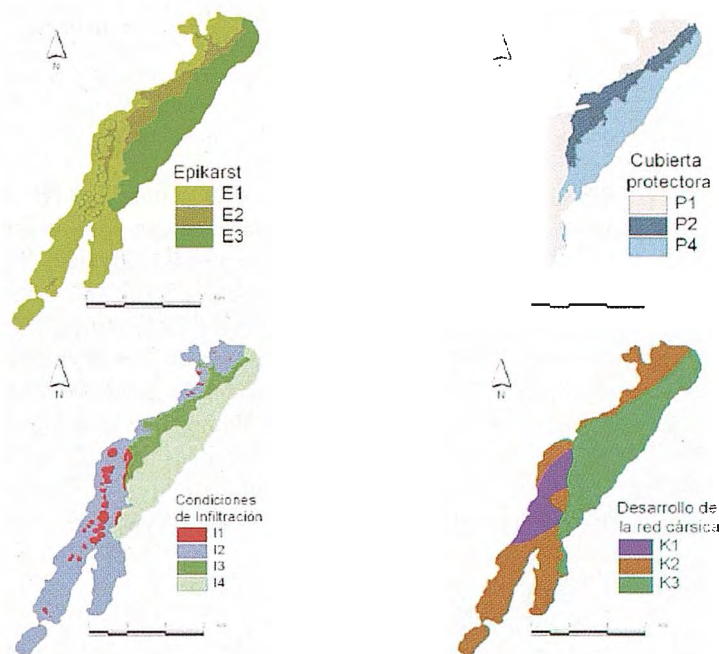


Fig. 4.- Mapas de los diferentes factores según el método EPIK para la cuenca del arroyo de Santo Tomás.

Las zonas de vulnerabilidad alta ocupan el 9.88 % del área de estudio y se asocian al Valle del Moncada (polje marginal), donde el desarrollo del epicarso está enmascarado por la presencia de sedimentos de cobertura cuaternarios y suelos con espesor entre 20 y 100 cm. El cavernamiento es pobre, y se conoce por perforaciones y estudios geofísicos recientes desarrollados en el área. En esta área es donde se desarrolla toda la actividad económica del área y por consiguiente los escenarios de peligro (Farfán et al., 2008).

La vulnerabilidad moderada ocupa el 5.77 % y se encuentra en el contacto entre los materiales no carsificables de las Alturas de Pizarras del Sur, el polje marginal y el macizo cársico de la Sierra de Quemado. El desarrollo del epicarso es incipiente, mientras en esa zona se encuentran formaciones de baja permeabilidad y suelos con espesores superiores a los 8 metros, predominando los procesos de escurrimiento superficial.

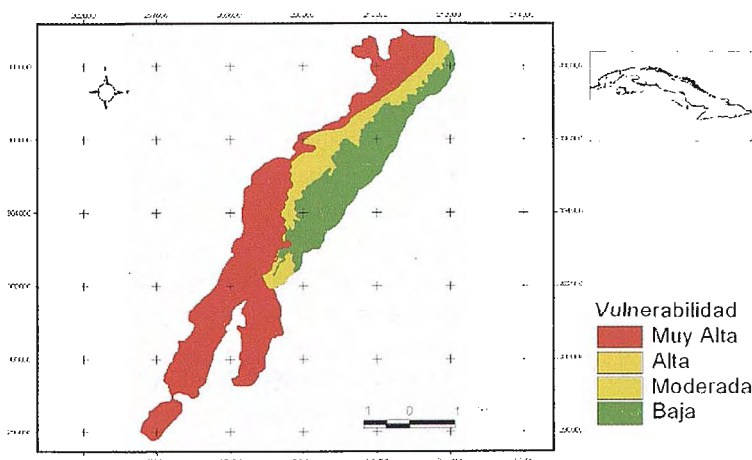


Fig. 5.- Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de la cuenca del Arroyo de Santo Tomás (Método EPIK).



2008: *Groundwater pollution scenarios in the watershed of the Arroyo Santo Tomas (Cuba)*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-01539, 2008. EGU Assambly, Viena, Austria.

Foster, S et al., 2002: Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Groundwater Management Advisory Team. WHO-PAHO-CEPIS y UNESCO-ROSTLAC-PHI. Banco Mundial Washington DC. p 127.

GOLDSCHIEDER, N., 2002: *Hydrogeology and vulnerability of karst systems, examples from the Northern Alps and Swabian Alb*. PhD thesis, Univ. of Karlsruhe: p 236.

Jiménez, S., 2006: Vulnerabilidad de acuíferos. 9<sup>mo</sup> CIASMA. INRH, La Habana. p 22

Kovacic, G and N. Ravbar (2003): *Karst aquifers vulnerability or sensitivity?* Acta Carsologica. 32/2. 307-314. Ljubljana.

Kovacic, G and N. Ravbar., 2005: *A review of the potential and actual sources of pollution to groundwater in selected karst areas in Slovenia*. Natural Hazards and Earth Systems Science 5, 225–233. Berlin.

Molerio León, Leslie F., 1981: Problemas hidrogeológicos del curso de montaña de Cuba. Voluntad Hidráulica (55):37-40.

Molerio León, L.F.; et al., 1995: Resultados de un Ensayo con Trazadores Artificiales en la Gran Caverna de Santo Tomás, Pinar del Río, Cuba. Congr. Internac. LV Aniv. Soc.

Espel. Cuba y Primera Reunión Iberoamericana, La Habana, 95

Molerio León, L.F et al., 1996: Aguas subterráneas en las zonas de montaña de Cuba. Voluntad Hidráulica, (86): 26-33.

Molerio, L., 2002: Indicadores de vulnerabilidad de acuíferos cársicos. Subprograma

XVII: Gestión de recursos hídricos. II Taller de Vulnerabilidad de Acuíferos. 8 pp. Molerio León, L. F., 2004: El enlace absorción-descarga de la Gran Caverna de Santo Tomás: evidencias derivadas de un ensayo con trazadores artificiales. Ing. Hídr. y Ambiental, La Habana, XXV (3): 22-26.

Molerio León, Leslie F., 2004b: Los Mogotes del Valle de Viñales, Monumento Nacional, Pinar del Río, Cuba. Mapping Interactivo. 15.

Núñez, A; V. Panov y O.Stelcl., 1965: Carsos de Cuba. Serie Espeleológica y Carsologica# 2. Academia de Ciencias de Cuba. p 47.

Ravbar, N., 2006: *Karst aquifers hazard assessment and mapping on the Classical* Karst. Acta geographica Slovenica, 46-2,169–189. Slovenija.

Ravbar N. & Goldscheider N., 2006: *Integrating temporal hydrologic variations into karst groundwater vulnerability mapping - examples from Slovenia*. – Proc. 8th Conference on Limestone Hydrogeology, Neuchâtel (Switzerland) 21-23 sep. 2006, p. 229-235. Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, France

World Health Organization., 2006: *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources*. Edited by O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton and I. Chorus. ISBN: 1843390795. Published by IWA Publishing, London, UK. p 678.

Petric, M & S, ebela., 2004: *Vulnerability mapping in the recharge area of the Korentan apring, Slovenia*. ACTA CARSOLOGICA 33/2. 151-168. Ljubljana.

Pszczółkowski, A., 1987: Contribución a la Geología de Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica. La Habana. p 225.

Rashed, K., 2006: *A limitation of using EPIK method to define protection zones for karst aquifers*. – Proc. 8th Conference on Limestone Hydrogeology, Neuchâtel (Switzerland) 21-23 sep. 2006, p. 223-228. Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, France

Tripet, J-P et al., 2000: *Vulnerability mapping in karst areas and its uses in Switzerland*. Acta Carsologica. 29/1. 163-171. Ljubljana.

Vías, J. M et al., 2006 : *Statistical comparison an control of diferent vulnerability mapping methods in Bauschlotter Platte aquifer (Germany)*. – Proc. 8th Conference on Limestone Hydrogeology, Neuchâtel (Switzerland) 21-23 sep. 2006, p. 263-266. Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, France

Zaporozec, A; Miller, J. C., 2000 : *Groundwater Pollution*. UNESCO, Paris, France, 24 pp.

Zaporozec, A (eds. 2002): *Groundwater contamination inventory. A methodological guide*. IHP-VI, Series on Groundwater No. 2. UNESCO. p 161.

Zwahlen, F., 2004: *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karstic) Aquifers*. Final report COST action 620.- European Commission, Directorate-General for Research, 297 p., Brüssel, Luxemburg.

## Noticias

### SOKKIA DITAC lanza al mercado español el nuevo Nivel Digital de Primer Orden SDL1X que reduce hasta un 40% el tiempo de trabajo

*El autoenfoque, el localizador para punterías rápidas y la mira de Invar de alta precisión, son tres de las principales novedades que presenta este Nivel Digital - El SDL1X define la vanguardia en nivelación digital de precisión*

SOKKIA DITAC lanza al mercado español el **Nivel Digital SDL1X**, diseñado para alcanzar una alta precisión y productividad en las aplicaciones de nivelación y cálculo de desniveles. Además de poseer la característica del Autoenfoque Inteligente y la posibilidad de su manejo de forma remota, se han implementado un elevado número de innovaciones tecnológicas para ofrecer una productividad sin precedentes, al mismo tiempo que se eliminan muchos factores de error existentes en las tareas de nivelación. El **SDL1X** define la vanguardia en nivelación digital de precisión.

#### Ocho datos relevantes

1. 0.2mm de Desviación Estándar (ISO17123-2)
2. Autoenfoque en la Gama Alta
3. Localizador para punterías rápidas
4. Control Remoto para manejo a distancia
5. Sensor de inclinación de doble eje que asegura una elevada precisión
6. Ranura para tarjeta tipo SD de memoria
7. Comunicación Bluetooth hasta 100m
8. Mira de Invar con un coeficiente de expansión lineal de tan sólo  $\pm 0.1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$

#### 0.2mm de Desviación Estándar

- El **SDL1X** alcanza los 0.2mm de Desviación Estándar si se emplea con la nueva mira de código de barras, original de SOKKIA, modelo BIS30A, que se caracteriza por tener el coeficiente de expansión lineal mas reducido del mercado:  $\pm 0.1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ .

- Con las miras de Invar normales puede arrojar una Desviación Estándar de 0.3mm.

#### Ahorro de hasta un 40% en el tiempo de trabajo

- El Autoenfoque y el Localizador para punterías rápidas reducen el tiempo de medición hasta en un 40%, comparado con los niveles digitales de enfoque manual.

#### Autoenfoque Inteligente

- El **SDL1X** se enfoca automáticamente y de forma exclusiva sobre las miras de código de barras, aumentando la productividad al eliminar los enfoques falsos sobre otros objetos.

#### Programas de Medición y Toma de Datos

- Los programas internos instalados soportan las mediciones de nivelación y la grabación de los datos según los siguientes procedimientos: VAVF, VAVFVFA, VAVFVFA, VAVFVFA, VAVFVFA.

- La tolerancia de las mediciones se puede fijar para cada anillo y comprobar la precisión en obra.

#### Configuración Básica

El **SDL1X Advanced** incorpora los siguientes elementos:

- Nivel Digital SDL1X (1 ud.)
- Batería BDC58 (1 ud.)
- Cargador CDC68 (1 ud.)





## *El conocimiento de hoy es la base del mañana*

MAPPING es una publicación técnico-científica con años de historia que tiene como objetivo la difusión de las investigaciones, proyectos y trabajos que se realizan en el campo de la Geomática y las disciplinas con ella relacionadas (Información Geográfica, Cartografía, Geodesia, Teledetección, Fotogrametría, Topografía, Sistemas de Información Geográfica, Infraestructuras de Datos Espaciales, Catastro, Medio Ambiente, etc.) con especial atención a su aplicación en el ámbito de las Ciencias de la Tierra (Geofísica, Geología, Geomorfología, Geografía, Paleontología, Hidrología, etc.). Es una revista de periodicidad bimestral con revisión por pares doble ciego. MAPPING está dirigida a la comunidad científica, universitaria y empresarial interesada en la difusión, desarrollo y enseñanza de la Geomática, ciencias afines y sus aplicaciones en las más variadas áreas del conocimiento como Sismología, Geodinámica, Vulcanología, Oceanografía, Climatología, Urbanismo, Sociología, Planificación, Historia, Arquitectura, Arqueología, Gobernanza, Ordenación del Territorio, etcétera.

*La calidad de la geotecnología  
hecha revista*



# ASTURGEO 09

## Un modelo combinado del geoide para el Principado de Asturias

Sierra Moreno, Manuel - Ing. Técnico Topografía

### Resumen:

Con la combinación de los modelos gravimétricos EGM08, IBERGEO08 y NIBGEO, y puntos obtenidos con técnicas GNSS para la altura elipsoidal (h) y para la altura ortométrica (H), la nivelación de alta precisión proporcionados por el I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional), se ha intentado modelar la mejor definición de la superficie del geoide para toda la extensión de la comunidad Autónoma del Principado de Asturias, tarea bastante peculiar dada la orografía tan abrupta de esta comunidad. Las precisiones que se han conseguido con esta combinación en los puntos dato GNSS/NIV es una desviación típica de 1.4 cm con una precisión relativa de 0.50 ppm, y por interpolación, en la totalidad del modelo fuera de estos puntos GNSS/NIV, se ha conseguido que la precisión sea menor a una desviación típica de 3.3 cm en el 72 % de toda la extensión y que en el 55% de la extensión sea inferior a 2 cm.

**Palabras clave:** Geoide, GNSS/NIVELACION, Modelos combinados

### 1. Introducción

Mientras nos aproximamos cada vez más al geoide centimétrico, muy demandado dado el incremento del empleo de las técnicas GNSS en nuestra profesión, y en otras ramas, que se apoyan en nuestros trabajos y con las que nos interrelacionamos cada vez más, seguiremos aplicando procedimientos (modelos gravimétricos, astrogeodesicos...) para conseguir la mejor representación de la superficie del geoide.

Con este trabajo se intentará conseguir la mejor definición de esta superficie en la extensión de la comunidad autónoma del Principado de Asturias. Para ello, se combinarán modelos gravimétricos calculados de gran resolución, disponibles de la zona y puntos obtenidos de manera más discreta mediante técnicas GNSS (h) y nivelación de alta precisión (H) en los que se han medido los valores de la gravedad, para conseguir, complementándolos, la mejor superficie del geoide posible, al comparar al ondulación obtenida del modelo gravimétrico y la obtenidas directamente con los datos GNSS/NIV. En resumen obtener las altitudes ortométricas con la misma precisión que la altura elipsoidal.

### 2. Métodos de cálculo del geoide

En los siguientes apartados se realizará una descripción muy somera sobre los distintos métodos para la obtención del geoide, se remite a textos más específicos para profundizar en los mismos, los cuales estarán mejor expresados y con más detalle. Solamente, se pretende dar a conocer un poco la evolución en los cálculos del geoide, siendo en algunos casos, técnicas que se pueden seguir empleando y en algún caso complementarse unas con otras en beneficio del conjunto. Después aplicaremos el procedimiento de

los modelos combinados paso a paso en la región del Principado de Asturias.

#### 2.1 Métodos astrogeodesicos

El primer método que se describe para la determinación del geoide, es el método astrogeodesico, una forma clásica que requiere una cierta complejidad en el empleo de instrumentos y que actualmente esta en desuso, aunque todavía se pueden emplear para calibrar geoides calculados por otros métodos o bien para complementarlos en zonas montañosas.

Es un método geométrico mediante técnicas astronómicas (obtención latitud, longitud, acimut) que emplea la dirección del vector gravedad, es decir, lo que se determina es la diferencia entre las normales al elipsoide y la línea de plomada (al geoide), esta diferencia se denomina desviación de la vertical  $\epsilon$ . Este valor esta formado por dos componentes en la dirección del acimut, representadas por  $\xi$  y  $\eta$ , y expresadas en coordenadas geográficas y astronómicas por:

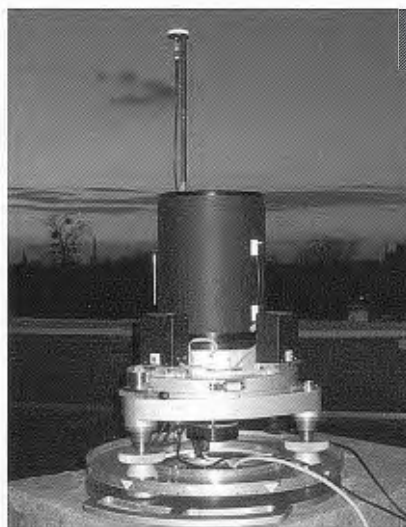
$$\xi = \Phi - \varphi \quad (2.1.1)$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \Phi \quad (2.1.2)$$

$$\epsilon = \xi \cos \alpha + \eta \operatorname{sen} \alpha \quad (2.1.3)$$

Para el cálculo de las observaciones astronómicas existen diferentes instrumentos ó medios:

- Teodolitos y cronógrafos precisos (TPR, DKM3, WILD T4, T3, T2...) de apreciación de segundo e inferiores, y actualmente, cámaras digitales cenitales (SISTEMA TZK2-D...), giroscopios, colimadores y técnicas GNSS.



Sistema TZK2



Y otros modos como:

- Medida de distancias cenitales.
- Uso de la balanza de torsión.
- Nivelación astrogravimétrica.
- Empleo de desviaciones topoisostáticas

## 2.2 Métodos gravimétricos

El segundo método que detallamos son los métodos gravimétricos, en los cuales se mide el valor de  $g$  sobre la superficie física de la tierra mediante gravímetros, valor al que aplicando reducciones al nivel del mar o nivel del terreno puede ser comparada con la gravedad normal referida a la superficie del elipsoide. Las diferencias entre estos valores son las anomalías de la gravedad o gravimétricas. Las reducciones que se aplican se diferenciarán dependiendo de la manera en la que se traten las masas topográficas situadas por encima del nivel del mar. (Anomalías aire-libre, Bouger, Isostáticas...).

Uno de los métodos gravimétricos más empleado es el conocido como eliminación-restauración, en el cual se eliminan los efectos producidos sobre el campo gravitatorio de las largas longitudes de onda de un modelo global y de las cortas longitudes, es decir, de la topografía, quedándonos unos valores pequeños y suavizados, de modo que se puedan interpolar con facilidad mediante técnicas de integración numérica (integral de Stokes) o por colocación mínimo cuadrática. Después se restauran la contribución de las largas longitudes de onda y de las masas topográficas (efecto indirecto) obtenidas a partir de los modelos globales.

Dentro de esta metodología existen 2 metodologías, el primero o convencional conocido como integración de Stokes-Helmert, en el que las medidas realizadas son reducidas al nivel del mar, eliminando las masas topográficas existentes entre el punto sobre el que se realiza la observación y el geoide mediante una condensación de las masas existentes sobre el geoide en una capa superficial en forma de lámina, denominada cogeode.

Resumiendo muy brevemente el modo de cálculo:

- cálculo de las anomalías de gravedad Helmert
- eliminación de la contribución de las largas longitudes de un modelo global, obteniendo las anomalías reducidas.
- creación de una superficie continua creando una malla de las anomalías reducidas.
- resolución de la integral de Stokes sobre la malla creada.
- para finalizar se restauran las largas longitudes de onda del modelo global y se calcula el efecto indirecto causado por la eliminación de las masas que conllevan las diferentes reducciones de la gravedad lo que cambia el potencial gravítico y con ello del geoide.

Para resolver este método por tanto se necesita un conocimiento de las densidades de las masas topográficas para que no haya masas por encima del geoide y para las reducciones de las medidas de la gravedad, el valor de la variación de la gravedad con la altura a lo largo de la línea vertical entre la superficie topográfica y el geoide, con lo que se vuelve a necesitar el conocimiento de las densidades de las masas a lo largo de esa línea vertical.

Para evitar esta dependencia del conocimiento de las densidades, aparece el segundo método, denominado moderno, es el método de Molodensky, en el cual las anomalías están referidas al nivel del terreno y no al geoide, es decir lleva el problema de la superficie del geoide a la superficie topografía real, para ello se crea una superficie auxiliar denominada teluroide, en la cual todo punto perteneciente a la misma tiene un potencial normal coincidente con el potencial real correspondiente a ese punto sobre la superficie terrestre en la misma normal elipsoidal. Con esto se pretende evitar las hipótesis concernientes a la densidad de las masas por encima del geoide al reducir las medidas de gravedad al nivel del mar.

La diferencia de alturas del mismo punto sobre las dos superficies, superficie terrestre y teluroide, se denomina anomalía de la altura (???Las anomalías de la altura toman el lugar de las ondulaciones del geoide. Y en el puesto de las alturas ortométricas aparecen las alturas normales ( $H^*$ ), obtenidas sin que sea necesaria ninguna hipótesis sobre la densidad de los materiales a partir de los números geopotenciales. Si llevamos esta anomalía de altura sobre la superficie del elipsoide obtenemos una nueva superficie denominada quasigeoide, que no es una superficie de nivel y no tiene significado físico alguno. La relación entre las ondulaciones del geoide y las anomalías de altura se puede expresar en función de la altura elipsoidal  $h$ , como se puede ver en la figura 1.

Al igual que en el modo anterior se resume el modo de cálculo en:

- cálculo de la anomalía de la gravedad residual, tras restar a las anomalías reducidas al aire libre las largas longitudes de onda del modelo global y las cortas longitudes correspondientes a la influencia de la topografía respecto a un modelo de terreno residual (mtr). El modelo residual del terreno está formado por las desviaciones de la topografía respecto a una superficie media elegida a partir de un bloque de una longitud determinada que se recomienda sea la mínima longitud de onda utilizada en el desarrollo en armónicos esféricos.
- Mediante colocación mínimo cuadrática se obtiene la anomalía de altura en el punto deseado, relacionando las anomalías de gravedad y anomalías de altura. Estos valores se relacionan con el potencial anómalo o perturbador  $T$  (diferencia de potencial de la gravedad real y de la gravedad normal) mediante las fórmula de Bruns con funciones lineales y su covarianza.
- resolución de la integral de Stokes aplicada a las anomalías aire-libre al nivel del terreno.
- para finalizar se restauran las largas longitudes de onda del modelo global y se calcula el efecto indirecto causado por la eliminación de las masas que conllevan las diferentes reducciones de la gravedad.

Las mayores fuentes de error de este tipo de modelos gravimétricos y que pueden crear sistematismos o deformaciones se basan en:

- Diferencias entre los datum horizontal y vertical empleados entre los diferentes datos (anomalías de gravedad, modelo del terreno y modelo global).
- Modelos del terreno poco precisos o con escasa resolución, sobre todo en zonas montañosas.



- Consideración errónea de la geología del terreno, es decir, de las densidades.
- Errores en los coeficientes de los armónicos del modelo global empleado. (errores de las largas longitudes de onda, truncamientos de los grados ...).
- Errores en el cálculo de las reducciones de la gravedad y con ello en las anomalías.
- Mala distribución y cobertura de las anomalías de gravedad en la zona de cálculo.
- Datos de la gravedad de diferentes fuentes (terrestres, satélites...) y con precisiones diferentes.
- Errores en la interpolación de las anomalías de la gravedad.

### 2.3 Métodos geométricos (GNSS/NIVELACION)

Estos métodos se basan en crear una superficie continua a partir de puntos en los cuales se tenga el valor de la ondulación del geoide directamente (N). Para obtener este valor, se necesita medir la cota ortométrica (H) obtenida por nivelación geométrica y la altura elipsoidal (h), mediante técnicas GNSS, en varios puntos distribuidos por el área elegida. La expresión que relaciona estas alturas despreciando la desviación de la vertical y la curvatura de la línea de la plomada, es:

$$N_{\text{gnss}} = h - H \cos \varepsilon \approx h - H$$

Este método suele emplearse en zonas de pequeña extensión, y es muy empleado en obra, con resultados muy satisfactorios. La observación de la gravedad en estos puntos es opcional dependiendo del área sobre el que se va aplicar o los medios que se tengan en cada caso.

Para crear esta superficie continua se pueden emplear diferentes opciones:

1. Las expresiones polinómicas empleadas normalmente, suelen tener pocos grados, ya que no se disponen de muchos puntos en los que se conozca la ondulación directa, suelen ser expresiones del tipo:

- plano:  $N = aX + bY + c$
- Bilineal:  $N = aX + bY + cXY + d$
- cuadrática:  $N = aX + bY + cX^2 + dY^2 + e$

Es importante destacar que el aumento en el orden del polinomio empleado en el ajuste puede crear superficies poco realistas aunque se ajuste mejor.

2. métodos de interpolación geoestadística o de malla rectangular.

- Krigging.
- Triangulación con interpolación lineal.
- Mínima curvatura.
- Inverso de la distancia ...

3. métodos basados en redes neuronales.

Por otro lado, comentar que las observaciones GNSS/NIV también poseen errores, que afectaran al valor de la ondulación directa:

- GNSS (h): geometría de los satélites, errores en los relojes, retardo troposférico, errores orbitas satélites, errores multipath, errores offset centro antenas, alturas antenas, carga atmosférica....

- Nivelación (H): errores de centelleo, vibraciones, verticalidad mira....

Con una metodología de medición y cálculo adecuada se pueden minimizar todos estos errores.

### 2.4 Métodos híbridos o combinados

En este apartado se considera el hecho de relacionar los métodos gravimétricos y los geométricos para la creación de un modelo combinado.

Generalmente los geoides gravimétricos poseen una buena precisión relativa y una resolución adecuada para trabajos en diferencial, pero su posición absoluta es pobre. Esto se debe a que no tienen una validez práctica, ya que las ondulaciones N obtenidas se refieren a un elipsoide ideal del que no se conocen sus valores numéricos y que pueden estar afectados de sistematismos como ya se comentó en el apartado de métodos gravimétricos.

Por otro lado, los modelos basados en GNSS/Nivelación/gravedad tienen una gran precisión absoluta, referida al nivel medio del mar de algún mareógrafo, en el caso de España al de Alicante. Sin embargo, tienen una densidad bastante pobre al igual que una distribución mala, principalmente por seguir líneas de nivelación, las cuales exigen para su densificación enormes esfuerzos.

$$N_{\text{gnss}} = h - H \quad (2.4.1)$$

Combinando ambos métodos conseguiríamos dar utilidad práctica al modelo gravimétrico, lo que se denomina «escalado del geoide», mediante un control externo que aporta las observaciones GNSS/NIVELACIÓN. Con esto el geoide resultante no será ni geocéntrico ni equipotencial pero se consigue un buen ajuste al geoide real en el área. Este modelo de geoide se puede considerar como local, ya que el sistema de referencia para las cotas ortométricas está referido no al geoide sino al nivel medio de un mar determinado por un mareógrafo variable para cada país normalmente.

Dentro de los métodos híbridos existen dos modos:

- Aplicación de una superficie correctora (SUPC) a las diferencias entre la ondulación directa y la ondulación del modelo gravimétrico para ajustar y hacer mínimas estas diferencias.
- Otro modo, en el cual que se introducen como observaciones en un ajuste de masas del punto, los valores de las anomalías de gravedad, los datos de la ondulación GNSS/nivelación de alturas del quasigeoide aplicando la técnica eliminar-restaurar y reduciendo las observaciones de las largas longitudes de onda de un modelo global.

En nuestro caso he empleado el primer método de combinación de modelos, creando esta superficie correctora. Este método se puede expresar de la siguiente manera:

$$N_{\text{gnss}} - N_{\text{gravimétrica}} = \text{residuos } (v_i) = \text{SUPC} + \text{residuos } (v_i) = \text{TX} + \text{SR} + \text{residuos } (v_i) \quad (2.4.2)$$

Esta superficie correctora esta compuesta por dos componentes, un modelo paramétrico o de tendencia, que denominaremos TX, que tiene como papel absorber las inconsistencias de los errores de los datos, es decir, de las ondulaciones del geoide del modelo del geoide (N), de los errores GNSS en la altura elipsoidal (h) y de los errores en la altura ortométrica propios de la nivelación (H).

Después de aplicar este modelo paramétrico a las ondulaciones del geoid gravimétrico ( $N_{gravimetrica} = N_{gravimetrica} + TX$ ), podremos relacionarlas ya con las ondulaciones directas ( $N_{gnss}$ ) y modelar estas diferencias mediante la creación de una superficie continua o malla que denominaremos **SR**, y que es la segunda componente de la superficie correctora. Para la obtención de esta malla se emplea alguno de los conocidos métodos de interpolación (spline cúbico, kriging, mínima curvatura, triangulación, inverso de la distancia...) o por colocación mínima cuadrática empleando funciones covarianza. Finalmente, nos quedaran unos residuos mínimos que llamaremos, ruido residual de la superficie correctora.

Finalmente, tendremos para resumir el proceso como expresión:

$$N_{combinado} = N_{gravimetrica} + TX + SR + \text{ruido} (v_i) \quad (2.4.3)$$

La elección del modelo paramétrico (**T**), no es trivial, desempeña un papel muy importante en el ajuste, muy influenciado por la densidad, distribución y calidad de los diferentes datos. Este modelo, es básicamente, una ecuación con un conjunto finito de parámetros (**X**) desconocidos que relacionan la con , y que se resuelve por mínimos cuadrados.

Para esta función de tendencia existen muchas y diferentes expresiones, entre las que destacamos:

- Polinomios de regresión de diferentes grados del tipo :

$$TX = \sum_{m=0}^m \sum_{n=0}^n (\varphi_i - \bar{\varphi})^m (\lambda_i - \bar{\lambda})^n x_q \quad (2.4.4)$$

donde  $\bar{\varphi}$  ,  $\bar{\lambda}$  son la latitud y la longitud media de los puntos GNSS/NIV, respectivamente, y contiene los coeficientes desconocidos. Como ejemplo de este tipo de modelos:

$$TX = a_1 + a_2(\varphi - \bar{\varphi}) + a_3(\lambda - \bar{\lambda}) + a_4((\varphi - \bar{\varphi})(\lambda - \bar{\lambda})) \quad (2.4.4)$$

- funciones trigonométricas del tipo:

$$TX = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j a_i \cos(i\lambda) \cos(j\varphi) + b_i \sin(i\lambda) \cos(j\varphi) + c_i \cos(i\lambda) \sin(j\varphi) + d_i \sin(i\lambda) \sin(j\varphi) \quad (2.4.5)$$

también estas dos funciones se pueden combinar creando modelos del tipo,

$$TX = a_1(\varphi - \bar{\varphi}) + a_2 \cos \bar{\varphi}(\lambda - \bar{\lambda}) + a_3 \quad (2.4.6)$$

con lo que se esta aplicando sobre el punto medio de la zona dos giros, uno en la dirección N-S y otro en la O-E y un desplazamiento constante.

- Existen otras funciones basadas en los modelos de transformación de 7 parámetros (si consideramos  $\Delta h = TX$ ) para los cambios de datum (traslación, rotación y escala) con todas sus simplificaciones , siendo **a** el semieje mayor del elipsoide ,**f** el aplanamiento y  $e^2$  la excentricidad:

3 parámetros o coeficientes (Traslación, ( $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ )), con lo que situamos el modelo gravimétrico en el área:

$$TX = \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + v \quad (2.4.7)$$

4 parámetros ( $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0, \Delta a$ ), si consideremos paralelos los dos sistemas, aplicamos la traslación y un factor de escala:

$$TX = \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + v \quad (2.4.8)$$

5 parámetros ( $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0, \Delta a, \Delta f$ ) igual al anterior pero en el que consideramos las diferencias en el aplanamiento en el factor de escala:

$$TX = \Delta a + \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + a \Delta f \sin^2 \varphi + v \quad (2.4.9)$$

y ,finalmente, 7 parámetros ( $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0, W_x, W_y, \Delta a, \Delta f$ ), en el que se consideran también los giros:

$$TX = \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + \Delta W_x \left[ \frac{\sin \varphi \cos \varphi \sin \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta W_y \left[ \frac{\sin \varphi \cos \varphi \cos \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta a \left[ \frac{1 - f^2 \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta f \left[ \frac{\sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] \quad (2.4.10)$$

Es necesario comentar que con estos coeficientes no representan un verdadero cambio de datum de manera rigurosa, ya que lo que estamos haciendo es intentar absorber con esta transformación las incoherencias de los datos de las diferentes fuentes ( $N_{gravimetrica}$  ,  $N_{gnss}$ ).

Para evaluar los resultados del modelo paramétrico y elegir cual es el mejor para el área y datos empleados, existen varios procedimientos:

- **Enfoque empírico clásico**, en el que se evalúa como mejor modelo aquel que minimice los residuos en el ajuste, fijándonos en los parámetros de la desviación típica del ajuste o del RMS.
- **Validación cruzada**, en la que se eligen unos puntos de control que no se emplean en el calculo del modelo y donde evaluamos las diferencias entre el valor predicho por el modelo y el proporcionado por el medido.
- **Bondad del ajuste**, en el cual mediante una medida estadística , o coeficiente de determinación, el cual se puede describir como el ratio entre la suma de los cuadrados de los residuos y la suma de los cuadrados de las diferencias con la media. Su valor ideal seria 1 para el modelo que haga el mejor ajuste. Se puede realizar gráficamente colocando en las ordenadas los valores de y en las abscisas los valores dados por el modelo, y ajustando una recta de regresión, la cual reflejara como mejor modelo aquel que tenga una pendiente más próxima a 1 y una ordenada en el origen próxima a cero.
- **Control del grado de significado o importancia de los coeficientes**, mediante el cual se controla la importancia y efecto de cada coeficiente en el ajuste y, con ello, intentar no emplear demasiados coeficientes en el ajuste. Entre estos procedimientos podemos destacar, eliminación de parámetros hacia atrás desde el menos significativo, el procedimiento de selección de parámetros hacia delante desde los de más grado de significación y procedimiento paso a paso que es una combinación de ambos.



En nuestro caso hemos empleado el procedimiento empírico clásico y la validación mediante puntos de control para la elección del modelo paramétrico.

### 3. Cálculo de un modelo combinado GNSS/NIV

En este apartado se describen los pasos que se han realizado para calcular un modelo combinado GNSS/NIV, a partir de los datos de las líneas de nivelación de alta precisión REDNAP, para la comunidad autónoma del Principado de Asturias. El proceso que se ha seguido se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Obtención y control de los datos GNSS/NIV de las líneas REDNAP.
2. Elección del modelo gravimétrico disponibles que mejor se ajuste al área de aplicación.
3. Elección y aplicación de una superficie correctora para ajustar el modelo gravimétrico a los puntos dato GNSS/NIV.
4. Evaluación y validación del modelo creado.

#### 3.1 DATOS GNSS/NIV

La obtención de los datos GNSS/NIV, se realizó a través de la página del IGN, en la que se encuentran las reseñas de las líneas de nivelación de alta precisión. En dichas reseñas aparecen los datos necesarios, es decir, la altura ortométrica  $H$  y en algunas señales de las líneas las coordenadas  $(\varphi, \lambda, h)$  medidas en estático rápido, en el sistema ETRS-89, y con ellas la altura elipsoidal que buscamos. De todas las líneas existentes se han seleccionado las que se encuentran en el área de influencia y que son las siguientes (FIG.2):

-Líneas 235, 237, 301, 302, 303, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 582 y 583.



Fig. 2: Líneas seleccionadas para la obtención de los datos GNSS/NIV

En la figura 2 podemos ver las líneas seleccionadas, se ha elegido estar por pertenecer a los polígonos más cercanos a la comunidad. La densidad de las señales es bastante buena entre 1-5 Km. no así su distribución ya que es a lo largo de líneas.

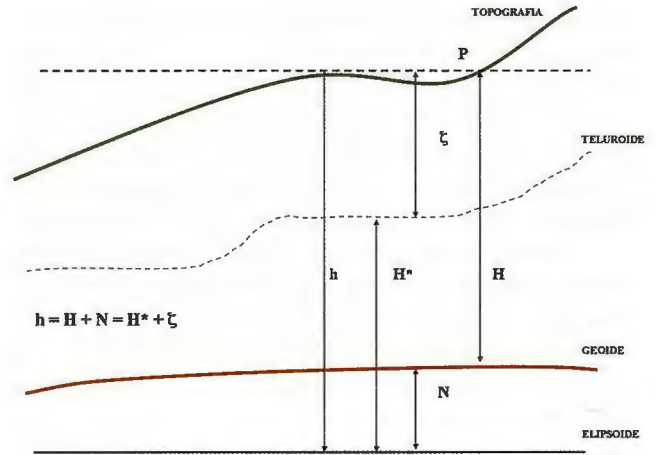


Fig. 1: Relación entre las distintas superficies.

Tras la obtención de los datos a través de las reseñas de las señales se comprobaron las ondulaciones directas con un modelo gravimétrico (IBERGE08) para comprobar si existían algún error grosero en las alturas elipsoidicas  $h$ , desechando las señales que ofrecían dudas por valores muy diferentes con las señales vecinas. En total se seleccionaron 987 señales a lo largo de todas las líneas para el cálculo del modelo combinado.

#### 3.2 ELECCION DEL MODELO GRAVIMETRICO

Ahora se tiene que elegir el modelo gravimétrico que mejor se ajuste a la zona. En esta selección podemos diferenciar modelos globales y modelos regionales o locales. Los modelos globales representan las largas longitudes de onda del potencial gravitatorio mediante coeficientes armónicos esféricos del potencial y abarcan toda la tierra, son calculados con combinación de datos gravimétricos terrestres y/o satélites. Para la zona hemos elegido de la variedad que hay, los modelos EGM08 (hasta grado 2190), EIGENC-05 (grado 360) y el GGM03C (grado 360).

Dentro de la península Ibérica, existen disponibles para la zona los siguientes modelos regionales:

- o IBERGEO06, que se extiende desde  $35^\circ$  a  $45^\circ$  en latitud y  $-10.5^\circ$  a  $5.5^\circ$  en longitud, en una malla de lados 2.17 km y 2.67 en latitud y longitud respectivamente con un total



de 262144 puntos en WGS84. (Sevilla et al., 2006), y toma como modelo global el EIGEN-CG03C.

o **IGG05**, que se extiende desde 35° a 44° en latitud y -10° a 4° en longitud, en una malla de 361x561 de lados 1.5'x1.5' y 202521 puntos en GRS80. (Corchete et al., 2005), y toma como modelo de geopotencial el EIGEN-CG01C.

o **NIBGEO**, modelo gravimétrico más local para el norte de la península ibérica, que se extiende 40° a 44° en latitud y -10° a 4° en longitud, en una malla de 161x561 de lados 1.5'x1.5' y 90321 puntos en GRS80. (Corchete et al., 2006) y emplea como modelo del geopotencial el EIGEN-GL04C.

La obtención de los valores de la ondulación de estos valores se ha conseguido de diferentes fuentes:

o Para los modelos globales, se obtuvo una malla de 1' x 1', de la página web del instituto GFZ-POTSDAM, con marea cero como recomienda la IAG, en la que posteriormente se interpola el valor buscado (987 señales) mediante un spline cúbico.

o Para los modelos IGG05 y NIBGEO, en la página personal del autor se pueden bajar programas para calcular los valores buscados.

o Para el modelo IBERGEO08, se descargo la rejilla colgada por el autor en la página web del Internacional Geoid Service y en la que se interpola los valores buscados mediante una función bilineal.

Con todos estos valores se ha creado una tabla 3.1 comparativa en la que podemos ver los datos estadísticos en los 987 puntos GNSS/NIV:

MODELO	EGM08	EIGEN-CG03C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.048	0.234	0.140	-0.055	0.333	0.552
$\sigma$	0.081	0.367	0.385	0.089	0.405	0.192
RMS	0.093	0.435	0.409	0.105	0.524	0.584
Mínimo	-0.151	-0.702	-1.199	-0.325	-0.500	0.119
Máximo	0.368	1.189	1.070	0.239	1.339	1.111

Tabla 3.1 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV en los 987 puntos

Los parámetros más significativos son el de la desviación típica y el RMS (raíz cuadrada del cuadrado de la media) y no el de media, ya que lo único que indica esta, es un salto constante entre el plano de referencia de las cotas ortométricas (nivel medio del mar en Alicante) y el origen del modelo global empleado en el cálculo del geoid.

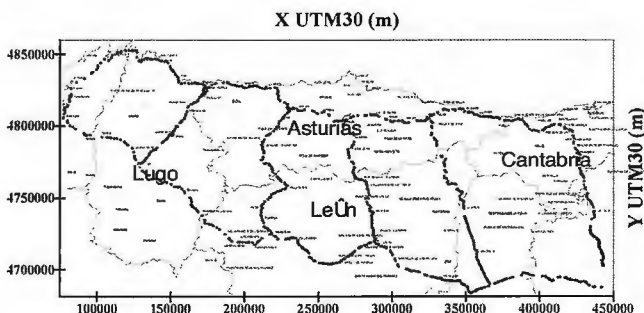


Fig. 3: 987 puntos seleccionadas para la obtención de los datos GNSS/NIV.

### 3.3 ELECCIÓN Y APLICACIÓN DEL MODELO PARAMETRICO (TX)

Los residuos obtenidos de la tabla comparativa 3.1 se pueden tomar como indicación de la precisión del modelo de

geoides seleccionado en la zona. Para absorber las incoherencias entre los datos aplicaremos un modelo paramétrico de la familia de la transformación de datums. Para la elección del mejor se comparan los siguientes tres modelos, el clásico de 4 parámetros (2.4.8), el de 5 (2.4.9) y el de 7 parámetros (2.4.10) y se aplican como criterios de selección el procedimiento de enfoque empírico y el de validación cruzada.

$$TX = \Delta a + \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + v \quad (2.4.8)$$

$$TX = \Delta a + \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + a \Delta f \sin^2 \varphi + v \quad (2.4.9)$$

$$TX = \Delta X_0 \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y_0 \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z_0 \sin \varphi + \Delta W_x \left[ \frac{\sin \varphi \cos \varphi \sin \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta W_y \left[ \frac{\sin \varphi \cos \varphi \cos \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta a \left[ \frac{1 - f^2 \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] + \Delta f \left[ \frac{\sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \right] \quad (2.4.10)$$

Con los 987 puntos se realiza un ajuste por mínimos cuadrados para el cálculo de los parámetros para cada expresión y modelo del geoid. Para ello se ha realizado una tabla en la que se muestran los resultados obtenidos (tabla 3.2):

MODELO GRAVIMETRICO						
4 PARAMETROS	EGM08	EIGEN-CG03C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\sigma$	0.074	0.361	0.371	0.058	0.374	0.177
RMS	0.074	0.361	0.371	0.058	0.374	0.177
Mínimo	-0.179	-0.930	-1.235	-0.221	-0.947	-0.457
Máximo	0.290	0.997	0.909	0.260	0.825	0.498

MODELO GRAVIMETRICO						
5 PARAMETROS	EGM08	EIGEN-CG03C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\sigma$	0.070	0.330	0.332	0.054	0.284	0.160
RMS	0.070	0.330	0.332	0.054	0.284	0.160
Mínimo	-0.192	-0.903	-1.088	-0.233	-0.958	-0.587
Máximo	0.271	0.990	0.901	0.243	0.629	0.416

MODELO GRAVIMETRICO						
7 PARAMETROS	EGM08	EIGEN-CG03C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\sigma$	0.069	0.229	0.257	0.051	0.264	0.149
RMS	0.069	0.287	0.286	0.051	0.264	0.149
Mínimo	-0.196	-0.725	-0.988	-0.240	-0.783	-0.458
Máximo	0.267	0.646	0.629	0.210	0.652	0.422

Tabla 3.2 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV en los 987 puntos después de aplicación de los diferentes modelos paramétricos.

En todos los geoides se puede apreciar una mejora tras la aplicación de cualquier modelo paramétrico, hecho que revela la desviación típica (el RMS, tiene prácticamente el mismo valor que la desviación típica al ser la media 0 y no se ha puesto en la tabla), que en algún caso a descendido a casi la mitad y el hecho que se ha eliminado el salto vertical que nos muestra la media y que ahora es cero.

Para la elección del mejor modelo según el procedimiento del enfoque empírico aparece el modelo IBERGEO08 con una desviación típica de 5.1 cm como candidato, que antes del ajuste tenía una desviación de 8 cm. Sorprende por otro lado, la precisión con la que se ha ajustado también el modelo global EGM08 pasando de 8,1 cm a 6.9 cm, una



precisión similar al local IBERGO08 y en pura teoría más preciso.

Para comprobar estos resultados aplicaremos el procedimiento de la validación cruzada mediante puntos de control ajenos a los empleados en el ajuste del modelo paramétrico.

Como puntos de control se han empleado 16 puntos pertenecientes a la red topográfica que se instauró para dotar a la totalidad de la obra de una infraestructura topográfica permanente. La función de esta Red fue que sirviera de referencia para la ejecución de la obra «Túneles de Pajares» que abarca una longitud de 30 km de túneles aproximadamente y situada en el límite de comunidad entre Asturias y Castilla-León. La señalización de los puntos es de tipo pilar cilíndrico de fábrica con centrado forzoso (4 en la boca norte, 4 en la boca sur y 4 en la boca intermedia). La observación fue realizada mediante técnicas GNSS, utilizando el método ESTÁTICO DIFERENCIAL con postproceso, apoyándose en los vértices regentes más cercanos y con la misma metodología de observación que estos. La observación en campo se realizó con 6 receptores GPS bifrecuencia, con medición de código y fase sobre las portadora L1 y L2, siendo la precisión nominal 5 mm + 1 ppm de la longitud de la línea-base a lo largo de una semana. Tras el ajuste se obtuvieron unas elipses de error al 95% de confianza inferiores a 1 cm, tanto en planimetría como en altimetría.

En cuanto a la altura ortométrica (H), se realizó una nivelación de alta precisión (incluyendo observaciones de gravedad) en las diferentes bocas de los túneles, mediante ramales de enlace a señales pertenecientes a la línea de nivelación de alta precisión del IGN, línea 404.

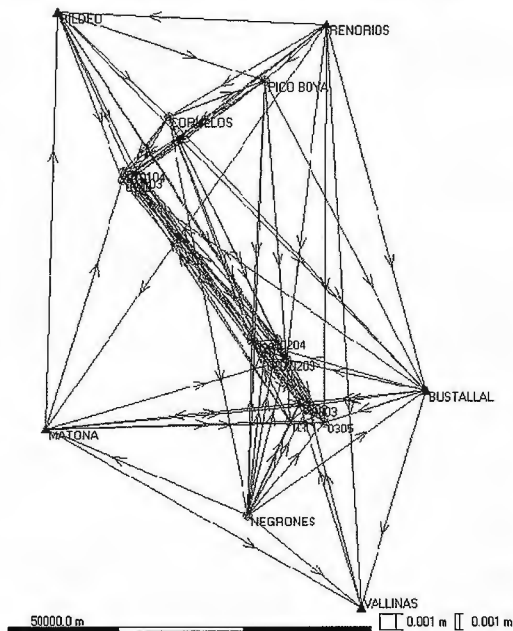


Fig. 4: Croquis Red Topográfica "Túneles de Pajares"

En la **tabla 3.3** se puede apreciar una comparativa de la aplicación de los diferentes modelos paramétricos empleados y como afectan al resultado final, el valor más significativo y que nos marca la mejora ó empeoramiento del modelo es al parámetro RMS, un indicativo del ajuste y que debe ser cuanto más pequeño mejor para un buen ajuste, ya que indica que ajuste es el que tiene los residuos más pequeños.

MODELO GRAVIMETRICO						
MODELO	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.086	-0.488	-0.434	0.013	-0.096	0.457
$\sigma$	0.128	0.057	0.064	0.051	0.094	0.014
RMS	0.098	0.309	0.288	0.033	0.087	0.300
Mínimo	-0.082	-0.585	-0.536	-0.064	-0.230	0.431
Maximo	0.242	-0.352	-0.305	0.062	0.049	0.486

MODELO GRAVIMETRICO						
4 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.004	-0.681	-0.470	0.044	-0.448	-0.135
$\sigma$	0.124	0.060	0.059	0.038	0.107	0.016
RMS	0.079	0.449	0.312	0.038	0.303	0.090
Mínimo	-0.142	-0.797	-0.573	-0.014	-0.601	-0.156
Maximo	0.157	-0.555	-0.348	0.083	-0.283	-0.104

MODELO GRAVIMETRICO						
5 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	-0.017	-0.557	-0.330	0.025	-0.242	-0.072
$\sigma$	0.123	0.056	0.054	0.035	0.099	0.015
RMS	0.079	0.388	0.220	0.030	0.171	0.048
Mínimo	-0.182	-0.669	-0.428	-0.034	-0.384	-0.083
Maximo	0.135	-0.438	-0.215	0.085	-0.089	-0.038

MODELO GRAVIMETRICO						
7 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	-0.024	-0.334	-0.188	0.001	-0.094	0.009
$\sigma$	0.121	0.059	0.049	0.037	0.114	0.024
RMS	0.079	0.223	0.115	0.023	0.095	0.016
Mínimo	-0.167	-0.439	-0.287	-0.056	-0.257	-0.026
Maximo	0.125	-0.197	-0.061	0.039	0.076	0.047

Tabla 3.3 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV en los 16 puntos antes y después de aplicación de los diferentes modelos paramétricos.

Se puede apreciar que todos los modelos mejoran tras la aplicación de los diferentes modelos paramétricos, es de destacar, la mejora del parámetro RMS en el modelo NIBGEO pasando de 30 cm sin la aplicación de ningún modelo a 1.6 cm tras el ajuste de 7 parámetros y que nos muestra este como el mejor modelo según el procedimiento de la validación cruzada. Lo que si nos queda claro, es que el modelo de 7 parámetros se muestra tanto en el procedimiento de un enfoque empírico y en el de bondad del ajuste como el mejor modelo paramétrico a emplear. Para la elección del mejor modelo gravimétrico estudiamos los procedimientos aplicados (enfoque empírico y validación cruzada), comparando los modelos mejor situados en ambos, que son el modelo IBERGEO08, NIBGEO08 y el EGM08. En la **tabla 3.4**, podemos apreciar que en conjunto, el modelo **IBERGEO08**, parece ser el mejor con el RMS en conjunto más pequeño.

7 PARAMETROS	987 PTOS			16 PTOS		
	IBERGEO	EGM08	NIBGEO	IBERGEO	EGM08	NIBGEO
Media	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.024	0.009
$\sigma$	0.051	0.069	0.149	0.037	0.121	0.024
RMS	0.051	0.069	0.149	0.023	0.079	0.016
Mínimo	-0.240	-0.198	-0.458	-0.058	-0.167	-0.026
Maximo	0.210	0.267	0.422	0.039	0.125	0.047

Tabla 3.4 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV después de aplicación del modelo de 7 parámetros, en los puntos empleados para el ajuste (987) y los puntos de control (16).

Para cálculos posteriores y que detallamos en el apartado 3.6, no descartaremos los modelos gravimétricos NIBGEO y EGM08, aunque para el cálculo del modelo combinado con un modelo gravimétrico emplearemos el IBERGEO08. Por otro lado, cabe mencionar que el mayor inconveniente de emplear como puntos de control los pertenecientes a la red "Túneles de Pajares" es que no abarcan la totalidad de la extensión que se pretende estudiar, por eso, se podrían



emplear otros puntos que estuvieran mejor distribuidos, como por ejemplo, los vértices Regente existentes en la zona, pero tienen el inconveniente que dada su menor precisión en las cotas ortométricas, entre 20-30 cm, pudieran falsear los resultados. De todas maneras y a título formativo, también se realizó con el mismo procedimiento que el descrito hasta ahora una comparativa (tabla 3.5) en los 37 vértices Regente que abarcan la comunidad autonómica, aunque no se tuvieron en cuenta sus resultados en el cálculo de los modelos paramétrico y gravimétrico finales.

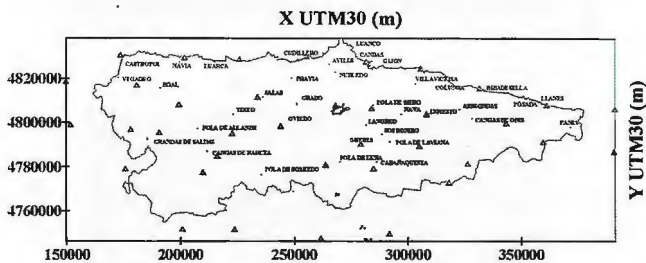


Fig. 5: En color azul los vértices Regente (37) y en color rojo los puntos de la Red local (16), empleados como puntos de control.

MODELO GRAVIMETRICO						
MODELO	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.517	0.587	0.313	0.311	0.745	1.010
$\sigma$	0.275	0.527	0.473	0.284	0.802	0.360
RMS	0.584	0.784	0.562	0.418	0.952	1.071
Mínimo	-0.152	-0.577	-0.698	-0.317	-0.187	0.478
Máximo	1.495	1.781	1.283	1.280	1.931	2.008

MODELO GRAVIMETRICO						
4 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.447	0.318	0.256	0.407	0.382	0.409
$\sigma$	0.275	0.504	0.469	0.287	0.571	0.346
RMS	0.523	0.590	0.529	0.495	0.670	0.532
Mínimo	-0.234	-0.767	-0.621	-0.170	-0.539	-0.118
Máximo	1.417	1.490	1.253	1.393	1.560	1.377

MODELO GRAVIMETRICO						
5 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.445	0.330	0.270	0.405	0.383	0.415
$\sigma$	0.277	0.439	0.410	0.290	0.425	0.316
RMS	0.522	0.545	0.486	0.496	0.588	0.519
Mínimo	-0.199	-0.668	-0.481	-0.139	-0.341	-0.223
Máximo	1.428	1.435	1.190	1.402	1.398	1.348

MODELO GRAVIMETRICO						
7 PARAMETROS	EGM08	EIGEN05-C	GGMC03	IBERGEO	IGG05	NIBGEO
Media	0.441	0.328	0.310	0.406	0.374	0.401
$\sigma$	0.274	0.422	0.433	0.293	0.401	0.304
RMS	0.517	0.530	0.528	0.498	0.544	0.501
Mínimo	-0.192	-0.518	-0.518	-0.101	-0.319	-0.350
Máximo	1.413	1.438	1.307	1.405	1.374	1.311

Tabla 3.5 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV en los 37 vértices regentes antes y después de aplicación de los diferentes modelos paramétricos.

7 PARAMETROS	987 PTOS			37 REGENTE		
	IBERGEO	EGM08	NIBGEO	IBERGEO	EGM08	NIBGEO
Media	0.000	0.000	0.000	0.406	0.441	0.401
$\sigma$	0.051	0.089	0.149	0.293	0.274	0.304
RMS	0.051	0.069	0.149	0.498	0.517	0.501
Mínimo	-0.240	-0.196	-0.458	-0.101	-0.192	-0.350
Máximo	0.210	0.287	0.422	1.405	1.413	1.311

Tabla 3.6 Datos estadísticos de las diferencias entre los distintos modelos y datos GNSS/NIV después de aplicación del modelo de 7 parámetros, en los puntos empleados para el ajuste (987) y los vértices regentes (37).

Como se puede apreciar también en este caso la mayoría de los modelos mejoran tras la aplicación de los modelos paramétricos de 7 parámetros aunque no significativamente, únicamente el modelo gravimétrico IBERGEO08 siempre

empeora en todos los casos pasando de un RMS de 0.418 a 0.498. Estos resultados, por otro lado, muestran la precisión esperada en el ajuste dada la precisión de las alturas ortométricas de los vértices Regente (aprox. 30 cm) y que no vamos a poder mejorar.

En la tabla 3.6, comparando los modelos gravimétricos con menor RMS según los procedimientos aplicados, no conseguimos saber entre el modelo EGM08 y el IBERGEO08 cual es el mejor. De manera general, como en el caso anterior con los 16 puntos de control de la Red Topográfica "Variante de Pajares", nos aparecen casi los mismos modelos del geode (EGM08, IBERGEO08, NIBGEO) y el IBERGEO 08, entre los mejores y por eso se selecciono para la combinación con los datos Gns.

**3.4 CREACION SUPERFICIE CORRECTORA (SR)**  
Una vez elegido el modelo gravimétrico que mejor se ajusta a la zona (IBERGEO08) y un modelo paramétrico (7 parámetros) como mejor función para absorber las incoherencias de los datos, se pasa a crear una superficie continua a partir de los 987 puntos dato, y así cubrir la zona de aplicación no solo en estos puntos. Aplicando este modelo paramétrico a las ondulaciones del geode gravimétrico IBERGEO08 ( $N_{gravidad}$ ) ya se puede relacionar con las ondulaciones directas ( $N_{gns}$ ) y modelar estas diferencias o residuos mediante la creación de una superficie continua o malla que denominaremos SR.

$$N_{gravidadTX} = N_{gravidad} + TX$$

$$Residuos = N_{Gns} - N_{gravidadTX}$$

Este último ajuste o modelado de los residuos mediante una superficie correctora SR, se puede realizar mediante técnicas de interpolación o predicción, ya que se supone que los errores o residuos que se pretenden modelar son aleatorios y estadísticamente homogéneos, como por ejemplo:

- Predicción o Colocación por mínimos cuadrados, mediante funciones covarianza para asignar los pesos, es decir, se asume que la distancia y/o dirección entre puntos es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que esta información se puede emplear para expresar la variabilidad espacial encontrada en la superficie.
- Métodos de interpolación o estimación, entre los que destacamos:

o Métodos de interpolación globales como polinomios de regresión o las series de Fourier, en los cuales la superficie interpolada es una aproximación grosera de la totalidad de los valores medidos y mediante los cuales podemos encontrar la estructura regional así como los valores alejados de esta tendencia, por eso también se denominan superficies de tendencia.

o Triangulación (TIN), superficies planas producidas por redes triangulares, tienen el inconveniente que no son superficies con continuidad matemática.

o Métodos de interpolación locales, que utilizan la información para dar estimaciones realistas de los valores esperados de un subconjunto de valores de la



muestra (puntos vecinos). Estos son métodos, como Inverso de la distancia, Krigging (misma estructura de cálculo que la colocación por mínimos cuadrados, en la que para asignar los pesos se aplican variogramas (media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h) en lugar de funciones covarianza), splines bicubico, funciones radiales, shepard...o Métodos de interpolación híbridos como el de mínima curvatura en tensión, el cual primero aplica una interpolación global y a continuación acerca las estimaciones a través de un proceso iterativo que toma en cuentas los residuos locales. Con este método, se trata de producir una superficie continua de mínima curvatura sobre la que quedan fijos los puntos dato. Este método es apropiado para superficies que varían en forma gradual sin cambios no muy abruptos.

Después de algunos análisis con otros métodos (Krigging, splines bicubicos..) se eligió el método de mínima curvatura en tensión, comentar por otro lado, que las diferencias encontradas son mínimas al emplear uno u otro método dado el valor pequeño de los residuos. Para la creación de esta superficie se ha empleado el programa "SURFER", para lo cual se han llevado los puntos datos (sistema ETRS89) a la proyección UTM, en el huso 30 extendido para los cálculos y las representaciones gráficas. Finalmente, se puede apreciar los resultados después de aplicar el modelo paramétrico y la superficie correctora (Tabla 3.7). Se puede ver en el resultado del proceso como se ha pasado en los puntos GnsS/Niv de un RMR de 10.5 a 1.4 cm, que es la superficie que es mejor que ningún modelo gravimétrico de los geoides actualmente disponibles.

$$\text{Sup. Correctora} = \text{TX} + \text{SR} + \delta_i$$

$$N_{\text{combinado}} = N_{\text{gravedad}} + \text{TX} + \text{SR} + \text{ruido} (v_i)$$

COMBINADO/IBERGEO	IBERGEO (N gra)	7 Parametros (TX)	Sup. Correctora(SupC)
Media	-0.055	0.000	0.000
$\sigma$	0.089	0.051	0.014
RMS	0.105	0.051	0.014
Mínimo	-0.225	-0.240	-0.116
Máximo	0.239	0.210	0.052

INTERVALOS	IBERGEO (N gra)	7 Parametros (TX)	Sup. Correctora(SupC)
< $\sigma$	628	696	696
$\sigma - 2.5\sigma$	318	277	274
$2.5\sigma - 3.0\sigma$	33	7	11
$> 3.0\sigma$	0	0	0
TOTAL	987	987	987

Tabla 3.7 Datos estadísticos del modelo combinado IBERGEO08 /GNSS/NIV/ GRAVEDAD.

La superficie del modelo creado se extiende desde 42.19° a 43.83° en latitud y -8.19° a -3.69° en longitud, que en datos de la malla rectangular creada son 140 filas (latitud) y 300 columnas (longitud), en total 42000 valores en el sistema ETRS89.

Destacar que esta malla rectangular ha sido recortada a una extensión entre 42.77° a 43.83° en latitud y -7.29° a -4.33° en longitud, mediante una malla de 90 filas y 200 columnas para no extrapolar datos fuera de los puntos GNSS/NIV y de manera que se cubriera toda la comuni-

dad autónoma del Principado de Asturias, con lo que se tienen finalmente 18000 valores de la ondulación en el sistema ETRS89 (FIG.6).

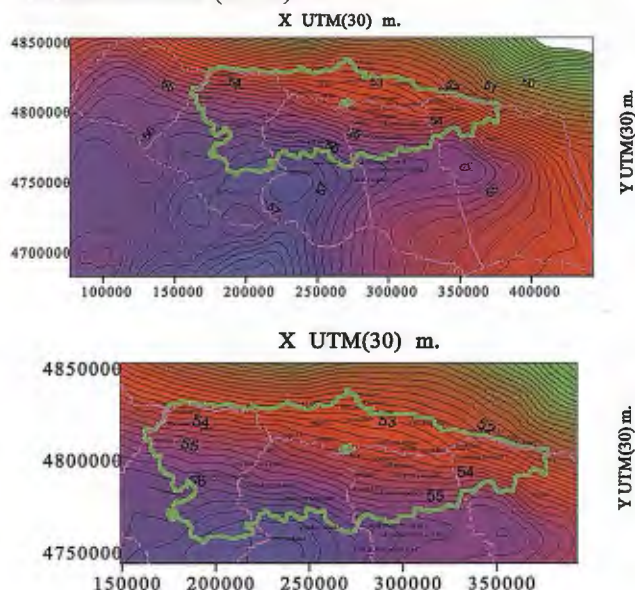


Fig. 6: En la izquierda se muestra el modelo combinado con IBERGEO08, y en la derecha el recortado en la zona que nos interesa, en ambos aparecen los puntos GNSS/Nivelación en color magenta.

Con este proceso se ha detallado como se pueden combinar un modelo gravimétrico y unos puntos GNSS/NIV con lo que se complementan ambos y se crea la mejor superficie del geode en la zona.

Únicamente, dada la distribución de los puntos dato, nos faltaría calibrar la precisión del modelo creado fuera de los datos GNSS/NIV, es decir, en el interior de los polígonos de las líneas de nivelación de alta precisión y que dependerá mucho de la precisión del geode gravimétrico.

COMBINADO/EGM08	EGM08 (N gra)	7 Parametros (TX)	Sup. Correctora(SupC)
Media	0.046	0.000	0.000
$\sigma$	0.087	0.149	0.014
RMS	0.093	0.069	0.014
Mínimo	-0.151	-0.186	-0.087
Máximo	0.368	0.287	0.061

COMBINADO/NIBGEO	NIBGEO (N gra)	7 Parametros (TX)	Sup. Correctora(SupC)
Media	0.582	0.000	0.000
$\sigma$	0.192	0.149	0.014
RMS	0.584	0.149	0.014
Mínimo	0.119	-0.465	-0.065
Máximo	1.111	0.422	0.050

Tabla 3.8 Datos estadísticos de los modelos combinado EGM08 Y NIBGEO / GNSS/NIV/GRAVEDAD.

### 3.5 EVALUACION Y CALIBRACIÓN DEL MODELO COMBINADO

Para controlar la precisión del modelo de geode creado fuera de las zonas donde están los puntos GNSS/NIV, existen principalmente dos procedimientos para evaluar esta precisión.

Una manera es evaluar el modelo gravimétrico a través de los errores en los datos utilizados (anomalías de la gravedad, errores coeficientes del geopotencial) y obtener un modelo de errores. Según la bibliografía del cálculo del modelo de geopotencial usado en IBERGEO08 (EIGEN-CG03C (grado 360)), se estima en 35 cm en valores de ondulación y 8 mgal en anomalías de la gravedad. Para los



otros modelos esperados, EGM08 (grado 2190), se estima en 15 cm en valores de ondulación y en anomalías de 1 mgal, y el modelo del NIBGEO, que emplea el modelo EIGEN-GL04C (grado 360), que es una actualización del EIGEN-CG03C y que se estima en 33 cm en valores de ondulación y 8 mgal en anomalías.

La otra forma y la que se ha seguido, es la comparación con otros modelos del geode de la misma región y con una precisión similar si existiesen. En nuestro caso tenemos la suerte de tener en la zona otros modelos de geode con una precisión similar, como son el EGM08 y el NIBGEO. Es necesario destacar que debemos de eliminar los posibles sistematismos que existiesen en estos modelos para poder compararlos, es decir aplicaremos los mismos procedimientos que aplicamos al modelo combinado creado, obteniendo para ello otros dos modelos combinados. Los resultados de este proceso se pueden apreciar en la **tabla 3.8**, como se aprecia después de la aplicación de la superficie correctora, en los puntos dato se obtienen valores muy similares, entorno al 1.4 cm, de destacar son los valores máximo y mínimo del modelo NIBGEO.

Para comparar estos modelos se ha restado la malla creada en el modelo combinado IBERGEO08 a los otros dos modelos e incluso como comprobación se han restado estos dos, para apreciar estas diferencias se han creado la **tabla 3.9** e igualmente gráficamente como se puede ver en la figura 7.

ESTADÍSTICA	IBERGEO08-EGM 08	IBERGEO08-NIBGEO	EGM08-NIBGEO
Media	-0.060	-0.015	0.045
$\sigma$	0.142	0.112	0.135
RMS	0.154	0.114	0.142
Mínimo	-0.658	-0.384	-0.328
Máximo	0.282	0.702	0.832

Tabla 3.9 Datos estadísticos de las diferencias entre los modelos combinados

Como se puede observar existen unas diferencias muy significativas, que siempre se producen en el interior de los polígonos, y en zonas de alta montaña como se puede ver en el modelo digital del terreno de la figura 7.

Analizando las diferencias IBERGEO-EGM08, a primera vista se aprecian los corredores donde están los datos GNSS/NIV y en una franja de unos 10 km (puntos color magenta) se cumplen los errores del modelo, es decir, inferiores a 2 cm, luego se puede ver obviando las zonas del mar cantábrico, que se destacan tres zonas. La primera es la zona de Picos de Europa donde se llegan a valores de -65.8 cm, y un promedio de -20 cm, una segunda zona en la zona del Puerto de San Isidro en la que llegamos a valores de -30 cm rodeado de una gran extensión de -20 cm y finalmente la zona de Somiedo, Teverga, en la que volvemos a valores de -40 cm. En el resto de la comunidad, los valores están entre 5 y -5 cm.

Para comprobar estas diferencias se realiza el mismo proceso de comparar el modelo IBERGEO08 y el NIBGEO, apreciándose que aparecen los mismos corredores en las zonas de los puntos dato como es normal, ya que se han empleado en el ajuste. También vuelven a destacar las mismas zonas pero en valores mucho más pequeños en casi la mitad, eso si en el mismo signo que en el caso del EGM08, sorprende como ha disminuido la diferencia en los Picos de Europa, tanto en valor como en superficie. Las máximas diferencias entre estos modelos aparecen en la parte

superior izquierda, en el mar cantábrico con valores de 70 cm. En valores numéricos se tienen para cada zona, que en la zona 1, tenemos valores de -20 cm, en la zona 2 de -10 cm y finalmente en la zona 3 tenemos -10 cm.

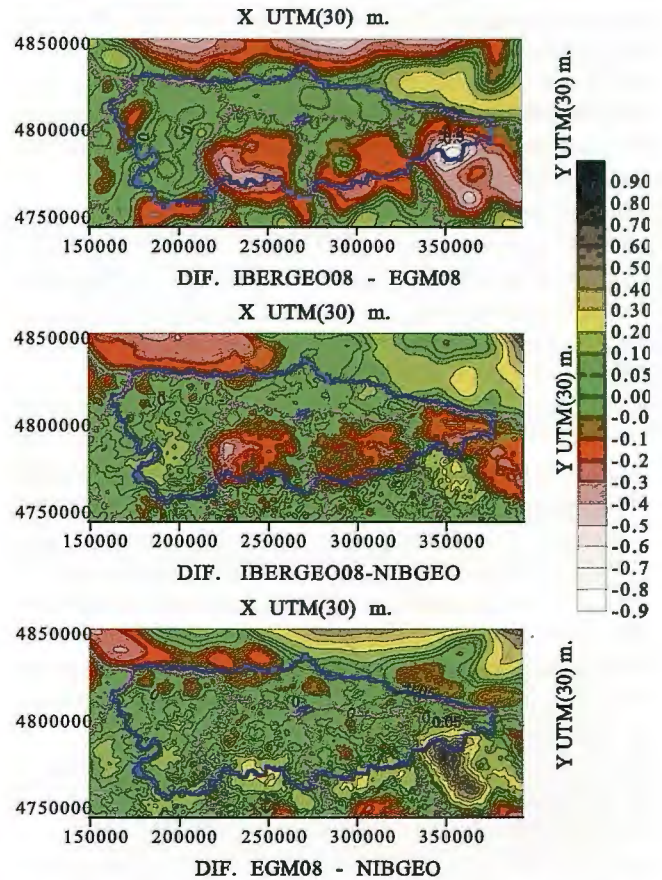


Fig. 7: Diferencias entre los modelos combinados, Arriba IBERGEO-EGM, en medio IBERGEO-NIBGEO, y abajo EGM08-NIBGEO.

Dado que las diferencias con el modelo IBERGEO08 son en del mismo signo, se decide realizar la misma operación entre los modelos EGM08 y NIBGEO, sorprendiendo la diferencia en el entorno de los Picos de Europa, llegando a valores de 80 cm, en las demás zonas las diferencias son puntuales e inferiores a 10 cm, obviando la superficie del mar cantábrico.

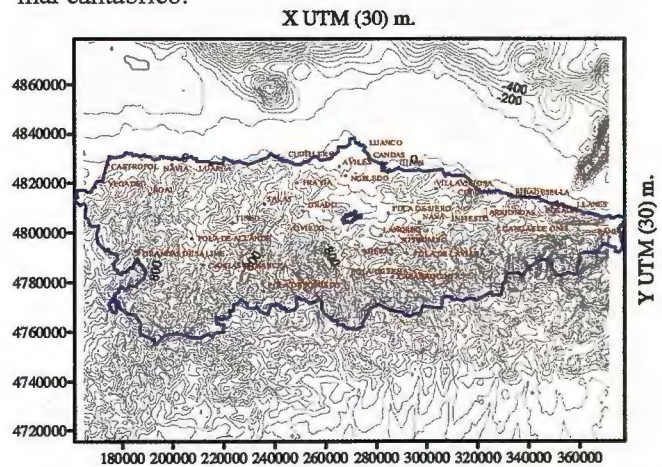


Fig. 8: Modelo digital del Terreno ETOPO 1, en coordenadas UTM 30 (ETRS89)

Todas estas diferencias pueden considerarse "normales" dada la orografía de la zona (el MDT, toma mucha importancia, la densidad de los materiales...) y seguramente la baja densidad o mala distribución de las medidas de gravedad. En las zonas con un terreno más llano, como la



rasa costera hasta la altura de la ciudad de Oviedo, vemos que las diferencias entre los modelos son mínimas e inferiores a 10 cm.

Con todas estas discrepancias fuera de los puntos datos, aparece la pregunta +, si en los puntos dato las diferencias son mínimas y no poseemos datos de precisión en el interior de los polígonos para validar el modelo, (ya que si se tuvieran, se habrían empleado en el ajuste), están calculados con modelos de geopencial diferentes y esquemas de trabajos diferentes.

¿Por que no combinar los modelos y conseguir minimizar estas diferencias?, pero **¿COMO COMBINARLOS?**, ¿Empleamos solo IBERGEO y el EGM08? o incluimos también el NIBGEO.

### 3.6 ASTURGEO09 COMBINACION DE MODELOS DE GRAVEDAD COMBINADOS

Para combinar los modelos e intentar minimizar las diferencias y conseguir un modelo lo más ajustado posible en la zona, lo único en lo que nos podemos apoyar es en los 987 puntos dato GNSS/NIV, y ver si combinando los modelos el ajuste se mejora o se empeora en estos puntos. Como criterio para combinarlos, se emplea una media ponderada de los modelos, como pesos para esta media, se cree conveniente emplear la desviación típica (o el RMR, son casi idénticos con la media igual a cero), del ajuste de la superficie correctora (SUPC = TX + SR) de cada modelo, que en nuestro caso son:

**IBERGEO08** con una desviación típica de **0.0458 m**

**EGM0** con una desviación típica de **0.0644 m**

**NIBGEO** con una desviación típica de **0.1455 m**.

Si se divide la desviación típica del menos preciso en cada caso entre la de cada modelo se puede ver la relación que hay entre los modelos y se emplea como peso para la media ponderada:

- **Combinando IBERGEO08 y EGM08:**

$$\text{Peso IBERGEO08} = 1.405 \quad \text{Peso EGM08} = 1.000$$

Es decir, el modelo IBERGEO es 1.405 veces más preciso que el EGM08. O considerando lo que aporta cada modelo al resultado final, se tiene que IBERGEO aporta el 58% del valor y el resto el 42% lo aporta el EGM08.

- **Combinando los tres (IBERGEO08, EGM08 y NIBGEO):**

Peso IBERGEO08 = **3.171** Peso EGM08 = **2.256** Peso

NIBGEO = **1.000**

Es decir, el modelo IBERGEO es 3.171 veces más preciso

que el NIBGEO y el EGM08 2.256 veces más preciso que el NIBGEO. O considerando lo que aporta cada modelo al resultado final, se tiene que IBERGEO aporta el 49% del valor, el EGM08 el 35% y el resto el 16% el modelo NIBGEO.

Se puede apreciar en la tabla 3.10, en la parte superior, que después de la aplicación de la superficie correctora, la diferencia en los residuos finales (ruido), es mínima aunque se mejora algo al combinar 2 y 3 modelos, pasando de 1.42-1.38-1.39 a valores de 1.36 ó 1.35. Para ver con más claridad, se destacan los resultados de la superficie correctora en la parte inferior de la tabla, y como la función principal de esta superficie correctora es la de minimizar los residuos en los puntos dato, se ve como tras la combinación de los modelos combinados, se mejora el RMR pa-

sando de 0.046 (IBERGEO08) a 0.040 combinando los dos modelos más precisos y a 0.035 combinando los tres (le denominaremos a partir de ahora como Asturgeo09), es decir, los residuos son menores. Y si se analizan los intervalos según la distribución de los errores, que como son aleatorios deberían seguir una distribución normal (Tabla 3.11), vemos que el 74 % de los 987 puntos se encuentran dentro del intervalo de la desviación típica de 3.5 cm si se combinan los tres y el 68.4% si se combinan solo dos con una desviación típica de 4.0 cm, cuando antes de la combinación en el modelo IBERGEO08, teníamos 696 puntos (70.5 %) con una desviación típica de 4.6 cm.

Si se realiza esta misma comparativa en la totalidad de la

MODELOS DE GRAVIDAD COMBINADOS 987 PUNTOS					
ESTADÍSTICA	ASTURGEO09	COMB. (1)(2)	COMB-IBERGEO (1)	COMB-EGM08 (2)	COMB-NIBGEO (3)
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\sigma$	0.038	0.036	0.036	0.036	0.036
RMS	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Máximo	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
Mínimo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

SUPERFICIE CORRECTORA EN LOS 987 PUNTOS (SUPC = TX + SR)					
ESTADÍSTICA	ASTURGEO09	COMB. (1)(2)	COMB-IBERGEO (1)	COMB-EGM08 (2)	COMB-NIBGEO (3)
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\sigma$	0.038	0.036	0.036	0.036	0.036
RMS	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Máximo	-0.112	-0.104	-0.104	-0.104	-0.104
Mínimo	0.106	0.110	0.110	0.110	0.110

Tabla 3.10 Datos estadísticos de los modelos combinados, el denominado Asturgeo09, es la combinación de IBERGEO08, EGM08 y NIBGEO.

SUPERFICIE CORRECTORA EN LOS 987 PUNTOS (SUPC = TX + SR)					
INTERVALO	ASTURGEO09	%	COMB. (1)(2)	%	
< $\sigma$	728	73.6%	675	68.4%	
$\sigma - 2.5 \sigma$	233	23.6%	259	26.3%	
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	12	1.2%	12	1.2%	
> 3.0 $\sigma$	16	1.6%	1	0.1%	
TOTAL	987	100.0%	987	100.0%	

INTERVALO	COMB-IBERGEO (1)	%	COMB-EGM08 (2)	%	COMB-NIBGEO (3)	%
< $\sigma$	696	70.5%	752	76.2%	711	72.0%
$\sigma - 2.5 \sigma$	274	27.8%	200	20.3%	250	25.3%
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	11	1.1%	21	2.1%	25	2.5%
> 3.0 $\sigma$	8	0.8%	14	1.4%	1	0.1%
TOTAL	987	100.0%	987	100.0%	987	100.0%

Tabla 3.11 Estudio intervalos de la distribución de los residuos de los modelos combinados en los puntos GNSS/NIV

malla creada, es decir en los 18000 puntos se puede ver como también se reducen los residuos que se producen (Tabla 3.12 y Tabla 3.13):

SUP. CORRECTORA EN EL TOTALIDAD DE LA MALLA (18000)					
ESTADÍSTICA	ASTURGEO09	COMB. (1)(2)	COMB-IBERGEO	COMB-EGM08	COMB-NIBGEO
Media	-0.002	0.004	0.003	0.011	-0.048
$\sigma$	0.0198	0.0205	0.0205	0.0205	0.0207
RMS	0.0199	0.0203	0.0207	0.0200	0.0207
Máximo	-0.152	-0.112	-0.100	-0.100	-0.100
Mínimo	0.144	0.167	0.200	0.267	0.423

Tabla 3.12 Datos estadísticos de los modelos combinados en toda la malla creada.

SUP. CORRECTORA EN EL TOTALIDAD DE LA MALLA (18000)					
INTERVALO	ASTURGEO09	%	COMB. (1)(2)	%	
< $\sigma$	13671	76.0%	12402	68.9%	
$\sigma - 2.5 \sigma$	3805	21.1%	2352	13.1%	
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	221	1.2%	183	1.0%	
> 3.0 $\sigma$	303	1.7%	173	0.7%	
TOTAL	18000	100%	18000	100%	

INTERVALO	COMB-IBERGEO (1)	%	COMB-EGM08 (2)	%	COMB-NIBGEO (3)	%
< $\sigma$	12863	71.5%	13128	72.9%	10836	60.2%
$\sigma - 2.5 \sigma$	4793	26.6%	4383	24.4%	6629	36.8%
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	223	1.2%	206	1.1%	241	1.3%
> 3.0 $\sigma$	121	0.7%	283	1.6%	294	1.6%
TOTAL	18000	100.0%	18000	100.0%	18000	100.0%

Tabla 3.13 Estudio intervalos de la distribución de los residuos de los modelos combinado en toda la malla creada.

La buena combinación de estos modelos se debe a la relación que existe entre sus desviaciones típicas, es decir, en los pesos que se han aplicado para su cálculo. Se puede ver como la desviación típica del modelo NINGEO, es prác-



ticamente el error máximo (tolerancia) del modelo IBERGEO08, es decir, que casi el 70% de los residuos del modelo NIBGEO, serían admitidos en la distribución normal del modelo IBERGEO08. En el caso del modelo EGM08, prácticamente el 95%, para ver esto más claramente, se refieren los modelos EGM08 y NIBGEO a la desviación típica del modelo IBERGEO08 (tabla 3.14).

SUPERFICIE CORRECTORA EN LOS 987 PUNTOS (SÚPC = TX + SR)						
INTERVALO	COMB-IBERGEO (1)	%	COMB-EGM 08 (2)	%	COMB-NIBGEO (3)	%
< $\sigma$	698	70.5%	820	82.8%	248	25.1%
$\sigma - 2.5 \sigma$	274	27.8%	288	29.0%	367	37.2%
$2.5 \sigma - 3.0 \sigma$	11	1.1%	29	2.9%	82	8.3%
> $3.0 \sigma$	8	0.8%	62	5.3%	290	29.4%
TOTAL	987	100.0%	987	100.0%	987	100.0%

Tabla 3.14 Estudio intervalos de la distribución de los residuos de los modelos EGM08 y NIBGEO referidos a IBERGEO08.

Relaciones entre las desviaciones típicas superiores a 3, estarían metiendo al ajuste más ruido y bajaría la calidad del modelo creado. Con todos estos datos se entiende como mejor modelo de geoide el combinado de los tres modelos, que denominaremos a partir de ahora ASTURGEO09. En la figura 9, se pueden ver las diferencias entre ASTURGEO y los demás modelos que se han usado para crearlo y los datos estadísticos de su cálculo. Para el cálculo de la precisión relativa con los puntos GNSS/NIV del modelo creado en la zona de la comunidad autónoma del Principado de Asturias, se emplean las siguientes expresiones:

$$\Delta H_{\text{GNSS-ASTURGEO09}} = \Delta h_{\text{GNSS}} - \Delta N_{\text{ASTURGEO09}}$$

CON

$$\Delta N_{\text{ASTURGEO09}} = (N_2 - N_1) + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

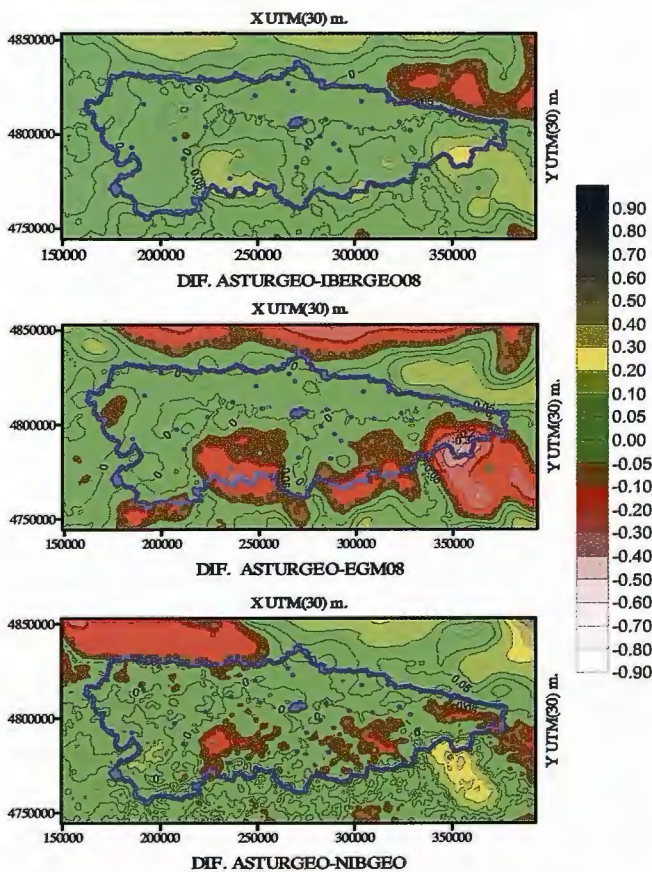


Fig. 9: Diferencias entre los modelos combinados y ASTURGEO09.

Y las diferencias entre los dos valores obtenidos en las alturas ortométrica, una de ASTURGEO09 y el otro el procedente de la nivelación de alta precisión será la expresión:

$$\Delta \Delta H_{\text{ASTURGEO09-NIVELACION}} = \Delta H_{\text{GNSS-ASTURGEO09}} - \Delta H_{\text{NIVELACION}}$$

Y si se convierten estas diferencias en partes por millón (ppm) se tienen:

$$ppm = \text{media} \left| \frac{\Delta \Delta H_{\text{ASTURGEO09-NIVELACION(mm)}}}{D_{\text{Km}}} \right|$$

Siendo D la distancia entre la pareja de puntos para el cálculo en Km.

Después de este cálculo se tiene en nuestro modelo ASTURGEO09 una precisión relativa de 0.50 ppm.

ESTADÍSTICA	ASTURGEO 09	ASTUR09-IBERGEO08	ASTUR09-EGM08	ASTUR09-NIBGEO
Media	0.000	0.024	-0.037	0.008
$\sigma$	0.033	0.040	0.046	0.036
RMS	0.033	0.064	0.063	0.065
Mínimo	-0.103	-0.240	-0.412	-0.216
Máximo	0.214	0.282	0.174	0.569

Tabla 3.15: Datos estadísticos modelo Asturgeo09.

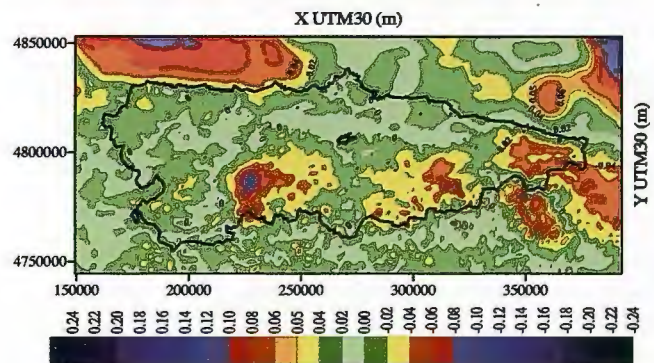


Fig. 10: Estimación de errores en el modelo ASTURGEO09.

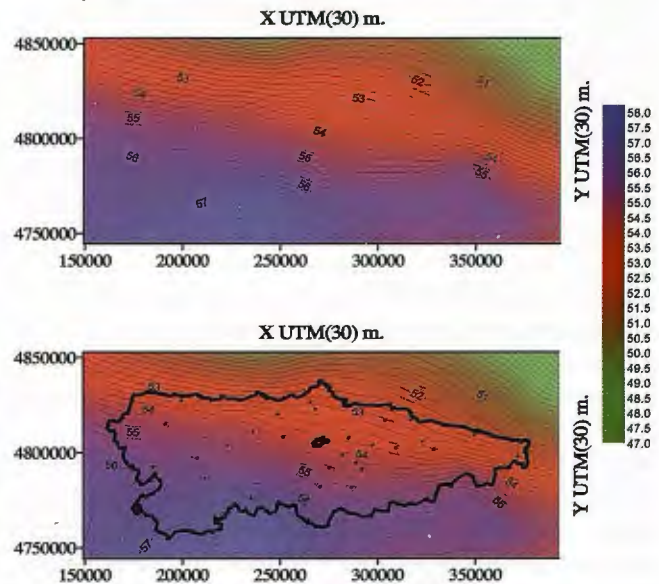


Fig. 11: Modelo ASTURGEO09 en UTM HUSO 30 (ETRS89).

Revisando los datos se puede asegurar que el 55% de los puntos de la malla del modelo Asturgeo09 estarían en la misma precisión que la obtenida en el ajuste de los puntos GNSS/NIV (<0.02 cm), y con una precisión inferior a 3.3 cm tenemos al 72.4 % de los puntos de la malla, encontrando



los mayores errores en las zonas del mar cantábrico y sobre todo en la zona de montaña de los Picos de Europa, con un porcentaje únicamente del 0.8%.

INTERVALO	ASTURGEO09	%	INTERVALO	ASTURGEO09	%
< $\sigma$	13031	72.4%	< 1 (cm)	6388	35.4%
$\sigma - 2.5 \sigma$	4858	25.9%	2 (cm)	3520	19.6%
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	162	0.8%	2 - 3 (cm)	2808	14.5%
> 3.0 $\sigma$	148	0.8%	TOTAL	537	3.0%
TOTAL	18000	100%	TOTAL	13031	72.4%

INTERVALO	ASTUR-IBERGEO 08	%	ASTUR-EGM08	%	ASTUR-NIBGEO	%
< $\sigma$	12794	71.1%	13321	74.0%	13779	76.8%
$\sigma - 2.5 \sigma$	4854	27.0%	4119	22.9%	3733	20.7%
2.5 $\sigma - 3.0 \sigma$	248	1.4%	316	1.6%	184	1.1%
> 3.0 $\sigma$	106	0.8%	244	1.4%	264	1.5%
TOTAL	18000	100.0%	18000	100.0%	18000	100.0%

Tabla 3.16: Estudio intervalos de la distribución de los residuos de ASTURGEO09.

Y finalmente, se presenta el modelo ASTURGEO09, como combinación de modelos combinados como se puede ver en la figura 11.

### 3.7 ZONAS DE PRUEBAS MODELO ASTURGEO09

Para evaluar el modelo ASTURGEO 09, se aplicará a los puntos de control que se han empleado en la validación cruzada de los modelos paramétricos. Primero en la Red Topográfica "Túneles de Pajares" y en segundo lugar en los 37 vértices Regente que abarcan toda la zona (ver Fig. 4).

PARAMETRO	16 RED PAJARES				37 REGENTE			
	ASTURGEO 09	IBERGEO	EGM08	NIBGEO	ASTURGEO 09	IBERGEO	EGM08	NIBGEO
Media	0.012	0.010	0.015	0.012	-0.423	-0.412	-0.447	-0.442
$\sigma$	0.024	0.0147	0.0223	0.0156	0.278	0.288	0.274	0.271
RMS	0.0170	0.0173	0.0264	0.0185	0.508	0.501	0.523	0.517
Mínimo	-0.011	-0.011	-0.019	-0.012	-0.185	-0.145	-0.215	-0.247
Máximo	0.049	0.045	0.056	0.047	1.295	1.385	1.268	1.385

Tabla 3.17: Datos estadísticos aplicando ASTURGEO09, en los puntos de control.

Se observa en ambos casos como se obtiene una precisión en las alturas ortométricas similares a las precisiones de los datos, es decir en el caso de la Red Pajares, inferior a 2 cm y en los vértices Regente, inferior a 30 cm. Con ello, podemos decir que obtenemos las alturas ortométricas a partir de las elipsoidales con la misma precisión que se obtengan estas.

## 4. CONCLUSION

Con este trabajo se ha pretendido encontrar la mejor definición del geoide en la comunidad autonómica del Principado de Asturias, en espera de que se llegue al cálculo del geoide "centimétrico", y es solamente eso un modelo lo más afinado posible, no una verdad absoluta, pero lo más importante era detallar el cálculo de un modelo combinado con puntos GNSS/NIV. En el futuro con la densificación de las líneas nivelación de alta precisión por parte del IGN (líneas 801, 802, 803 y 804), ya señalizadas, se podrá comprobar este modelo y seguramente complementarlo y mejorarlo.

Se trata, pues, de mostrar las posibilidades que tiene el complementar modelos gravimétricos de precisión, los cuales han necesitado un elevado esfuerzo personal y gratuito por parte de sus autores y la nivelación con datos GNSS, no intentando en ningún caso sustituir a los trabajos de nivelación de alta precisión, sino suplementarlos y con ello mejorar significativamente la determinación del geoide. Poniendo de manifiesto, por otro lado, que con una correcta ponderación de las medidas no se tiene a priori que desecher trabajos por ser menos precisos y con los que se pueden densificar zonas conflictivas como pueden ser las

zonas montañosas o por falta de medios zonas donde no se hayan podido realizar medidas gravimétricas.

Para el uso de este modelo se han creado dos hojas en EXCEL, una en la que se introducen las coordenadas UTM en el huso 30 extendido en el sistema ETRS89 y otra introduciendo las coordenadas geográficas en este mismo sistema. También se tiene la malla en formato GRD (ASCII), para que pueda ser empleado en otros paquetes de software.

Destacar también, que cualquier trabajo que se guarda en el cajón coge mucho, mucho polvo y al final se pudre, no sirviendo para nada, y sobre todo, que pérdida de tiempo empleado en su creación, tiempo tan escaso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer al personal del I.G.N. por sus trabajos y los datos proporcionados y divulgados.

A los autores de los modelos de geoide empleados y por sus trabajos en la materia:

IBERGEO 08, por parte de Miguel J. Sevilla.

NIBGEO, por parte de V. Corchete.

EGM 08, por parte de National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)

Y al Instituto GFZ-POTSDAM y el Internacional Geoid Service por sus páginas web y los datos proporcionados para el trabajo.

A mis compañeros de la Variante de los Túneles de Pajares, por el buen trabajo realizado en la ejecución del 7º túnel más largo del mundo, dadas las dificultades técnicas encontradas.

## REFERENCIAS

- Corchete, V. (2006) "The high-resolution gravimetric geoid of North Iberia: NIBGEO"
- Corchete, V., M. Chourak y D. Khattach (2005) "The high-resolution gravimetric geoid of Iberia: IGG2005"
- Danila, U. (2006) "Corrective surface for gps-levelling in moldova". Royal institute of technology (KTH). Tesis doctoral.
- Daras, I. (2008) "Determination of a gravimetric geoid model of Greece using the method of KTH". Royal institute of technology (KTH). Tesis doctoral.
- Denker, H., Torge, G., Wenzel, G., Ihde, J., Schimer, U. (2000) "Investigation of different methods for the combination of gravity and GPS/Levelling Data". IAG
- Erol, B., Celik, R.N. (2005) "Modelling local gps/levelling geoid with the assessment of inverse distance weighting and geostatistical Krigging methods" ITU, Civil engineering Faculty, Turquia
- Fotopoulos, G. (2003) "An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data" Tesis Doctoral. University of Calgary.
- Heiskanen W. A., Moritz H. (1985) "Geodesia Física". Editorial Instituto Geográfico.
- Kenyon, S., Factor, J., Pavlis, N.K., Holmes, S.A. (2007) "Towards the next earth gravitational model".
- Kiamehr, J.R. (2006) "A Irbid precise gravimetric geoid model for Iran base on recent GRACE and SRTM data and the least squares modification of Stokes's formula". Journal of the earth & space physics. Vol. 32, No. 1, 2006, P. 7-23.
- LIN, L.S. "Study on developing regional grid-bases geoid model using gps and leveling data". National Chengchi University.
- López Amador, S. (2003) "Desarrollo de un modelo de geoide para la C.A.M.". Mappinginteractivo marzo 2003.
- Martesson, S. (2003) "Height determination by GPS-Accuracy with respect to different geoid models in Sweden". University of Gävle.
- McDonald, A.J. (2004) "Which geoid model should be used for gps heighting on the Toowoomba Bypass Project?". University of southern Queensland.
- Merry, C.L., Vanicek, P. (1974) "A method for astro-gravimetric Geoid determination". University of New Brunswick, Canada.
- Núñez, A. (2006) "Determinación de un geoide de precisión en áreas de pequeña extensión. Aplicación en el parque nacional de Doñana" Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña
- Pavlis, N.K., Holmes, S.A. (2004) "A preliminary Gravitational Model to degree 2160".
- Robbins, J.W. (1985) "Least squares collocation applied o local gravimetric solutions from satellite gravity gradiometry data". The Ohio State University, EEUU.
- Sevilla, M.J. "IBERGEO 2006: Nuevo geoide centimétrico de la Península Ibérica". Revista Topografía y Cartografía. Vol. XXIII- n° 135.
- Vergos, G.S., Sideris, M.G. (2001) "Evaluation of geoid models and validation of geoid and gps/leveling undulations in Canada". University Of Calgary, Canada
- Wildermann, E., Hoyer, M., Hernandez, J., Velandia, J., Royero, G., Acuña, G., Lopez, M. "Una comparación de diferentes sistemas verticales en Venezuela". Instituto Geográfico de Venezuela. Universidad del Zulia.
- Manual del programa Surfer 8.0

# SOKKIA

## DITAC



GSR2700 ISX

# TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA



ESTACIÓN TOTAL ROBOTIZADA  
SERIE SRX

CONFIANZA, INNOVACIÓN, SATISFACCIÓN. . . SENSACIONES QUE

ENCONTRARÁ EN EL NUEVO PROYECTO DE

SOKKIA ESPAÑA

DITAC SOLUCIONES  
C/Albasanz, 14 Bis. 1ºE  
28037 Madrid  
Tel.: +34 91 440 13 20  
Fax: +34 91 375 95 62

info@sokkiaditac.es  
www.sokkiaditac.es



# ANÁLISIS COMPARATIVO DE SERVIDORES DE MAPAS: COMERCIALES, CÓDIGO ABIERTO Y SERVICIOS GRATUITOS

Monge De La Cruz, Luis Angel - Facultad de Ingeniería, Uni. Autónoma de Baja California - Ensenada Baja California, México  
Torres Herrera, Juan Pablo - Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California - Ensenada Baja California, México  
López Chico, Luz Evelia - Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California - Ensenada Baja California, México  
Navarro Cota, Christian Xavier - Facultad de Ingeniería, Uni. Autónoma de Baja California - Ensenada Baja California, México

## RESUMEN

Los servidores de mapas son parte importante en el proceso de interacción con los datos espaciales; debido a que permiten a los usuarios visualizar los datos espaciales y consultar su información geográfica por medio de una aplicación espacial. En la actualidad existe una amplia variedad de servidores de mapas comerciales, de código abierto y de servicios gratuitos, por ende es indispensable conocer sus fortalezas y debilidades, con la finalidad de ayudar a los usuarios a una toma de decisión efectiva al momento de elegir un servidor de mapas como gestor de aplicaciones espaciales. En el presente artículo analizamos 16 servidores de mapas: 6 comerciales, 5 de código abierto y 5 de servicio gratuito.

**Palabras claves:** servidores de mapas, código abierto, comerciales, servicios gratuitos.

## ABSTRACT

The map servers are very important part in the interaction process with spatial data, because they allow users to view the spatial data and query their geographic information through of a spatial application. At present there are several commercials, open source and free services map servers. Hence it is essential to know their strengths and weaknesses, with the aim of helping users to effective decision-making when choosing a map server like spatial application manager. In this paper we analyze 16 map servers: 6 commercials, 5 open source and 5 free services.

**Keywords:** map server, open source, commercials, free services.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una diversidad de servidores de mapas comerciales, de código abierto y de servicios gratuitos. Tyler Mitchell define a un servidor de mapas como el motor que permite la visualización de mapas en una página web (Mitchell, 2005). Los mapas son generados a partir de datos espaciales que se encuentran almacenados de forma local o remota, es decir los servidores de mapas tienen la capacidad de integrar datos espaciales diversas fuentes de datos.

Los servidores de mapas contribuyen a facilitar de forma rápida y accesible datos espaciales a través de la web (Padrón et al, 2003). El uso de la web como medio de diseminación de mapas puede ser considerado como de los mayores avances en relación a la cartografía y ha abierto nuevas oportunidades como: el desarrollo de aplicaciones espaciales tiempo real, actualizaciones de datos y software con mayor frecuencia y más baratos, la distribución de fuentes de datos y el compartimiento de información geográfica, entre otros (Neumann, 2008). Sin embargo esto ha implicado muchos retos debido a restricciones técnicas, entre las cuales destaca Andreas Neumann: los derechos de autor, el ancho de banda limitado para algunos

dispositivos, cuestiones de seguridad y confiabilidad, entre otros (Neumann, 2008).

Según Tyler Mitchell las características generales que poseen los servidores de mapas son: 1.- generación mapas, 2.-superposición visual de capas de datos espaciales en formato raster o vectorial,3.- capacidad de respuestas a peticiones relacionadas con información descriptiva de los datos espaciales que son visualizados, 4.-las capacidades de geoprocetamiento en referencia a los cambios de proyección geográfica, inserción y edición de nuevos elementos espaciales y 5.- gestión de bases de datos descriptivas (Mitchell,2005).

## 2. ANÁLISIS

### 2.1. Diferencia entre servidores de mapas comerciales, de código abierto y servicio gratuito

Paul Ramsey plantea en su artículo *Mashing up the Enterprise* las diferencias que existen entre los servidores de mapas de servicio gratuito y de código abierto, haciendo énfasis en la persona encargada de desarrollar aplicaciones espaciales.

1. La persona encargada de desarrollar aplicaciones espaciales a partir de servicios gratuitos como Google Maps, no necesita tener un alto nivel técnico para comprender su funcionamiento, solamente requiere conocer los lenguajes HTML y JavaScript o ActionScript (Ramsey, 2006).
2. La persona encargada de desarrollar aplicaciones espaciales a partir de código abierto necesita un amplio conocimiento en bases de datos, UNIX, proyecciones de mapas, formatos de datos espaciales, compilación de software, entre otros (Ramsey, 2006).

Sin embargo Paul Ramsey no menciona a los servidores de mapas comerciales, por lo tanto podrían clasificarse en un nivel intermedio entre los servicios gratuitos y de código abierto para el desarrollo de aplicaciones espaciales. La mayoría de los servidores de mapas comerciales son para sistemas operativos Windows (Ver Tabla 2.1), están exentos de la compilación de software o librerías y en consecuencia los servidores de mapas comerciales normalmente son fáciles de instalar. Sin embargo si es necesario tener conocimientos de bases de datos, proyecciones de mapas, formatos de datos espaciales y lenguajes de programación para crear o modificar las interfaces gráficas de las aplicaciones espaciales.

Normalmente el utilizar servidor de mapas de servicio gratuito ayuda a dar una solución rápida a las necesidades de

un usuario a comparación de los servidores de mapas comerciales o de código abierto que requieren tiempo para su instalación, configuración y uso.

Por otro lado una forma más concreta de diferenciar los distintos servidores de mapas es por el tipo de desarrollo que permiten:

- **Desarrollo Interno:** Capacidad de crear, modificar o mejorar el funcionamiento del servidor de mapas a partir de su código fuente.
- **Desarrollo externo:** Capacidad de crear, modificar o mejorar el lado visual, es decir la aplicación cliente o aplicación espacial.

Con base en la anterior diferenciación, los servidores de mapas de código abierto se sitúan dentro del desarrollo interno como externo, en cambio los servidores de mapas de comerciales y de servicios gratuitos normalmente están restringidos al desarrollo externo.

Por lo tanto es importante conocer las fortalezas y debilidades de un servidor de mapas al momento de emprender un proyecto que involucre el uso de este tipo de tecnologías, ya que algunas veces por desconocimiento se puede elegir un servidor de mapas con funcionalidades limitadas o que no satisfagan las necesidades del usuario.

## 2.2 Características representativas de servidores de mapas de código abierto y comercial

Para la realización de la tabla comparativa de características de servidores de mapas de código abierto (Ver Tabla 1) y comercial (Ver Tabla 2) se consultaron las páginas webs oficiales. Esta tabla está dividida en 8 categorías: nombre, plataforma, desarrollo interno, desarrollo externo, soporte de bases de datos, estándares, formatos soportados, comunidad de usuarios y/o contacto.

Los resultados obtenidos mediante un análisis comparativo son los siguientes:

- De los 11 servidores de mapas, 6 son comerciales y 5 de código abierto.
- De los 11 servidores de mapas, solo 4 podían utilizarse en más de 4 plataformas distintas, 3 servidores de mapas corresponden a licencias comerciales: ArcIMS, ArcGIS Server y MapInfo MapXtreme; y uno de código abierto UMN MapServer.
- De los 11 servidores de mapas solo 5 permiten el desarrollo interno: GeoServer, UMN MapServer, Mapnik, MapGuide OS, Deegree, todos los anteriores de código abierto. Los lenguajes de programación que predominan son: Java y C++.
- De los 11 servidores de mapas, 9 permiten el desarrollo externo, es decir el desarrollo de aplicaciones espaciales o interfaces para conectarse al servidor de mapas, solamente GeoMediaWeb y Mapnik no se encontró información referente al desarrollo al externo.
- De los 11 servidores de mapas, 8 soportan más de 4 bases de datos distintas, 5 servidores de mapas son comerciales: GeomediaWeb, Mapinfo MapXtreme, Manifold, ArcIMS, ArcGIS Server y 3 de código abierto: Deegree, MapServer, Geoserver.
- Todos los servidores de mapas cuentan con estándares de la Open Geospatial Consortium (OGC). La OGC es un consorcio de 382 compañías, agencias gubernamentales y universidades se encarga del desarrollo de estándares para la interoperabilidad del software enfocado a la información geográfica (OGC, 2009).

Nombre	GeoServer 1.7.4	UMN MapServer 5.4.2	MapGuide OS 2.0.2	Mapnik 0.6.0	Deegree 2.2
Plataforma	Windows, Linux, Mac OS	Windows, Linux, Solaris, Mac OS	Windows y Linux	Windows, Linux, Mac OS	Window, Linux
Desarrollo Interno	Java	C	C++	C++, Python	Java
Desarrollo Externo	Javascript, PHP, XML,Java	Mapscript: PHP, Java, Perl, C#,Ruby, Python.	PHP, ASP.NET, Java/JSP y Javascript	-	Java
Bases de datos	Oracle, ArcSDE, DB2, MYSQL, PostgreSQL	ARCSDE, Oracle, PostgreSQL, MySQL	MySQL, Arc SDE, ODBC	PostgreSQL	PostgreSQL, ArcSDE, Oracle, MySQL, ODBC, JDBC, MapInfo
Estándares	WCS, WMS, WFS	WMS, WFS, WMC, WCS, SLD, Filter Encoding, GML, SOS, OM	WMS, WFS	WMS	WMS, WFS, WCS, CSW, SOS, WTS/ WPVS, WSS
Formatos	GDAL y OGR	GDAL y OGR	GDAL, DWF, SHP, SDF	GDAL y OGR	PNG, GIF, JPEG, GeoTif, ECW
Comunidad de usuarios y/o contacto	Si. Correo electrónico, chat y blog	Si. Correo electrónico, chat	Si. Correo electrónico	Si. Correo electrónico y chat	Si. Correo electrónico

Tabla 1. Datos comparativos de servidores de mapas de código abierto



Nombre	ArcIMS 9.2	ArcGIS Server 9.2	Autodesk Enterprise Mapguide	MapInfo MapXtreme 2005	GeoMedia Web	Manifold 8
Plataforma	Windows, AIX, Solaris, HP-UX	Microsoft Windows Server, Linux, Solaris	Windows, Linux	Windows, Solaris, Linux, IBM AIX, HP UX	Windows	Windows
Desarrollo Interno	-	-	-	-	-	-
Desarrollo Externo	.NET, Javascript, Java	APIs para .NET, Java, Javascript y Flex	APIs para .NET, Javascript, PHP	Java, ASP.NET	-	C#, VB.NET, VBScript, JScript, Perl, Python
Bases de datos	SQL Server, Informix, DB2 y Oracle	Oracle, Microsoft Access, SQL Server, Informix, DB2 y PostgreSQL	Oracle, SQL server	DB2, SQL Server, Informix, Oracle	MGE, MGE Segment Manager, Oracle, Access, SQL Server	Oracle, DB2, PostgreSQL, SQL Server, MYSQL
Estándares	WMS, WFS	WMS, WCS, WFS, WFS-T, locator, globe,	-	WMS, WFS.	WMS, WFS, S OAP/WSDL, OPENLS,	WMS, WFS-T
Formatos	DWG, DXF, DGN, SHP, JPEG, GIF, entre otros	ENVI, JFIF, ECW, JPEG, GIF, SHP, VPF, KML, etc.	DWF	TAB, JPEG, TIFF, GeoTIFF, SHP, Northwood	SVG, JPEG, PNG, ActiveCGM Vector Format	SHP, MID/MIF, TIGERline, TAB, NTF, DGN, BMP, GIF, JPEG, entre otros.
Comunidad de usuarios y/o contacto	Si. Foros y correo electrónico	Si. Foros y correo electrónico	Si. Blogs, correo electrónico	Si. Foro	No	Si. Foro

Tabla 2. Datos comparativos de servidores de mapas comerciales

Compañía	Servicio	Lenguajes
GOOGLE	Google Maps	JavaScript y ActionScript
YAHOO	Yahoo Maps	Ajax, ActionScript.
AOL	MapQuest	C++, Action Script, Java, JavaScript y .NET
Microsoft	Live Search Maps	JavaScript
NAVTEQ	Map24	Ajax, Java, C#.NET, VB .NET, PHP 5, c++

Tabla 3. Datos comparativos de servidores de mapas de servicio gratuito

- De los 11 servidores de mapas 10 contaban con el soporte de diversos formatos vectoriales y raster, algunos de los servidores de mapas en sus páginas web hacían referencia a que eran compatibles con GDAL y OGR, que son un conjunto de librerías que dan el soporte de diversos formatos raster y vectoriales respectivamente (GDAL, 2009). En cambio otros solamente indicaban solo los formatos con los que eran compatibles.
- De los 11 servidores de mapas, solo Geomedia Web Map no cuenta con algún medio electrónico o comunidad de usuarios que permita externar dudas en relación al desarrollo de aplicaciones espaciales.

Los servidores de mapas de código abierto en comparativa con los servidores de mapas comerciales representan buena elección para los usuarios, debido a que permiten el desarrollo tanto interno como externo, no implican un costo económico, la mayoría son multiplataforma y cuentan con estándares de la OGC, soporte de diversas bases de datos y formatos raster y vectoriales; además existen comunidades o medios de contacto para cada uno de los servidores, donde un usuario puede retroalimentarse en cuanto su uso y características. Este tipo de servidores de mapas son *ad hoc* para usuarios exigentes que desean desarrollar apli-

caciones espaciales según sus gustos o con interés en contribuir en el mejoramiento del servidor de mapas; la posible limitante que pueda tener un usuario, es el conocimiento o habilidades que tenga entorno al lenguaje de programación interno y externo del servidor de mapas.

En el caso de los servidores de mapas comerciales son una alternativa para las empresas u organizaciones que están dispuestas a pagar un costo económico por un servidor de mapas, pero con la condicional de que estos ofrezcan una solución rápida, sencilla de instalar y configurar, que no tengan defectos (*bugs*) y que las características que manejen sean sofisticadas o que ninguno de los otros servidores de mapas de código abierto o servicio les proporcionen. Normalmente una organiza-

ción o empresa tiende a adquirir un servidor de mapas comercial a consecuencia de que estos les brindan la seguridad y garantía de su funcionamiento, además este tipo de servidores de mapas son menos complicados de instalar y configurar, no es necesario un conocimiento avanzado para realizar estas actividades. En contraparte los servidores de mapas de código abierto requieren que el usuario tenga conocimientos avanzados si éste se instala bajo un sistema operativo Linux debido a la compilación de librerías, configuración e instalación del servidor de mapas, en el caso de que la instalación de los servidores de mapas de código abierto se realice en una plataforma Windows, no existe complicación, porque hay soluciones integrales o paqueterías que contienen las librerías compiladas, el servidor web y el servidor de mapas.

### 2.3 Características representativas de servidores de mapas de servicios gratuitos

Los servidores de mapas: Google Maps, Yahoo Maps, Live Search Maps, Map24 y Mapquest; son conocidos como servicios gratuitos, esto se debe a que proporcionan a los usuarios: mapas, imágenes satelitales, videos, información de tráfico vehicular, información climática y funciones de localización de sitios (ciudades, países) de manera gratuita. Sin embargo el hecho de definirlos como gratuitos, no implica que un usuario quede exento de regirse bajo ciertas condiciones de uso. Tal como lo expresa en su página web GOOGLE acerca del servicio gratuito google maps: 1. " Un usuario no podrá copiar, modificar, crear trabajos derivados, realizar trabajos de ingeniería inversa, desensamblaje o tratar de descubrir el código fuente del Software o de cualquier parte del mismo salvo por lo expresamente permitido o exigido por Ley, o salvo que Google le haya autorizado expresamente y por escrito a llevar a cabo tales actuaciones." (GOOGLE,2009)

A pesar de tener ciertas restricciones de uso los servicios gratuitos, estos disponen de APIs (*Interfaz de Programación de Aplicaciones*), Ray Horak define una API como

una aplicación que contiene un conjunto de rutinas las cuales permiten que otra aplicación interactúe con la aplicación que contiene las rutinas (Horak,2008).

Las compañías proveedoras como GOOGLE y YAHOO delimitan las funcionalidades y lenguajes de programación que se pueden utilizar sobre los servicios gratuitos que proveen mediante el uso de APIs. En el caso de las compañías Google y Yahoo permiten a un usuario insertar en su sitio web los servicios gratuitos (Google Maps, Yahoo Maps), manipular mapas, crear interfaces gráficas y añadir contenidos con la ayuda de la API propietaria de cada compañía, haciendo hincapié en que es necesario contar con una cuenta de usuario para realizar las actividades antes mencionadas.

En relación a los lenguajes de programación (APIs) soportados por los servidores de mapas de servicios gratuitos son distintos para cada una de las compañías proveedoras de servicios (Ver Tabla 3).

De los 5 servidores de mapas de servicios gratuitos mostrados en la tabla anterior, podemos destacar lo siguiente:

- A pesar de MapQuest y Map24 no son las principales proveedoras de servicios gratuitos, si poseen una mayor cantidad de APIs soportadas a comparación de Yahoo Maps, Google Maps y Live Search Maps; lo que beneficia ampliamente a los usuarios, debido a que pueden elegir el lenguaje de programación que mejor se adapte a sus necesidades o limitaciones en cuanto al manejo de algún lenguaje.
- Live Search Map de Microsoft solamente permite el uso de una API Javascript
- Google Maps y Yahoo Maps las dos grandes empresas proveedoras de servicios gratuitos solamente permiten la interacción por medio de dos APIs, JavaScript y ActionScript en el caso de Google Maps y para Yahoo Maps Ajax y ActionScript.

Los servidores de mapas de servicios gratuitos son frecuentemente utilizados cuando el usuario u organización no cuenta con una infraestructura o recursos económicos que permitan construir un entorno de trabajo para el funcionamiento de un servidor de mapas y sus fuentes de datos. Las proveedoras de servicios GOOGLE, YAHOO, MICROSOFT, AOL y NAVTEQ permiten a los usuarios utilizar los servidores de mapas de servicios gratuitos de forma sencilla y amigable; proporcionado una solución rápida a la necesidad de un usuario como: la ubicación de una oficina, centros recreativos de una ciudad, población, entre otros; sin embargo es importante tomar en cuenta las limitaciones que cada una de las proveedoras de servicios designan a los usuarios: ya que de eso dependerá los alcances de la aplicación espacial que pueda generar un usuario.

### 3. CONCLUSIONES

Para elegir un servidor de mapas es necesario que el usuario u organización conozca en primera instancia las necesidades, tiempo de desarrollo, costos y posibles alcances de la aplicación espacial que se desarrollará y soportará en un servidor de mapas, de esta forma la toma de decisiones respecto al servidor de mapas idóneo será relativamente más sencillo de llevar a cabo; ya que con base a las características que analizaron de los servidores de mapas

de código abierto, servicios gratuitos y comerciales en este artículo, ayudará a los usuarios a identificar las capacidades y limitantes de los servidores de mapas en correlación con el tipo de aplicación espacial que se desea generar. Los servidores de mapas servicio gratuito son para el desarrollo de aplicaciones espaciales que den un solución inmediata a la necesidad de un usuario, sin complicaciones de instalarlo o configurarlo. Los servidores de mapas comerciales son para usuarios que buscan la seguridad y garantía en relación a su funcionamiento. Los servidores de mapas de código abierto son para usuarios que buscan ir mas allá de las funcionalidades que ofrece el servidor de mapas, que quieren desarrollar su aplicación espacial a modo, según sus conocimiento o habilidades, que tienen la motivación de contribuir al mejoramiento interno del servidor de mapas.

### REFERENCIAS

- GDAL (Consulta: 20-01-2009) Geospatial Data Abstraction Library. Disponible en: <http://www.gdal.org/>
- GOOGLE (Consulta: 2-05-2009) Condiciones de uso del servidor de mapas de servicios gratuitos Google Maps. [http://maps.google.com/help/terms\\_maps.html](http://maps.google.com/help/terms_maps.html)
- Horak, Ray (2008) Webster's New World Telecom Dictionary. Editorial Wiley. Indianapolis ISBN 978-0-471-77457-0. 568 pp
- Mitchell, Tyler (2005) Web Mapping Illustrated. Editorial O'Really, California. ISBN 0-596-00865-1. 368 pp
- Neumann, Andreas (2008) Encyclopedia of GIS - Web Mapping and web cartography. Editorial Springer, New York. ISBN 978-0-387-35975-5. pp.1263
- OGC (Consulta: 20-04-2009) Open Geospatial Consortium. Disponible en: <http://www.opengeospatial.org/>
- Padrón Diego, Prado Elena, Chuvieco Emilio (2003) Empleo de servidores cartográficos en internet para la gestión y manejo de desastres. Foro Euro Mediterráneo sobre prevención de catástrofes.
- Recurso digital: [http://www.proteccioncivil.org/es/DGPCE/Informacion\\_y\\_documentacion/catalogo/carpeta04/foroEuroMediterraneo2003/cd/docs/seminario/sesion2/S2-4.pdf](http://www.proteccioncivil.org/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta04/foroEuroMediterraneo2003/cd/docs/seminario/sesion2/S2-4.pdf)
- Ramsey, Paul (2006) Mashing up the Enterprise (Consulta: 20-01-2009). Disponible en: <http://www.refractions.net/expertise/whitepapers/mashups/mashups/>
- Servidor de mapas comercial ArcIMS (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcims/index.html>
- Servidor de mapas comercial ArcGIS (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver/index.html>
- API del Servidor de mapas de servicios gratuitos Google Maps (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/>
- API del Servidor de mapas de servicios gratuitos Map24 (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://developer.navteq.com/site/global/zones/ms/index.jsp>
- API del Servidor de mapas de servicios gratuitos MapQuest (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: [http://developer.mapquest.com/Library/SDK\\_Documentation/](http://developer.mapquest.com/Library/SDK_Documentation/)
- API del Servidor de mapas de servicios gratuitos Live Search Map (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://maps.live.com/>
- API del Servidor de mapas de servicios gratuitos Yahoo Maps (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://developer.yahoo.com/maps/>
- Servidor de mapas de código abierto Deegree (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.deegree.org/>
- Servidor de mapas comercial GeoMedia Web (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.intergraph.com/sgi/products/>
- Servidor de mapas de código abierto GeoServer (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://geoserver.org>
- Servidor de mapas de servicios gratuitos Google Maps (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://maps.google.es>
- Servidor de mapas de servicios gratuitos Map24 (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://www.mx.map24.com/>
- Servidor de mapas comercial Autodesk MapGuide Enterprise (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?fid=6546938&siteID=123112>
- Servidor de mapas de código abierto MapGuide OS (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://mapguide.osgeo.org/>
- Servidor de mapas comercial Manifold (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.manifold.net>
- Servidor de mapas de código abierto Mapnik (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.mapnik.org/>
- Servidor de mapas de servicios gratuitos MapQuest (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://www.mapquest.com/>
- Servidor de mapas de código abierto UMN MapServer (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://mapserver.org>
- Servidor de mapas comercial MapInfo MapXtreme (Consulta: 8-01-2009). Disponible en: <http://www.mapinfo.com/products/developer-tools/desktop%2c-mobile-%26-internet-offering/mapxtreme-java>
- Servidor de mapas de servicios gratuitos Yahoo Maps (Consulta: 2-05-2009). Disponible en: <http://espanol.maps.yahoo.com/>



# NORMAS PARA AUTORES

## CONTENIDO

Mapping es una revista internacional en lengua española que publica artículos sobre Ciencias de la Tierra con un enfoque tanto investigativo como profesional. Mapping no es una revista especialista sino generalista donde se publican artículos de Topografía, Geodesia, SIG, Medio Ambiente, Teledetección, Cartografía, Catastro, Turismo y Ciencias de la Tierra en general. El amplio campo cubierto por esta publicación permite que en ella el lector, tanto científico como técnico, pueda encontrar los últimos trabajos publicados con las nuevas investigaciones y desarrollos en el campo de las Ciencias de la Tierra en la comunidad hispanohablante.

La revista Mapping invita a los autores de artículos en el campo de las Ciencias de la Tierra a la colaboración mediante el envío de manuscritos para su publicación, según las siguientes normas:

## ESTILO

El artículo será enviado como documento de texto con las siguientes normas de estilo:

- La fuente será "Times New Roman" a tamaño 12.
- Interlineado a doble espacio.
- Sin espaciado adicional al final o al principio de los párrafos.
- Justificación en ambos laterales.
- Títulos de los diferentes apartados y subapartados del artículo ordenados de manera numérica, en mayúsculas y en negrita.
- Tamaño del papel DIN A4.
- Márgenes verticales y laterales de 2,5 cm.
- No se admiten encabezados ni pies de página.

## LONGITUD

La longitud de los artículos no está establecida, recomendándose una extensión en torno a las 10 páginas para el texto con el estilo propuesto.

## SISTEMAS DE UNIDADES

Salvo excepciones que serán evaluadas por el Comité Editorial el sistema de unidades será el Sistema Internacional.

## FORMULAS MATEMÁTICAS

Las fórmulas matemáticas se incluirán en el cuerpo de texto en una línea aparte y con justificación centrada. Las fórmulas se numerarán correlativamente por su orden de aparición con su número entre paréntesis a la derecha.

## TABLAS

Las tablas se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación del texto, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final se incluirá una línea con la palabra "tabla" y su número en mayúsculas, con justificación centrada.

El diseño de las tablas será tal que permita su lectura con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho).

En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

## FIGURAS

Las figuras se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación de las tablas, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final y se incluirá una línea con la palabra "figura" y su

número en mayúsculas, con justificación centrada. El diseño de las figuras será tal que permita su visibilidad con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho). Se admiten figuras en blanco y negro y color.

## REFERENCIAS

En el cuerpo del texto del artículo las referencias se citarán por el apellido del autor y el año de publicación separados por una coma y entre paréntesis. Las referencias se incluirán al final del texto como un apartado más del mismo y se documentarán de acuerdo al estándar cuyo modelo se incluye a continuación:

### LIBROS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título. Edición. Editorial, ciudad de publicación. Número de páginas pp.*

### REVISTAS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del artículo. Revista, número (volumen), pp: página de inicio-página final.*

### DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del documento. Enlace de Internet.*

En todos los casos se incluirán tantos autores como figuren en las referencias.

**No se admitirán artículos sin referencias.**

## FORMATO DEL MANUSCRITO

El documento que será enviado al comité editorial en el siguiente formato:

### HOJA DE PORTADA

En la hoja de portada se incluirán los siguientes datos

### TÍTULO

El título del artículo deberá tener menos de 15 palabras y estar escrito en español e inglés.

### AUTORES Y FILIACIÓN

A continuación del título se incluirán los autores en el orden de aparición, sus datos de filiación y contactos en el siguiente formato:

*Apellido, nombre.*

Institución o empresa. Teléfono.

Correo electrónico. País

### ARTÍCULO

El artículo estará formado por el cuerpo del texto, las tablas y figuras. **Irá precedido de su título en mayúsculas, un resumen de 100-200 palabras y palabras claves, todo ello en español e inglés.** El artículo comenzará en una hoja aparte y no contendrá ningún dato de los autores para la revisión anónima del mismo. La estructuración de los artículos es decisión de los autores pero se recomienda la estructura habitual en los artículos en publicaciones científicas.

### ENVIO DE LOS MANUSCRITOS

Los manuscritos serán enviados en formato digital, preferentemente PDF o WORD a la dirección de correo electrónicos [manuscritos@mappinginteractivo.com](mailto:manuscritos@mappinginteractivo.com)



[Reload](#)[Images](#)[Open](#)

# MAPPING INTERACTIVO

## La revista temática de ciencias de la tierra ahora en Internet.

*Una nueva apuesta en el mercado de Internet*

Mapping, entra en Internet para ofrecer información, artículos de interés técnico, noticias y servicios en el nuevo medio que esta revolucionando las comunicaciones. Internet, la red de redes ya cuenta con la primera revista de ciencias de la tierra de habla hispana.

## Artículos y noticias de Mapping.



Artículos de Mapping ahora en internet. Las últimas noticias y tendencias del mercado serán reflejadas en Mapping Interactivo. Artículos y casos reales, todo para informar al mercado de ciencias de la tierra de nuevos productos, nuevos casos prácticos, entrevistas...

[www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com)

## Una serie de servicios a su disposición.

Mapping Interactivo es más que una revista en internet, ofrece servicios relacionados con el mundo de la cartografía y sistemas de información geográfica, tales como cotización de los valores de GIS en el índice industrial norteamericano, nuevas publicaciones, biblioteca de artículos de números pasados que por su valor técnico hayan sido de su interés o imágenes meteorológicas de satélite.

## Una ventana al mercado Latinoamericano.

Mapping Interactivo es la primera revista de ciencias de la tierra con proyección en el mercado de habla hispana. Si su empresa desea promocionarse en Iberoamérica, Mapping Interactivo va a ser el medio de poder llegar a la comunidad de ciencias de la tierra de una manera rápida, eficiente y a un bajo coste. En el apartado Mapping Iberoamérica habrá artículos de interés de países de América Latina. La base de datos de Mapping Interactivo enviará información continua a empresas del sector en Iberoamérica y estará presente en todos los buscadores de Web de habla hispana.

inicio - Microsoft Internet Explorer

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

← → × ↻ 🏠 🔍 📌 🕒 📄 🖨

Dirección <http://www.mappinginteractivo.com>

SheltorGis  
Digitalización en Cartografía

**MAPPING INTERACTIVO**  
Abril 2000  
La revista temática interactiva de ciencias de la tierra

ESFERA  
Soluciones con futuro

EN ESTE NÚMERO

En este número

Noticias

Mapping Iberoamérica

Índice de Anunciantes

Bolsa (valores del GIS)

Bolsa de trabajo

Direcciones Enlaces

Eventos

Concursos

Redacción

Meteorología

Buscador

NOTICIAS

[www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com)



# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA EXTINCIÓN DE LA FAUNA VERTEBRADA DEL CUATERNARIO CUBANO

Dr. Efrén Jaimez Salgado<sup>1</sup>, Dr. Fernando Ortega Sastriques<sup>2</sup>,

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía, Ciudad de la Habana, Cuba.

(2) Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, provincia La Habana, Cuba.

## RESUMEN

Se ofrecen nuevas consideraciones sobre la existencia de un proceso natural de calentamiento de la atmósfera terrestre desde los últimos 15 000 años al presente (AP) y el papel del hombre como factor de reforzamiento de estas condiciones. Se discute el papel de este proceso de calentamiento desde el último máximo glacial factor decisivo en la extinción de la gran fauna de vertebrados terrestres del Cuaternario de Cuba, sin menoscabo de la influencia ejercida por la colonización temprana de grupos humanos en el Caribe insular. Se muestran curvas de distribución geográfica por provincias de los sitios y depósitos paleontológicos hallados en cavernas, con una tendencia marcadamente creciente hacia el Occidente y Centro del país, lo que sugiere, junto a otras evidencias presentes en el registro edáfico, la existencia de mejores condiciones paleoclimáticas para el establecimiento y adaptación de la gran fauna vertebrada cubana en estas regiones, por lo menos desde el Pleistoceno superior hasta el presente.

## ABSTRACT

New considerations on the existence of a natural process of warming in the earth atmosphere from the last 15 000 years before present (BP) and the role of human society as a factor reinforcing these conditions are offered. The role of this process as a decisive factor in the extinction of the large fauna of earth vertebrates from the Cuban Quaternary is discussed, without minimizing the importance of the influence of early colonization by human groups in the Caribbean islands. The geographic distribution curves of paleontological deposits and sites in caves are shown by provinces, with a clearly marked trend towards the western and central areas of islands which suggests, together with other evidences in the edaphic register, the existence of better paleoclimatic conditions for the establishment and adaptation of the large Cuban vertebrate fauna in these regions, at least from the early Pleistocene to the present.

## INTRODUCCION

No hay dudas de que el clima de la Tierra está cambiando. Las principales pruebas de este cambio están dadas por el aumento de la temperatura media global de la atmósfera en 0.6° C durante la pasada centuria, así como el incremento en los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2g</sub>), desde unas 280 ppm en el año 1958 (Año Geofísico Internacional), hasta más de 350 ppm en el momento actual.

Otras pruebas elocuentes lo son también, el retroceso de la línea costera por el aumento del nivel medio del mar a escala global, el blanqueado de corales en los mares tropicales, el retroceso de la línea de nieves perpetuas y de la zona de ablación de los glaciares, el incremento en la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, tales como intensas lluvias y sequías desastrosas, etc. Sin embargo, aún cuando lo anterior es una realidad cada día menos cuestionable, la pregunta en pie sigue siendo la que relaciona el impacto causado al medio ambiente por la

actividad irracional del hombre como única causa del cambio climático.

En ese sentido, los autores de este trabajo hacen algunas reflexiones que, aún no negando el papel jugado por el hombre en el recalentamiento de la atmósfera terrestre, consideran no obstante que el mismo es de origen esencialmente natural, como parte de una curva sinuosa de temperaturas, con tendencia central ascendente, desde el último máximo glacial al presente.

## DISCUSION

Cada vez hay menos dudas de que el clima del planeta está cambiando. El gráfico que se muestra en la Fig. 1 permite comprobar la presencia de una curva de valores de Pg de Carbono atmosférico por años con sólo ligeras oscilaciones y una marcada tendencia ascendente, resultado del llamado efecto invernadero.

Aún cuando lo anterior es una realidad, la pregunta en pie sigue siendo la que relaciona como única causa del cambio climático, el impacto ambiental provocado por la actividad irracional del hombre, debido a la emisión incontrolada de los gases de efecto invernadero.

En el año 2000, el Instituto de Geofísica y Astronomía (CITMA) concluyó la Fase II del proyecto denominado "*Paleoclima del Cuaternario Cubano: una Caracterización Cuantitativa*" el cual formó parte del Programa Nacional de Cambio Climático y Evolución del Medio Ambiente en Cuba. Como resultado de este proyecto, Pajón et al (2001) encontraron una significativa diferencia de temperaturas en la atmósfera del Occidente del país a finales del Pleistoceno, de hasta 9.5 °C, con una línea de tendencia central al calentamiento climático según estos autores, desde los últimos 14 960 ± 60 años por C<sup>14</sup> al presente. Las gráficas que se muestran a continuación, tomadas de Pajón et al (Op. Cit) confirman lo antes expuesto. En todos los casos, las curvas de paleotemperaturas mostradas en las figuras 2 a la 5, de acuerdo con Pajón et al (Op. Cit), determinadas a partir del análisis de isótopos estables de O18 en muestras de calcita de la Cueva de las Dos Anas, Sistema Cavernario Majaguas - Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba, muestran una curva marcadamente sinuosa, con una notable tendencia central al calentamiento desde el final de la glaciación de Wisconsin en Norteamérica hasta nuestros días, lo que sugiere que el calentamiento de la atmósfera terrestre, por lo menos en esta región, es parte de un proceso esencialmente natural, como consecuencia del fin del último máximo glacial y el establecimiento del interglacial holocénico dentro del cual vivimos.

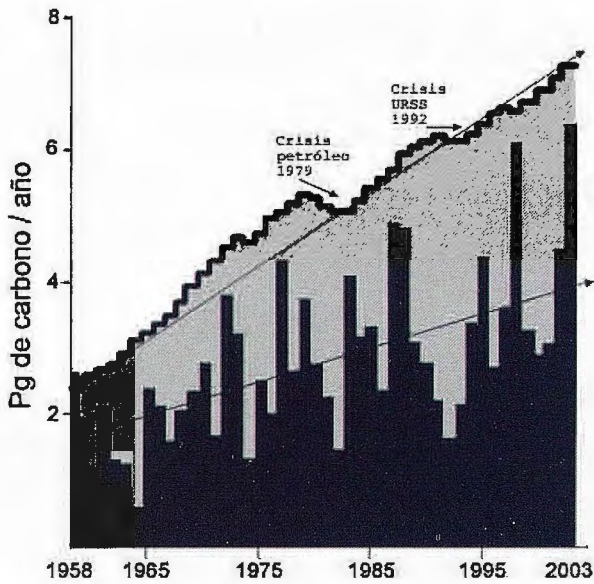
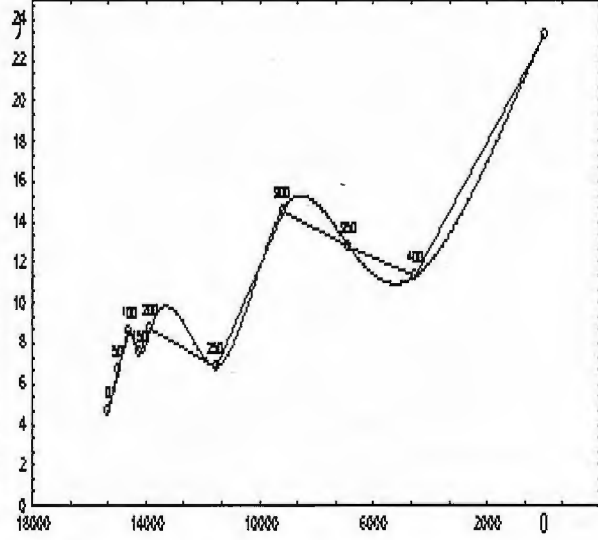
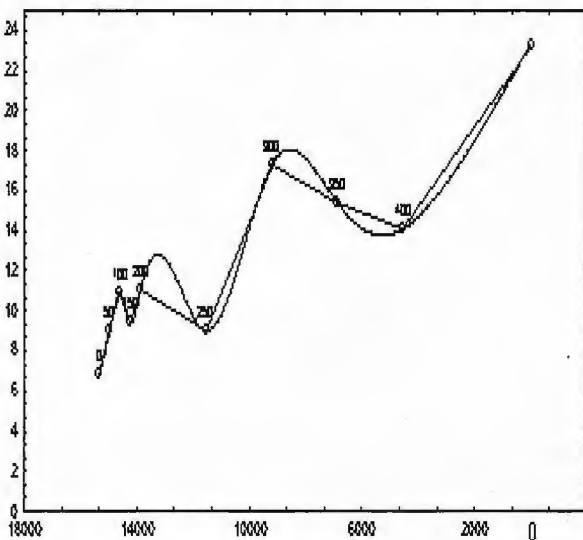
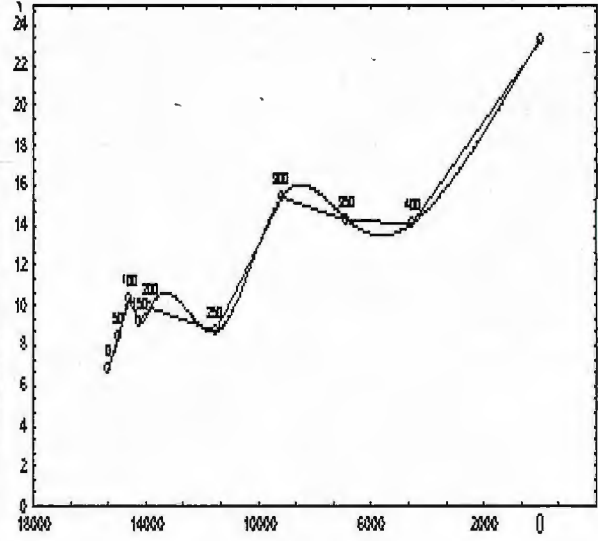
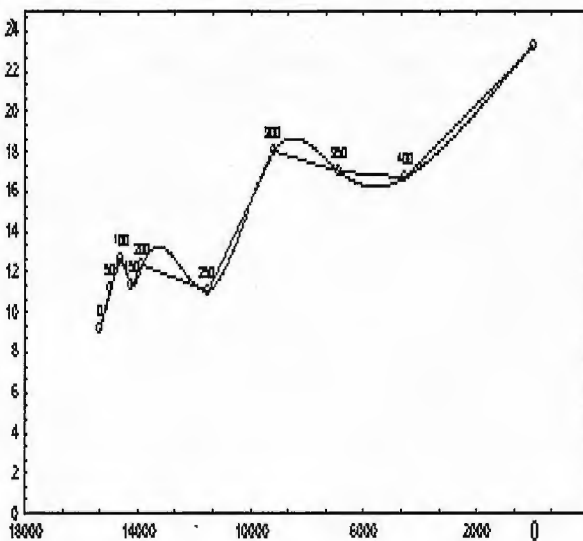


Fig. 1 Gráficos del comportamiento ascendente del del  $\text{CO}_2$  en forma de petagramos de Carbono (1 Pg de C es equivalente a 1000 000 000 de toneladas de C en la atmósfera terrestre)

Fuente: <http://homepage.mac.com/uriarte/tco2.html>

Lo anterior no significa que los autores de este trabajo nieguen el papel de los gases del llamado efecto de invernadero en un proceso antropogénico de "recalentamiento" de la atmósfera terrestre, lo cual es a nuestro juicio un hecho, considerando el incremento de los niveles de  $\text{CO}_2$  gaseoso en más de 100 ppm desde 1958 a la fecha; sin embargo consideran en cambio que en este caso, lo que el hombre está haciendo realmente es reforzar todavía más, un proceso que ya estaba en marcha, por lo menos desde los últimos 15 000 años AP., cuya base es esencialmente natural, contribuyendo de esta forma con su acción irracional e insostenible, a hacer más sofocante el clima ya cambiante de nuestro planeta. Pero el punto de partida de estos cambios estarían condicionados en todo caso por un conjunto de causas naturales, básicamente astronómicas, como pueden ser las variaciones cíclicas en la oblicuidad del eje de rotación terrestre y cambios en la excentricidad de la órbita de la Tierra (Milankovitch, 1920; 1930; 1941; Sanhueza, 2005), así como otras posibles causas astronómicas, aún no del todo esclarecidas.



Figuras 2, 3, 4 y 5. Curvas isotópicas desde el Último Máximo Glacial (14 960 años según fechado por  $\text{C}^{14}$  al presente, obtenidas por Pajón et al, 2001), a partir de los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  en las muestras 1-9 tomadas en la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas. Cada punto tiene como referencia los valores de las alturas (mm) de la estalagmita, y el punto 0 en el eje de Edad representa como referencia el año 1998. a) Curva de  $P_T$  vs edad, calculada a partir de los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$  (Scotland LAB.) y un  $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}} = -2.62\text{‰}$ . b) Curva de  $P_T$  vs edad, calculada a partir de los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$  (Scotland LAB.) y un  $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}} = -3.26\text{‰}$ . c) Curva de  $P_T$  vs edad, calculada a partir de los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$  (Florida LAB.) y un  $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}} = -2.62\text{‰}$ . d) Curva de  $P_T$  vs edad, calculada a partir de los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$  (Florida LAB.) y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}} = -3.26\text{‰}$ .



## La extinción de la gran fauna vertebrada del Pleistoceno de Cuba

De acuerdo con Arredondo y Varona (tomado de Iturralde - Vinent, 1988), casi el 50 % de nuestra gran fauna autóctona se extinguió durante el Pleistoceno. Estas cifras son mucho más alarmantes, si consideramos datos tomados de Jiménez y Condís (2003), que aseguran que de unas 152 especies de vertebrados terrestres, por lo menos el 85 % desapareció completamente durante el período Cuaternario, lo que representa una extinción nada menos que del 78.7 % del total de nuestra fauna autóctona. La tabla siguiente, ofrece una idea más acabada de este fenómeno de gran extinción en el contexto nacional, el cual representa más de  $\frac{2}{3}$  del total de nuestra gran fauna vertebrada del período Cuaternario.

Numerosos autores han considerado que el rol protagónico de este proceso de extinción lo jugó la entrada y colonización temprana de grupos humanos en el Caribe insular, producto del impacto negativo ocasionado por el hombre sobre la fauna autóctona, visto esto desde dos direcciones: la utilización de una parte importante de aquella fauna como alimento y la destrucción gradual y progresiva de los hábitats y ecosistemas por la tala y desarrollo de la Agricultura (Rouse y Allaire, 1978; Morgan y Woods, 1986; MacPhee et al, 1989; Jaimez et al, 1992; Arredondo, 1999; Gutiérrez y Jaimez, 2007, etc). Sin embargo, los autores de este trabajo consideran que semejante extinción, no puede atribuirse única y exclusivamente al proce-

so de colonización humana (*antropogénesis*) del Caribe insular y con él, de la mayor de Las Antillas, como se plantea anteriormente.

Aún cuando resulta comprensible que el hombre contribuyó notablemente con este proceso de extinción de la esta gran fauna vertebrada, resulta obvio a nuestro juicio, que los cambios climáticos de finales del Pleistoceno, incluido el marcado recalentamiento abrupto encontrado para el occidente de Cuba por Pajón et al (Op. Cit), posteriormente al último máximo glacial, tuvieron un importantísimo papel en este proceso de extinción, ya que todo indica que por lo menos algunos grupos de vertebrados terrestres, como el caso de los monos endémicos del género *Paralouatta*, no estuvieron en contacto con nuestras poblaciones aborígenes, dado que no aparecen en estratos arqueológicos, y dado el alto grado de fosilización a su vez presente en los materiales paleontológicos colectados, lo que da lugar junto a otras evidencias, a su aparente antigüedad (Jaimez et al, 1990; Gutiérrez y Jaimez, 2007). Por otra parte, no es posible asumir que la extinción de toda esta *megafauna* de mamíferos y de otros vertebrados terrestres, pueda ser únicamente consecuencia del poblamiento temprano (*antropogénesis*) del Caribe insular, tomando como criterio, el hecho de que el fechado absoluto realizado hasta el momento en Cuba y en otras de las grandes Antillas, arrojen edades que se enmarcan en casi todos los casos dentro del Holoceno o Actual, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Nivel Taxonómico	Vivientes	Extintas	Por ciento
Clases	4	0	0
Ordenes	26	3	13,04
Familias	47	7	17,5
Géneros	85	29	51,7
Especies	152	85	78,7

Tabla I. Relación entre la fauna fósil y viviente del Cuaternario de Cuba, de acuerdo con Jiménez y Condís (2003)

ESPECIE	LOCALIDAD	FECHADO CALIBRADOS
<i>Megalocnus rodens</i>	Solapa del Sílex, Cuba	4 190 ± 40 a. AP
<i>Parocnus brownii</i>	Las Breas de San Felipe, Cuba	4 960 ± 280 a. AP
<i>Megalocnus rodens</i>	Cueva de Beruvides, Cuba	6 330 ± 50 a. AP
<i>Neocnus comes</i>	Trouing Ismays, Haití	4 391 ± 42 a. AP
<i>Neocnus comes</i>	Trouing Deron, Haití	4 486 ± 39 a. AP
<i>Neocnus comes</i>	Trouing Attie, Haití	6 161 ± 45 a. AP
<i>Neocnus comes</i>	Trouing Jeremie, Haití	6 875 ± 47 a. AP

Tabla II. Algunos fechados absolutos por  $C^{14}$  de vertebrados terrestres del orden Edentata (Pilosa) correspondientes al Holoceno, en el registro fósil de Las Antillas  
Fuentes: Steadman et al (2005) y MacPhee et al (2007)

El mero hecho de que dispongamos de apenas 7 fechados absolutos de edentados obtenidos por  $C^{14}$ , correspondientes al Holoceno o Actual, para dos de las islas de las grandes Antillas, más unos pocos fechados más por método del colágeno obtenidos en Cuba con edades similares, no debe ser un criterio serio y definitivo para asumir que toda esta gran fauna de grandes mamíferos, se haya extinguido completamente dentro del Holoceno, o lo que es igual, dentro del período de ocupación humana de Las Antillas. Es imposible admitir que unas pocas muestras de eden-

tados, fechadas por métodos absolutos (de los cuales sólo siete se obtuvieron por método de radiocarbono), pudieran ser representativas de una población estadística de esa gran fauna, que evidentemente habitó en estas islas durante todo el período Cuaternario, por lo que a nuestro juicio, tampoco resultaría representativo de la enorme extinción ocurrida a finales de este período en nuestra área geográfica.

Aunque es obvio, de acuerdo con los fechados absolutos, que al menos la muestra estadística con que se cuenta es

de edad holocénica, esta coincidencia con el Actual (Holoceno) puede estar dada, porque el material paleontológico fechado proviene mayormente de niveles bajos de cavernamiento y de sitios de ocupación humana (arqueológicos), donde los animales pudieron haber sido cazados para ser utilizados como dieta, pero que formaban parte de una población que ya estaba en proceso de franca declinación, como consecuencia de los cambios climáticos bruscos, verdaderamente dramáticos para la fauna, de finales del Pleistoceno.

queña solapa colgada en lo alto de la Sierra de la Güira, grupo montañoso de la Sierra de los Órganos, pertenecientes a *Tyto noeli* (lechuza gigante fósil), con un fechado absoluto por  $C^{14}$  del orden de los 17 400 años AP (*Condis, M. Com. Pers*), lo que habla por sí solo, a favor de las ideas expresadas antes por los autores.

Un hecho de particular interés en relación a las grandes extinciones de vertebrados terrestres de Cuba durante el Pleistoceno - Holoceno, lo es sin dudas la marcada distribución geográfica desigual de los depósitos paleon-

Distribución por provincias de los depósitos fosilíferos del Cuaternario de Cuba

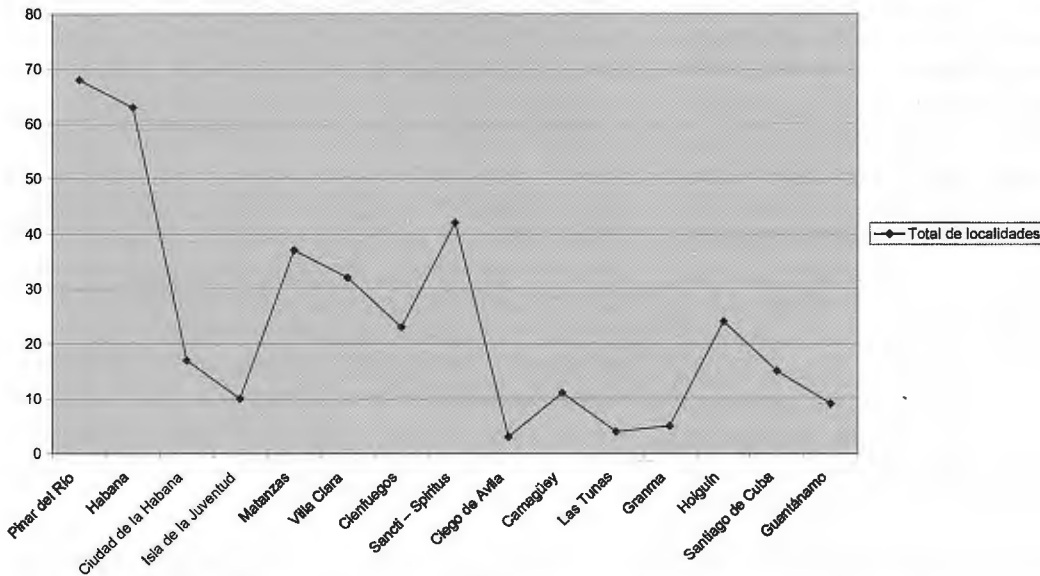


Fig. 6. Distribución de los depósitos de vertebrados terrestres fósiles del Cuaternario de Cuba. Elaborado por los autores, de acuerdo con datos de Condis et al (2008).

### Valores medios de Mg cambiante en suelos de Cuba

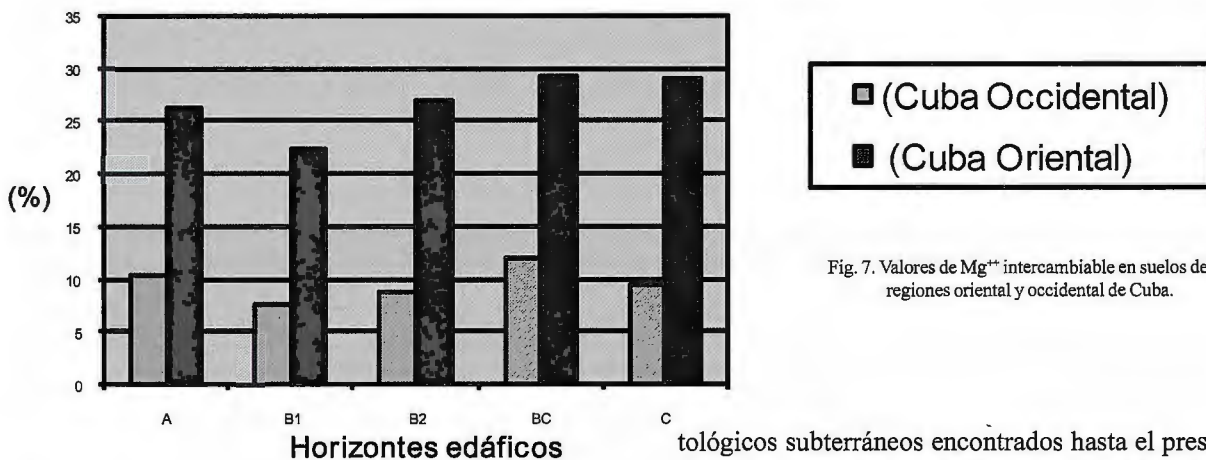


Fig. 7. Valores de  $Mg^{++}$  intercambiable en suelos de las regiones oriental y occidental de Cuba.

Otra sería a nuestro juicio la situación, si contáramos con buenos fechados de sitios paleontológicos no perturbados por grupos humanos precolombinos, y en particular, si pudiéramos con fechados absolutos de vertebrados terrestres enterrados bajo grandes capas de travertina fósil, en niveles de cavernamiento más altos (por ende antiguos), así como el caso de gran parte del material paleontológico de primates recuperados por miembros del Grupo "Pedro Borrás" de la Sociedad Espeleológica de Cuba, en las cuevas del Mono Fósil y Cueva Alta, Sierra de Galeras, Pinar del Río, Cuba (Jaimez et al, 1992; Jaimez y Gutiérrez, 1992, Gutiérrez y Jaimez, 2007). En este sentido, hay que decir que sólo se cuenta hasta el momento con la datación absoluta de restos encontrados en la Cueva del Abrón, una pe-

tológicos subterráneos encontrados hasta el presente, entre las regiones Oriental, Central, y Occidental del país, tal y como se ilustra en la Fig. 6, donde se aprecia un mayor número de depósitos fosilíferos en las provincias occidentales y centrales, en relación con lo que sucede en la parte oriental de Cuba. El análisis de la gráfica permite comprobar, la existencia de una marcada tendencia al incremento en el número de depósitos fosilíferos de la fauna vertebrada del Cuaternario de Cuba en cuevas de las regiones occidental y central, con un total de 68 localidades sólo en la provincia de Pinar del Río, mientras que los mínimos apreciables en los casos de Ciudad de la Habana y el municipio especial Isla de la Juventud, pudieran responder al alto grado de urbanización y destrucción de los sitios en el primero de los casos y a la falta de exploración e información en el segundo.



### Valores medios de Na cambiabile en suelos de Cuba

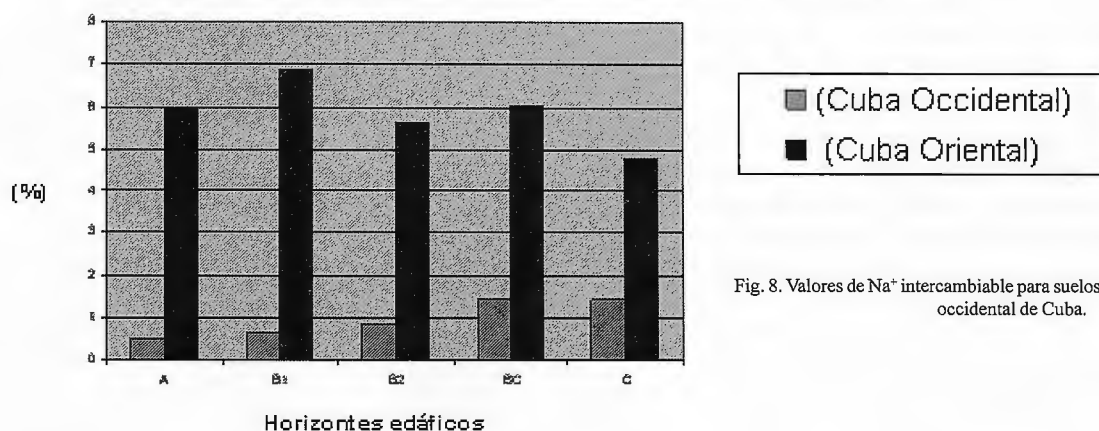


Fig. 8. Valores de Na<sup>+</sup> intercambiabile para suelos de las regiones oriental y occidental de Cuba.

### Valores medios de K cambiabile en suelos de Cuba

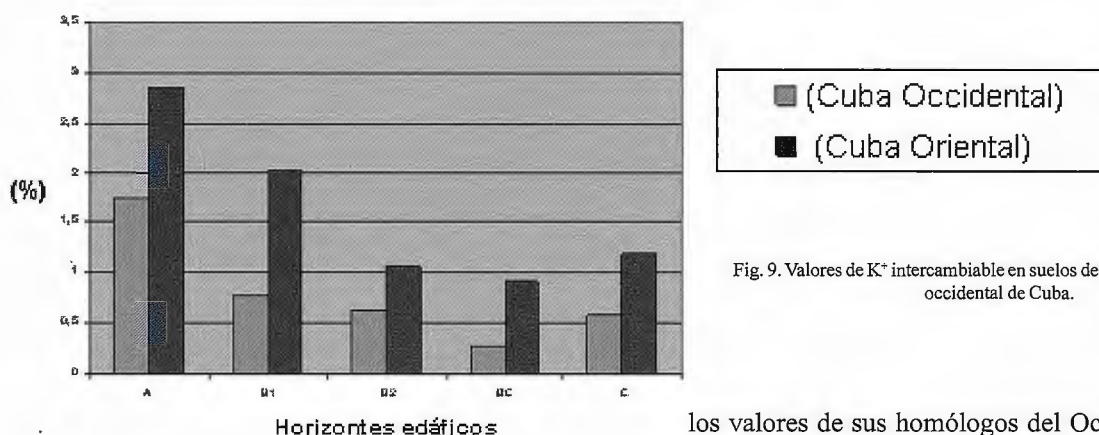


Fig. 9. Valores de K<sup>+</sup> intercambiabile en suelos de las regiones oriental y occidental de Cuba.

Esta distribución marcadamente ascendente desde oriente a occidente del país, podría interpretarse como consecuencia de un posible mayor número de cavidades cársticas exploradas en algunos territorios en comparación con otros, pero puede interpretarse a su vez como el resultado de la posible existencia de condiciones paleoclimáticas y paleoambientales más favorables en sitios del occidente y centro de Cuba, para la colonización primero y el establecimiento definitivo en estas regiones luego, de la gran fauna vertebrada fósil del Pleistoceno cubano (por lo menos durante los últimos 125 000 años AP), lo que encaja muy bien con la hipótesis propuesta por Jaimez (2008), al plantear que el clima de Cuba Occidental, aún habiendo sido árido en las llanuras costeras e interiores de esta parte del país durante los períodos glaciales del continente (Ortega y Arcia, 1982; Ortega, 1983; Ortega y Zhuravliova, 1983; Ortega, 1984, Ortega et al, 2008), fue no obstante ligeramente más húmedo que en las llanuras homólogas de la parte oriental de Cuba. Los gráficos que se muestran a continuación muestran el comportamiento promedio de cationes intercambiables en suelos con presencia de relictos edáficos, en localidades del Occidente y Centro de Cuba, de acuerdo con datos de Jaimez et al (2005 a y b) y Jaimez (2008).

Como se aprecia en las figuras, los valores medios de Mg, Na y K intercambiables resultan siempre superiores para los suelos con nódulos de carbonatos secundarios (relictos edáficos) de la parte oriental del país, en comparación con

los valores de sus homólogos del Occidente de Cuba, lo que sugiere que el clima árido del Pleistoceno en Occidente de Cuba, situación que pudiera interpretarse como más favorable para la gran fauna vertebrada terrestre, tras la colonización primero y el establecimiento luego en estas regiones del país.

Esta diferenciación paleoclimática entre el Occidente y Oriente de Cuba pudo a su vez estar dada, de acuerdo con Jaimez et al (2005 a y b), por una mayor influencia en la parte occidental de frentes fríos y bajas extratropicales, así como de grandes bancos de niebla casi persistentes, formados al encuentro del aire glacial del continente y las aguas más cálidas del Golfo de México (Jaimez, 2008), situación que explica a su vez, las grandes diferencias de paleotemperaturas de hasta 9.5 °C encontradas por Pajón et al (Op. Cit), desde el último máximo glacial al presente, para esta parte del país.

### CONCLUSIONES

1. El calentamiento de la atmósfera terrestre para Cuba Occidental muestra una curva oscilante pero con tendencia central marcadamente ascendente, al menos desde los últimos 15 000 años al presente, debido a causas naturales (básicamente astronómicas), aunque con un reforzamiento indiscutible durante la época contemporánea (antropogénico), por el incremento de los llamados gases de efecto invernadero.
2. Los cambios paleoclimáticos del Pleistoceno - Holoceno y en particular el calentamiento brusco y dramático de la atmósfera terrestre desde el último máximo glacial al pre-

sente son, a juicio de los autores, la principal causa de la extinción de la gran fauna vertebrada terrestre del Cuaternario de Cuba, sin menoscabo de la contribución adicional ejercida por la colonización temprana del Caribe insular por los grupos humanos precolombinos

3. Las curvas de distribución geográfica por provincias, de los principales sitios y depósitos paleontológicos hallados hasta la fecha en cavernas, muestran una tendencia al aumento en el número total de sitios en las regiones Occidental y Central del país, en comparación con lo que sucede en el Oriente del territorio nacional, lo que puede interpretarse como resultado de mejores condiciones de habitabilidad halladas por la gran fauna vertebrada terrestre en su proceso de irradiación y colonización de los territorios occidentales y centrales, debido a su vez a la existencia de condiciones de paleoaridez - glacial menos severas en estas regiones, en comparación con lo que ocurría en el Oriente de Cuba, por lo menos durante los últimos 125 000 años AP.

## REFERENCIAS

- Arredondo, C (1999): Los edentados extintos del Cuaternario de Cuba. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias biológicas. Universidad Pedagógica Enrique J. Varona. La Habana: 144 pp.
- Condis et al (2008): Sitios arqueológicos y paleontológicos contentivos de mamíferos de Cuba (Terciario y Cuaternario). [http://www.ecosis.cu/cenbio/biodiversidadcuba/fauna/mammalia\\_fosil\\_sitios\\_terciario\\_cuaternario\\_cuba.pdf](http://www.ecosis.cu/cenbio/biodiversidadcuba/fauna/mammalia_fosil_sitios_terciario_cuaternario_cuba.pdf)
- Gutiérrez, D.; E. Jaimez (2007): Los Primates Fósiles de Las Antillas: 120 años de Paleoprimatología en el Caribe Insular. Edit. Universitaria. Universidad Autónoma de Santo Domingo: 208 pp.
- Iturralde - Vinent, M. (1988): El origen de la fauna autóctona de Cuba. En *Naturaleza Geológica de Cuba*. Edit. Científ. Técn. La Habana: 146 pp.
- Jaimez, E. et al (1990): Un residuario paleontológico excepcional en la Sierra de los Órganos. *Bol. Casimba* (2)(2): 7 - 17.
- \_\_\_\_\_ (1992): The Monkey Caves of Cuba. *Rev. Cave Science* (19)(1): 25 - 28.
- Jaimez, E; D. Gutiérrez (1992): Panorama del estado actual del conocimiento del Sistema Cavernario de Constantino, Sierra de Galeras, Viñales, Pinar del Río. *Bol. Casimba* (1)(4): 42 - 74.
- \_\_\_\_\_ (2005)a: Paleorégimen hídrico en suelos del occidente de Cuba durante el Cuaternario. *Rev. Aula y Ambiente*, Universidad Experimental del Libertador. Año 5 (9) (10): 133 - 145.
- \_\_\_\_\_ (2005)b: Condiciones paleoclimáticas de formación de los suelos durante el Pleistoceno Superior en Cuba Occidental y su contraste con otras áreas del país y El Caribe. *Implicaciones Ambientales. "Mapping"*, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra (103): 72 - 80.
- Jaimez, E (2008): Diferenciación paleoclimática del Cuaternario de algunos sectores de Cuba Occidental y Oriental según relictos edáficos. *Implicaciones para la desertificación en la provincia de Pinar del Río*. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias geográficas. Instituto de Geofísica y Astronomía, Instituto de Geografía Tropical. La Habana. Versión digital: 139 pp.
- Jiménez, O.; M. M. Condis (2003): Génesis de los yacimientos fosilíferos cavernarios del Cuaternario de Cuba. *Proceedings of the International Symposium "Insular Vertebrates Evolution: The Palaeontological Approach"*. Palma de Mallorca: 18 pp.
- MacPhee, R. D. E. et al (1989): Pre-Wisconsinan land mammals from Jamaica and models of late Quaternary extinction in the Greater Antilles. *Quat. Res.* (31): 94 - 106.
- MacPhee, R. D.; et al (2007): Prehistoric sloth extinction in Cuba: Implications of a new last appearance date. *Caribbean Journal of Science* (43) (1): 94 - 98.
- Milankovitch, M. (1920): *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits para la radiation solaire*. Académie yougoslave Sc. Arts Zagreb. Paris, Gauthier - Villard.
- Milankovitch, M. (1930): *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie des Klimaschwankungen*. *Hundbuch der Klimatologie*, Berlin.
- Milankovitch, M.(1941): *Canon of insolation and ice.- age problem* Beograd, Koninglich Serbische Ak, 484, republié en anglais par U.S. Dept. of Commerce and Nat. Sc. Found.
- Morgan, G. S.; C. A. Woods (1986): Extinction and the zoogeography of West Indian land mammals. *Biol. J. Linn. Soc.* (28): 167 - 203.
- Ortega, F.; M. I. Arcia (1982): Determinación de las lluvias en Cuba durante la glaciación de Wisconsin, mediante los relictos edáficos. *Rev. Cien. Tierra Espacio* (4): 85 - 104.
- Ortega, F. (1983): Una hipótesis sobre el clima de Cuba durante la glaciación de Wisconsin. *Rev. Cien. Tierra Espacio* (4): 85 - 104.
- Ortega, F.; I. Zhuravliova (1983): Critica de la hipótesis de los "dos" Pleistocenos cubano, a la luz de la información edafológica. *Rev. Cien. Tierra Espacio* (6): 63 - 85.
- Ortega, F. (1984): Las hipótesis paleoclimáticas y la edad de los suelos de Cuba. *Rev. Ciencias de la Agricultura* (21): 45 - 59.
- Ortega, F. et al (2008): El Clima wisconsiniano de Cuba deducido por las características edáficas. *Revista del Instituto de Meteorología, CITMA*. La Habana (en prensa)
- Pajón, J. M. et al (2001): Periods of Wet Climate in Cuba: Evaluation of expression in Karst of Sierra de San Carlos. In: *Interhemispheric Climate Linkages. Present and Past Interhemispheric Climate Linkage in the Americas and their Societal Effects*. Charter Long - Term Climate Vvariability. Academic Press. Orlando: 217 - 226.
- Pregill, G. K.; S. L. Olson (1981): Zoogeography of West Indian vertebrates in relation to Pleistocene climatic cycles. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* (12): 75 - 98.
- Rouse, I.; L. Allaire (1978): Caribbean, in *Chronologies*. New World Archaeology (Taylor, R.E & Meighan, C.W., eds). Academic Press, NY: 137 - 260.
- Sanhueza, E. (2005): *Atmósferas y climas del pasado*. *Rev. Aula y Ambiente*. Universidad Experimental del Libertador. Año 5 (9) (10): 11 - 35.
- Steadman, et al (2005): Asynchronous extinction of late Quaternary sloth on continents and islands. *PNAS*, 102 (33): 11763 - 11768.

## Agradecimientos

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento a todos los miembros del Grupo Pedro Borrás de la Sociedad Espeleológica de Cuba por el apoyo incondicional ofrecido durante las largas horas de exploración en las cuevas de Cuba; así como a los paleontólogos Marjorie Condis Fernández y Osvaldo Jiménez Vázquez por los datos de reportes de sitios paleontológicos de cavernas y al arqueólogo Divaldo A. Gutiérrez Calvache, por la información facilitada de los fechados absolutos de algunos de estos sitios.



# Bases para la creación de un servicio web de mapas temáticos dinámicos.

Ing. Alexander Rodríguez Torres - Lic. Rafael Rodríguez Puente - Universidad de las Ciencias Informáticas - Cuba

## RESUMEN.

El presente trabajo persigue sentar las bases para el desarrollo de un servicio que genere mapas temáticos de forma dinámica a partir de ciertos datos. De ahí que sea de vital interés, entre otras cosas, determinar sobre qué datos se pueden generar mapas temáticos y qué datos son necesarios para generar un mapa temático. De esta manera los usuarios podrían disponer de un servicio que a partir de ciertos parámetros genere un mapa temático que se muestre en un visor de mapas y que brinde la posibilidad de tener conocimiento de información concreta en un determinado espacio, siendo esta una herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

## INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de información se han convertido en herramientas muy efectivas de la ingeniería y de las ciencias básicas. El desarrollo vertiginoso del mundo de la informática ha permitido la creación de numerosos programas con aplicación específica y en los cuales se ve contenido todo el conocimiento y el estado del arte en las diferentes áreas del saber. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG, o las siglas del término en inglés GIS) son prueba de este progreso.

Los SIG son un tipo especializado de sistemas que se distinguen por su capacidad de manejar información espacialmente referenciada y que permiten además su representación gráfica.

Se dice que son herramientas, porque ayudan a la formación de elementos de juicio para la toma de decisiones luego de que se han aprovechado sus funciones de captura, almacenamiento, refinamiento, análisis y visualización de la información.

Históricamente, los mapas de propósito general o de referencia, habían sido el objetivo de la cartografía hasta mediados del siglo XVIII. Hasta entonces los entendidos del tema solo se habían centrado en el conocimiento geográfico del mundo. Después de satisfacer esta necesidad, los cartógrafos tuvieron la posibilidad de expresar en los mapas datos sociales y científicos, originándose así la cartografía temática cuyo objetivo es la representación gráfica de estos datos, transformándolos en símbolos cartográficos y sus relaciones en todo lo que afecte al espacio geográfico.

Los Sistemas de Información Geográficas son básicamente aplicaciones informáticas, capaces de manejar información relacionada generalmente con coordenadas de longitud y latitud, representando o simulando una realidad, generalmente se asocia a esta información bases de datos, permitiendo analizar y visualizar la relación entre mapas y datos. Añadiendo de esta manera una nueva perspectiva para el estudio y toma de decisiones de problemas relacionados con la información geográfica.

Esta investigación surge como necesidad de dar solución a un problema que se presenta en la actualidad y es que no existe un servicio que permita a partir de ciertos parámetros generar mapas temáticos.

Los mapas temáticos son un complemento que enriquecen a los SIG, convirtiéndose en otro elemento de apoyo en la toma de decisiones gracias a la información que son capaces de brindar sobre un área determinada.

En aras de dar solución a la problemática antes planteada se ha determinado desarrollar un servicio que permita la generación de mapas temáticos dinámicos a partir de ciertos parámetros, objetivo que se tratará de cumplir más específicamente:

- Determinando sobre qué datos puedo generar mapas temáticos.
- Determinando qué datos necesito para generar un mapa temático.
- Implementando un servicio que usando los datos arrojados en el estudio realizado permita generar mapas temáticos de forma dinámica

Dicho de esta manera se han concebido como tareas para llevar a cabo la investigación:

- Hacer un estudio del estado del arte a nivel mundial y nacional sobre la temática.
- Investigar qué datos y tipos de datos se necesitan para construir un mapa temático dinámico.
- Investigar sobre qué datos y tipos de datos se puede construir un mapa temático dinámico.

## 1. FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA

Un mapa temático es aquel que está diseñado para mostrar características o conceptos particulares.

### 1.1. Componentes de un mapa temático.

Todo mapa temático está compuesto por dos elementos fundamentales: Una base geográfica (mapa base), y una capa de contenido temático. El usuario de un mapa temático tendrá que ser capaz de integrarlas, visual e intelectualmente, durante su lectura.

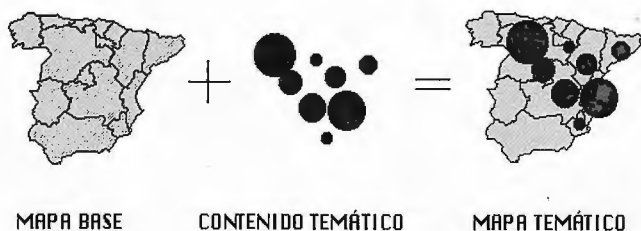
**Mapa base:** Es una imagen más o menos sintética del territorio, cuyo objeto es la representación geográfica del contenido temático del mapa; es decir, proporciona información espacial para referenciar el contenido temático.

**Capa de contenido temático:** Es una capa que contiene la información que se quiere representar sobre el mapa base.

### 1.2. Tipos de cartografías temáticas.

Existen dos tipos de cartografía temática: la cartografía temática cualitativa y la cartografía temática cuantitativa. Una información cartografiada es cualitativa si es una descripción de características, mientras que si se describen valores la información aportada por el mapa es cuantitativa.

El fin de los mapas cualitativos es mostrar la distribución espacial o la situación de un grupo de datos nominales. De este tipo de mapas el usuario no puede determinar relaciones de cantidad.



Los mapas cuantitativos sin embargo, muestran aspectos espaciales de datos numéricos. A menudo la variable cartografiada es única, y el mapa se centra en la variación de ésta de un punto a otro del espacio geográfico. Estos mapas muestran los datos en una escala ordinal (más que, menos que), y en escalas de intervalo y proporción (cuánto más que).

Estos mapas informan el comportamiento de una variable atendiendo a criterios de cantidad. Para representar la información cuantitativa se dispone de diferentes técnicas. La elección de una técnica u otra depende de varios factores entre los que se pueden citar:

- 1.- El carácter del fenómeno que se esté representando.
- 2.- El tipo y la complejidad de la información cuantitativa.
- 3.- El propósito del mapa.

Algunas de las técnicas utilizadas para la confección de mapas con información cuantitativa son las siguientes:

**Mapas de punto:** en estos mapas la información cuantitativa se representa por puntos, y cada uno representa un valor unitario. Convencionalmente se utiliza el punto (la forma más simple de símbolo), aunque podría haber sido cualquier otro símbolo puntual. Para distinguir las cantidades a representar se colocan cierta cantidad de elementos en correspondencia con la ocurrencia del fenómeno.

**Cartogramas:** en estos mapas la representación geográfica no es proporcional a su tamaño geográfico (por ejemplo el comedor puede ser más grande que un docente), sino que éstos se representan en función de otra variable como cantidad de mesas, cantidad de computadoras, etc. En la aplicación de esta técnica, se pierden las relaciones de aproximación, de orientación y del área geográfica. El usuario ve una imagen distorsionada, que sólo se acerca muy relativamente a los mapas que está acostumbrado a ver.

**Mapas de coropletas:** estos son una forma de cartografiado cuantitativo, utilizada para la representación de fenómenos discretos y están asociados a unidades de enumeración, a las que se aplican símbolos superficiales de acuerdo con su valor. Para ello utiliza tramas o colores diferentes aplicados a estas zonas siguiendo el criterio de (a mayor cantidad, más oscuro será el color). Una buena ventaja de este sistema es que se comprende con facilidad por parte del usuario, la distribución de los datos en un territorio.

En estos mapas se representan normalmente datos ya clasificados mediante intervalos. Al realizar esta clasificación, es evidente que se perderá cierta cantidad de información, sin embargo permiten tomar del mapa una información general de forma sencilla y rápida. Esta técnica es utilizada para datos discretos, como en el proyecto se trabaja con este tipo de datos se toman estos mapas como punto de partida.

### 1.3. Estado del Arte.

**Up2Maps** es una interesante herramienta que da la posibilidad de crear mapas temáticos completamente personalizados para poder compartir conocimientos con toda la comunidad de Internet.

El servicio es muy fácil de utilizar ya que permite tipear la información en una tabla pre-fabricada o subir documentos de archivos de Excel, además ofrecen templates de Excel para hacer todo el proceso incluso más simple.

Una vez finalizado todo es posible exportar el mapa en un archivo .png para insertar en los reportes o presentaciones y una será almacenada en la librería del sitio.

La meta de **Up2Maps** es construir un repositorio de conocimiento comunitario en cuanto a demografía social y otra información estadística.

**Thematic Mapping Engine** (Motor Temático de Mapas ó TME por sus siglas en inglés). TME permite fácilmente, utilizar datos de UN data (Base de datos de las Naciones Unidas) y crear inicialmente, diagramas en forma de prismas 3D (o con la forma de los países mostrando su altura en relación a los datos, como población, expectativa de vida, etc.). Es posible además crear estos cuadros y verlos rápidamente en 3D en Google Earth. Se trabaja también en desarrollar otras formas de representaciones con variaciones de proyecciones y símbolos. Se agregó la posibilidad de ver los resultados utilizando el nuevo plugin/API de Google Earth. En fin TME permite generar archivos KMZ, que pueden visualizarse en cualquier programa que soporte KML estandarizado, partiendo de datos estadísticos e información espacial.

### CONCLUSIONES PARCIALES.

Se han planteado las bases para la creación de un servicio que permita crear mapas temáticos de forma dinámica, luego de haber planteado su importancia y analizado los componentes principales de estos y algunos de los tipos más importantes. Se revisaron además soluciones que se acercan al tema pero que no solucionan el problema planteado.

### GLOSARIO DE TÉRMINOS.

- **OGC (Open GIS Consortium):** Consorcio encargado de definir los estándares a seguir por los SIG. Es un consorcio internacional formado por 256 empresas, organismos estatales y universidades, que participan en un proceso para el desarrollo de especificaciones de interfaces disponibles para el público en general.
- **SIG:** Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés).

### BIBLIOGRAFÍA.

1. Glosario Geológico-Minero.  
Disponible en: [http://www.ingeminas.gov.co/component/option,com\\_glossary/func\\_display/letter,M/Itemid,99999999/catid,82/limit,25/limitstart,20/](http://www.ingeminas.gov.co/component/option,com_glossary/func_display/letter,M/Itemid,99999999/catid,82/limit,25/limitstart,20/)  
Consultado en: agosto de 2009.
2. Up2Maps  
Disponible en: <http://www.up2maps.net/#>  
Consultado en: agosto de 2009.
3. OpenGIS Consortium.  
Disponible en: <http://www.opengis.org/>  
Consultado en: julio de 2009.



# Noticias

## LA CONFERENCIA ESRI 09 ABRE EL CAMINO HACIA LA UNIVERSALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS SIG

Entre las novedades tecnológicas presentadas, figuran ArcGIS Explorer, ArcGIS Online y la Plataforma de Desarrollo para Aplicaciones Web

Todas las herramientas se caracterizan por su sencillez y, en algunos casos, por su gratuidad

La conferencia adelantó las nuevas prestaciones de ArcGIS 9.4, que saldrá a mediados de año

ESRI España, la compañía especializada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha reunido hoy en Madrid, dentro de su Conferencia ESRI 09, a 1.500 profesionales relacionados con esta tecnología, entre expertos y usuarios. El encuentro, que se prolongará hasta mañana, dará a conocer los últimos avances y aplicaciones que se han producido en los últimos meses dentro este campo, y ha analizará al detalle los proyectos SIG más punteros que se han desarrollado en instituciones y empresas de diferentes sectores de actividad en España.

La Conferencia de este año supone el primer paso hacia la universalización de los sistemas GIS. Las nuevas herramientas y aplicaciones que se van a presentar en el encuentro multiplican las posibilidades de los SIG en nuevas áreas funcionales de la empresa y los hace accesibles a públicos no expertos.

Un ejemplo de esta apertura del GIS hacia nuevos ámbitos quedó plasmada en la participación en la Conferencia de Jesús Calleja, el aventurero de Desafío Extremo, en Cuatro Tv, que anunció el acuerdo al que ha llegado con ESRI para incorporar las herramientas GIS a la producción de su programa. "A partir de la próxima temporada, vamos a situar al público en el lugar exacto de nuestras aventuras y le vamos a permitir navegar por los valles y collados por los que discurre nuestra ruta", aseguró Calleja. El aventurero explicó la gran dificultad que supone el no disponer en muchas ocasiones de mapas en los lugares más recónditos del planeta, y cómo, a partir de fotos tomadas por

satélite y la tecnología ESRI, han logrado generar cartografía de los lugares visitados.

La apertura de la Conferencia corrió a cargo de Eva Piera, la Viceconsejera de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid, que destacó el liderazgo de la región en el campo de la I+D, al capitalizar el 30% de toda la inversión en España, un esfuerzo que supone el 2% del PIB. Además, significó que Madrid y su comunidad albergan el 27 de las empresas tecnológicas de España y un tercio de los trabajadores tecnológicos. Para Piera, esto supone una ventaja competitiva que permite a la región hacer frente a la crisis de una manera más resistente. La viceconsejero de Economía anunció la próxima entrada en vigor del primer Plan Regional de I+D 2009-2012, que estará dotado con 3.000 millones de euros.

En otro apartado, el profesor Leopoldo Abadía, autor del best seller "La crisis Ninja y otros misterios de la economía actual", explicó el origen de la actual crisis financiera y brindó a los oyentes un catálogo de criterios contra la crisis: "ser optimistas, actuar, trabajar más, no distraerse y ser prudentes".

El Director de Desarrollo de Negocio de ESRI Corporación, Chris Cappelli, uno de los mayores expertos del mundo en sistemas SIG, expuso los nuevos avances y funcionalidades que aguardan a esta tecnología y su desembarco creciente en nuevos mercados y sectores y en áreas de las organizaciones relacionadas con la esfera de la gestión. En concreto, se refirió al geodiseño como el siguiente escalón de la tecnología GIS, es decir, "la combinación de la geografía y el diseño para comprender las repercusiones de las decisiones que tomamos". Desde su punto de vista, gracias al geodiseño "podemos adelantarnos al futuro antes de crearlo". Además, resaltó la sencillez de proporcionar información a través de herramientas GIS, "pues todo el mundo comprende lo que es un mapa". Aseguró además que, en adelante, el GIS incrementará su relevancia para enfrentarnos a las crisis económicas y el cambio climático.

## BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN

## MAPPING

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 1 año al precio de 60 euros para España

Forma de pago: Talón nominativo o transferencia a nombre de REVISTA MAPPING, S.L.

CAJA MADRID: Pº. de las Delicias, 82 - 28045 MADRID Nº 2038-1732-55-3001376203

Enviar a: REVISTA MAPPING, S.L. - C/ Hileras, 4, 2º, Of. 2 - 28013 MADRID.

Nombre ..... NIF ó CIF .....

Empresa ..... Cargo .....

Dirección ..... Teléfono .....

# tienda **carto**

LA TIENDA DE TOPOGRAFÍA ON-LINE

**Estaciones Totales, GPS, Niveles,  
Medidores Láser, Señalización,  
Accesorios, Controladores,  
Navegadores y Software a los  
mejores precios del mercado.**

**Descúbrelo en:**

**[www.tiendacarto.com](http://www.tiendacarto.com)**



ELIJA LA HERRAMIENTA MÁS AVANZADA  
Y SU TRABAJO SERÁ MÁS FÁCIL

# Laser IMAGER 5006 de Z+F



- Intuitivo
- Sin cables
- Muy fácil de manejar
- En venta o alquiler



Avda Filipinas 46. Madrid 28003 Teléfono  
915537207

[grafinta@grafinta.com](mailto:grafinta@grafinta.com)