

# MAPPING

Revista Internacional de Ciencias de la Tierra

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

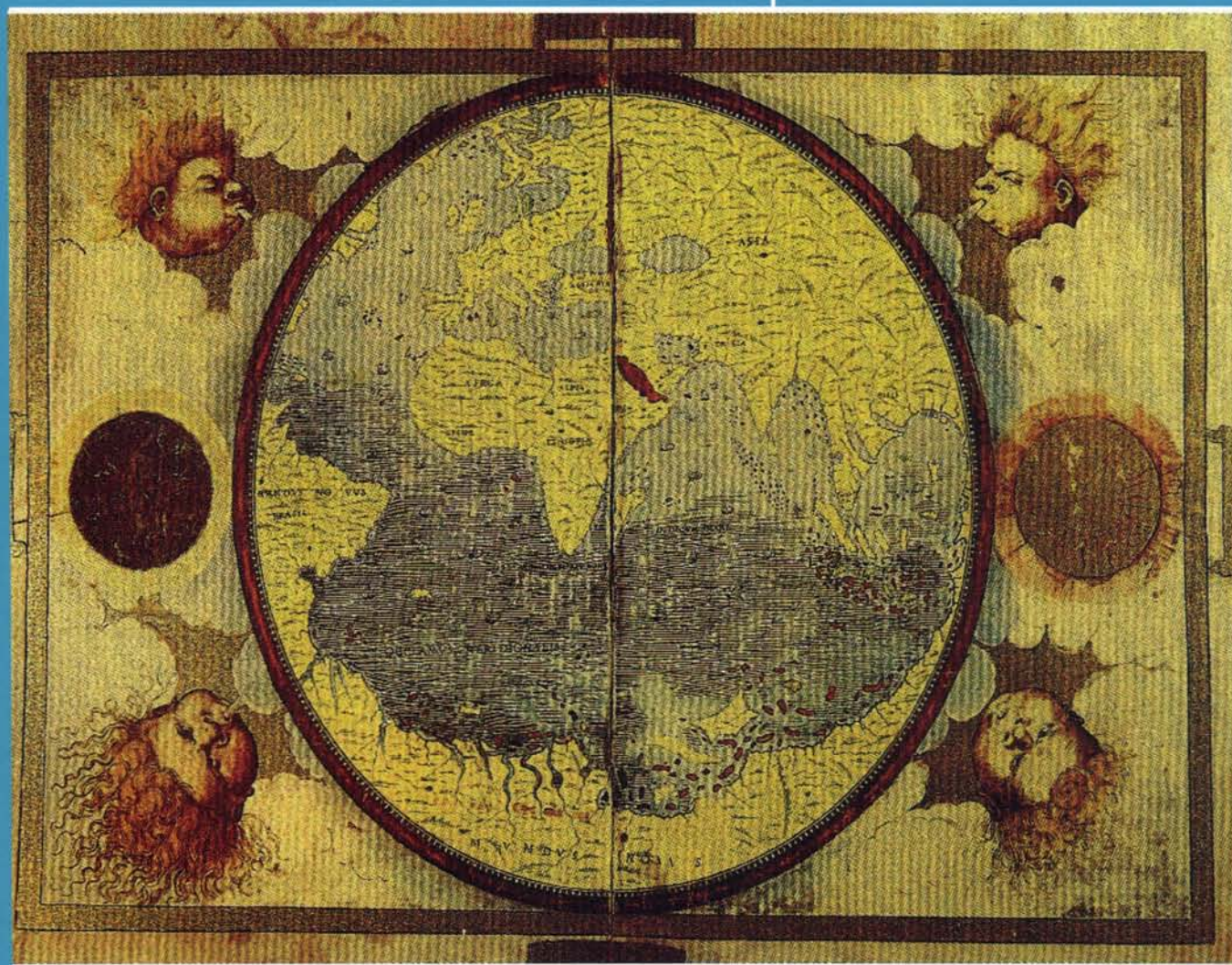
MEDIO AMBIENTE

TELEDETECCIÓN

CARTOGRAFÍA

CATASTRO

TURISMO



Nº 151 ENERO-FEBRERO 2012

ISSN: 1.131-9.100

# Geotronics y Trimble: Precisión, Tecnología y Fiabilidad.

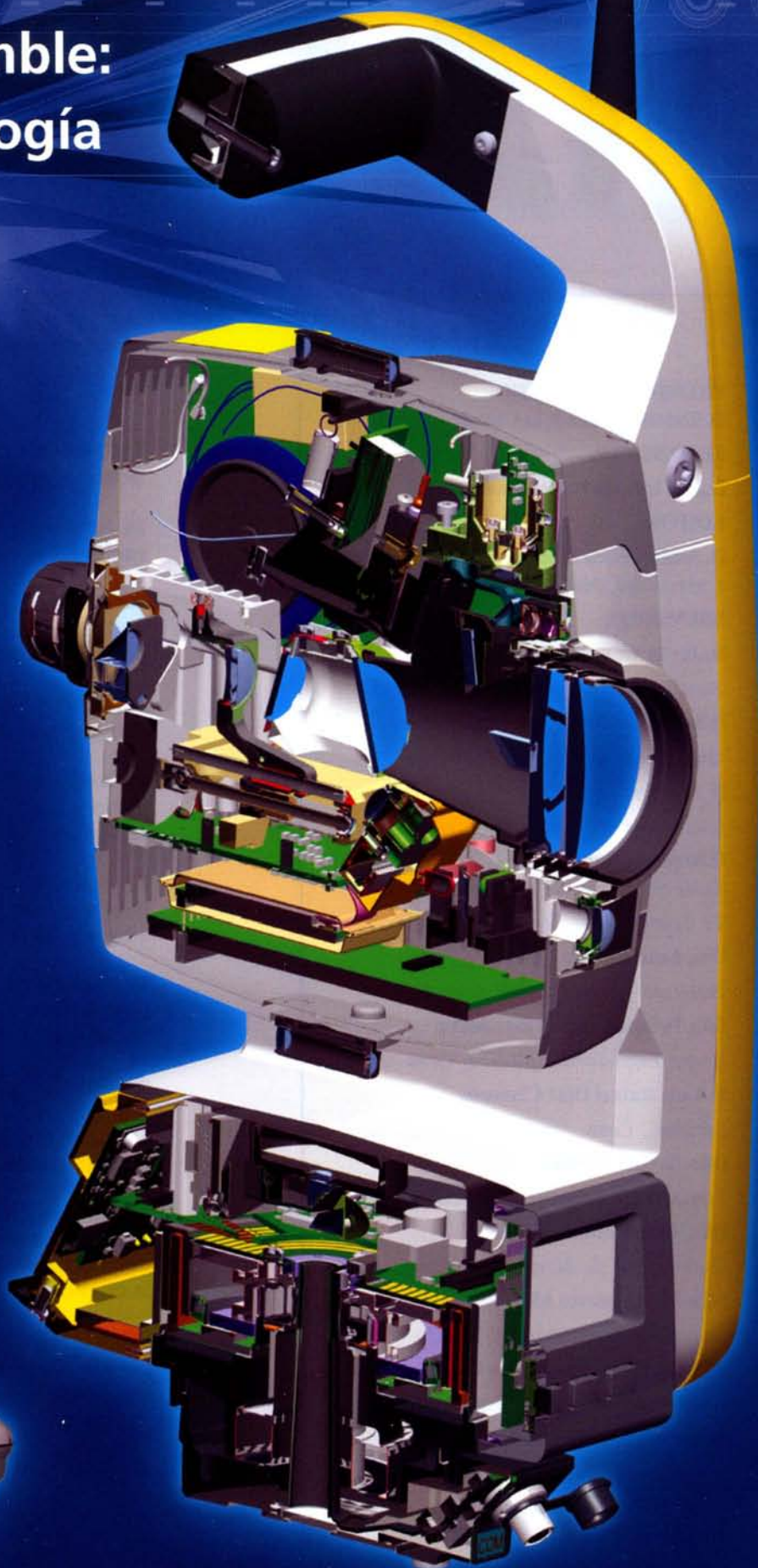
**Geotronics** es Distribuidor Oficial de Trimble Survey para la zona centro de España. Trimble está **a la vanguardia de la Tecnología desde hace más de 60 años.** **Geotronics** le acerca las soluciones Trimble para obtener los mejores resultados en sus proyectos.

**Venta de instrumentos topográficos y accesorios**

**Servicio de equipos y configuraciones en alquiler**

**Servicio técnico oficial autorizado Trimble**

**Servicio de soporte postventa y formación**



Geotronics, S.L. Calle Dublín, 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)



# M A P P I N G

## COMITE CIENTIFICO

### PRESIDENTE DE HONOR:

**D. Rodolfo Nuñez de la Cuevas**

### EDITOR JEFE.

**D. José Ignacio Nadal Cabrero**

### EDITOR:

**D. Andres 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 Jaen*

## SUMARIO

- 6 El STANAG 2215 en la evaluación de la exactitud posicional cartográfica
- 18 Influencia de la precisión del modelo digital de elevaciones en la cubicación de tierras en explanaciones
- 24 Estimación del acarreo de sedimentos de la cuenca del río Apatlaco usando cómputo evolutivo
- 36 W3DSS: un servicio web de generación de escenas geográficas 3D incluyendo entidades de tipo punto
- 44 Análisis de las características morfológicas del terreno y su influencia en los deslizamientos de tierra. Aplicación al deslizamiento de un vertedero
- 52 La IDE temática "IDE Univers" abre una nueva puerta de interoperabilidad entre la comunidad universitaria y los centros de investigación
- 56 Efectos del huracán Iván sobre el hábitat de los reptiles en la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba
- 62 Beidou, el sistema de navegación Chino
- 68 La elaboración del mapa de protección frente a la contaminación lumínica en Cataluña
- 77 Aplicación de SIGS para la evaluación de la erosión y degradación específica durante un evento anómalo de precipitación del día 19 al 23 de enero de 2004 en la cuenca media del río Paraíba – noreste del Brasil
- 86 Cartografía Digital de los ecosistemas costeros para la planificación y gestión de las Áreas Protegidas de Cuba
- 96 SIG\_Salud: Sistema de Información Geográfica para la salud pública

**Foto Portada:** Mapamundi, 1519. Lopo Homem. Mapa-Mundi. Portugaliae Monumenta Cartographica 2ª. ed. Lisboa. 1987.

**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. E.mail: mapping@revistamapping.com **Diseño Portada:** R&A MARKETING

**Impresión:** GRÁFICAS MONTERREINA **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.

# El STANAG 2215 en la evaluación de la exactitud posicional cartográfica

Wenceslao Lorenzo Romero

Departamento de Geodesia y Topografía. Escuela de Guerra del Ejército. España

## Resumen

La exactitud posicional es, junto con la consistencia lógica, el elemento más utilizado en los centros de producción cartográfica para definir y controlar la calidad de los datos geográficos obtenidos, ya sean analógicos o digitales. Para evaluar esta exactitud posicional se utilizan diferentes métodos estadísticos basados en el contraste de coordenadas del conjunto con los valores obtenidos de una fuente de mayor exactitud. Entre estos métodos de evaluación, uno de los mejor considerados es el que proporciona el STANAG 2215 que publica la Agencia de Normalización de la OTAN. El Departamento de Geodesia y Topografía (Escuela de Guerra del Ejército) ha estudiado la metodología de este estándar con una aplicación práctica en la evaluación de la exactitud posicional de una hoja de la serie L (escala 1:50 000) de la Cartografía Militar de España que publica el Centro Geográfico del Ejército, utilizando como datos de referencia las coordenadas calculadas a partir de observaciones en campo mediante GPS. En este artículo se recogen las experiencias y las conclusiones del estudio.

**Palabras clave:** Cartografía, calidad, exactitud posicional, GPS, punto de control.

## Abstract

*Positional accuracy is, along with logical consistency, the element most commonly used in the cartography production centres to define and control the quality of geographic data obtained, whether analogical or digital. To assess this positional accuracy, different statistical methods based on the contrast of the set of coordinates with the values obtained from a source of greater accuracy are used. Among these methods of assessment, considered one of the best is the one that provides the STANAG 2215 published by NATO Standardization Agency. The Geodesy and Topography Department (Army War School) has examined the methodology of this standard with a application for assessment of the positional accuracy in the L se-*

*ries (1:50 000 scale) of the Spanish Military Mapping published by the Geographic Centre of the Army, using as reference data the coordinates calculated from observations in the field through GPS. This paper reflects the experiences and findings of the study.*

**Keywords:** Cartography, quality, positional accuracy, GPS, control point.

## Introducción

### *Información sobre la calidad de los datos geográficos*

Gran parte de las actividades económicas, antes relacionadas con la tradicional fabricación de productos tangibles según los criterios de la antigua sociedad industrial, están adoptando de forma progresiva una orientación diferente en la sociedad de la información, que se traduce en un nuevo propósito: la obtención, almacenamiento y procesamiento de todo tipo de información. Las ciencias de la Tierra, integradas como parte fundamental en esta sociedad de la información, manejan un gran volumen de datos –información geográfica (IG)– de origen y naturaleza muy diversa, cuya característica común y diferenciadora es su localización en una posición determinada: decimos que están georreferenciados. La creciente necesidad de compartir, intercambiar y utilizar estos datos geográficos, ya sean de naturaleza analógica (cartografía en formato impreso) o digital (bases de datos geográficas, BDG), requiere conocer la calidad de los mismos como factor decisivo tanto para sus productores, que validan la adecuación del conjunto de datos a sus especificaciones, como para los usuarios, a quienes orienta a la hora de seleccionar los más idóneos para sus aplicaciones (AENOR, 2005).

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define el concepto de calidad como la «totalidad de características de un producto que le confieren aptitud para satisfacer necesidades implícitas y explícitas» (ISO, 2002). Así, un con-

junto de datos geográficos constituye un producto cartográfico que, por las razones expuestas, debería venir acompañado de la información acerca de su calidad. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte de los mapas y BDG se distribuyen o comercializan sin esta información (Jakobsson y Vauglin, 2002). Para ello, resulta incuestionable establecer unas normas que permitan determinar esta calidad.

Los trabajos de normalización en el campo de la geomática y la IG comenzaron a finales de la pasada década de los 80 (García y Rodríguez, 2008), impulsados por diferentes organismos nacionales e internacionales y, en su caso, por los respectivos comités técnicos (TC) responsables del área de IG: Digital Geographic Information Working Group (DGIWG), Open Geospatial Consortium (OGC), ISO (ISO/TC 211), Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 287), Asociación Española para la Normalización y Certificación (AENOR/TC 148). En la actualidad, la actividad principal en este campo es desarrollada por ISO/TC 211, en coordinación con CEN/TC 287 y con OGC (Mas, 2008). Como resultado han aparecido diferentes iniciativas, entre las que cabe destacar la familia de normas ISO 19100 (Ariza y Atkinson, 2006), que incluye más de cincuenta proyectos normativos sobre la metodología, las herramientas y los servicios empleados para conseguir la necesaria interoperabilidad de la IG entre usuarios y sistemas (García y Rodríguez, 2008). Como cabría esperar, son varias las normas que abordan diversos aspectos relacionados con la calidad de dicha información: sus principios (ISO 19113), los procedimientos de evaluación (ISO 19114, ISO 19138), etc. En particular, la Norma Europea (EN) ISO 19113, establece los «elementos» a los que debe referirse la información sobre la calidad de los datos: completitud o completitud (integridad, existencia o no de elementos del mundo real, con sus atributos y relaciones), consistencia lógica (grado de afinidad con el modelo y el formato de datos empleados, los valores de su dominio y la topología), exactitud posicional, exactitud temporal y exactitud temática (AENOR, 2005).

### *Evaluación de la exactitud posicional*

Desde la captura inicial de datos geográficos hasta su descarga en una BDG o la publicación del mapa final, el proceso cartográfico se caracteriza por la pérdida sucesiva de exactitud posicional en sus distintas fases, aunque en ellas se intente prevenir esta circunstancia manteniendo los errores posicionales por debajo de un mínimo (Rodríguez, 1997). Por tanto, la exactitud posicional constituye una de las características más determinantes de un producto cartográfico analógico de escala superior a 1:250 000 y digital de resolución equiva-

lente. Sin embargo, pierde importancia en los productos de escalas inferiores, debido a los procesos de generalización que intervienen en su formación (NSA, 2002).

En cualquier caso, no sólo afecta a la componente espacial de la IG (la geometría de las unidades de observación representadas y las relaciones espaciales o topológicas entre las mismas), sino también a sus componentes temática (atributos) y temporal (variación en el tiempo de las componentes anteriores). Asimismo, resulta trascendental para conseguir la necesaria interoperabilidad entre conjuntos de datos procedentes de fuentes distintas. Por estas razones, la exactitud posicional es, junto con la consistencia lógica, el elemento más utilizado en los centros de producción cartográfica para definir y controlar la calidad de los datos geográficos obtenidos (Ariza y Atkinson, 2006).

Para evaluar la exactitud posicional de un conjunto de datos se utilizan diferentes métodos estadísticos basados en el contraste de coordenadas del conjunto con los valores obtenidos de una fuente de mayor exactitud (mapas a escala mayor, observación directa en el terreno, etc.). Tradicionalmente, estos métodos han considerado elementos puntuales: NMAP (National Map Accuracy Standard, USBB, 1947), EMAS (Engineering Map Accuracy Standard, ASCI, 1983), ASPRS (ASPRS, 1989), NSSDA (National Standard Spatial Data Accuracy, FGDC, 1998), STANAG 2215 (Standardization Agreement 2215, NSA, 2002). Pero también han aparecido diversas propuestas basadas en elementos lineales: BOM (Buffer Overlay Method, Goodchild y Hunter, 1997), BOS (Buffer Overlay Statistic, Tveite y Langaas, 1999), distancia de Hausdorff (Abbas et al., 1995), MPS y MDS (Maximum Proportion Standard y Maximum Distorsion Standard, Veregin, 2000). Incluso contamos con programas informáticos diseñados para automatizar el proceso de control, como el denominado CPLin para elementos lineales (Mozas et al., 2007).

En España, el Centro Geográfico del Ejército (CEGET) es responsable de la producción de la cartografía militar topográfica (RD, 2007). Las normas para la evaluación de la exactitud posicional de esta cartografía vienen recogidas en el STANAG 2215 antes referido, que, por el momento, nuestro país tiene ratificado pero no implementado. Con la intención de analizar la metodología propuesta por el estándar, el Departamento de Geodesia y Topografía (DGYT) de la Escuela de Guerra del Ejército (EGE, Madrid) realizó el estudio sobre una de las hojas de la Serie L (M7814, escala 1:50 000) de la Cartografía Militar de España que publica el CEGET, basado en la elección de determinados elementos puntuales cuyas coordenadas obtenidas en el mapa se contrastaron con

las calculadas a partir de observaciones en campo mediante GPS. En este artículo se recogen las experiencias y, sobre todo, las conclusiones obtenidas con este estudio.

### Antecedentes

Como se ha señalado, la mayor parte de los estudios relativos a la evaluación de la calidad cartográfica están dirigidos al análisis de la exactitud posicional de los datos geográficos. Algunos han utilizado las observaciones GPS como fuente de mayor exactitud, como el realizado por Manzano et al. (2004) para la cartografía catastral de urbana en España sobre elementos puntuales (método EMAS), o el que publican Ruiz et al. (2007) sobre elementos lineales (vías de comunicación).

En cuanto a los trabajos que adoptan la metodología del STANAG 2215, encontramos el elaborado por el Instituto Geográfico do Exército portugués para evaluar la calidad posicional de la información vectorial durante el proceso de captura, comparándola con los datos obtenidos en campo mediante RTK (Real Time Kinematic, Gago et al., 2006). Asimismo, cabe destacar el realizado por Rodríguez (1997), trabajo predecesor y orientador del que nos ocupa, con el estudio de la exactitud posicional de las antiguas series C, 2C y 5L (a escalas 1:100 000, 1:200 000 y 1:250 000, respectivamente) del CEGET a partir del contraste con mapas de escala mayor (1:50 000).

### Objetivos

El objetivo general del trabajo se centra en estudiar la metodología que propone el STANAG 2215 para la evaluación de la exactitud posicional de la cartografía militar publicada por el CEGET. La consecución de este objetivo sugiere los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los criterios de selección de los puntos de control de la cartografía a estudiar.
- Establecer los métodos para obtener coordenadas en el mapa y en el terreno.
- Estudiar la exactitud posicional de una hoja de la serie L (escala 1:50 000) seleccionada entre las publicadas por el CEGET.
- Obtener la calificación de la hoja evaluada según los criterios establecidos por el STANAG.
- Analizar los resultados que proporciona la metodología propuesta por el STANAG.

### STANAG 2215

### Introducción. Criterios de evaluación

Dentro de las metodologías de control posicional basadas en elementos puntuales, la propuesta en el STANAG 2215 (NSA, 2002) es la mejor valorada por Ariza y Atkinson (2006) y, según AENOR (2008), se trata posiblemente de la norma más completa para la evaluación de la exactitud posicional.

La finalidad del STANAG 2215 es proporcionar a los organismos productores de información geográfica un procedimiento normalizado para evaluar los productos cartográficos destinados a ser utilizados por las fuerzas armadas de la OTAN (NSA, 2002: 1). Para la evaluación de la aptitud de la información topográfica (en formato impreso o digital) establece cinco aspectos a estudiar de forma independiente (NSA, 2002: anexo A): a) la exactitud absoluta referida al sistema geodésico WGS 84; b) la exactitud horizontal o planimétrica; c) la exactitud vertical o altimétrica; d) el estado de actualización; e) la fecha efectiva de la información original utilizada en la formación o revisión.

a) Exactitud geométrica absoluta referida al sistema geodésico WGS 84. Será el resultado de la combinación de la exactitud planimétrica, referida al sistema WGS 84, y de la exactitud altimétrica, referida al modelo de geoide EGM96 (Peláez, 1997), de manera que sea la menor de ambas clasificaciones según la tabla 1.

Clasificación	Exactitud horizontal (tabla 2)	Exactitud vertical (tabla 3)
A	A	0
B	B	1
C	C	2
D	D	3
E	Producto no referido a WGS 84	

Tabla 1. Exactitud geométrica absoluta referida al sistema geodésico WGS 84

b) Exactitud horizontal o planimétrica. Estará determinada por el desplazamiento horizontal de una selección de elementos puntuales, denominados puntos de control (PC), con respecto a su posición real. El criterio aplicado considera que el 90 % de los desplazamientos deberán encontrarse dentro de los límites fijados en la tabla 2.

Clasificación	Medida a escala en el mapa	Escala del mapa				
		1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:250 000
A	0,5 mm	12,5 m	25 m	50 m	100 m	125 m
B	1,0 mm	25 m	50 m	100 m	200 m	250 m
C	2,0 mm	50 m	100 m	200 m	400 m	500 m
D	> 2,0 mm	Inferior a la calificación C				
E		Sin determinar				

Tabla 2. Exactitud horizontal

c) Exactitud vertical o altimétrica. Considera el

Clasificación	Escala del mapa				
	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:250 000
0	2,5 m	5 m	10 m	20 m	25 m
1	5 m	10 m	20 m	40 m	50 m
2	10 m	20 m	40 m	80 m	100 m
3	Inferior a la clasificación 2				
4	Sin determinar				

Tabla 3. Exactitud vertical

desplazamiento vertical de los PC con respecto a su altura ortométrica (cota) real, de forma que el 90 % de las diferencias deberán encontrarse dentro de los límites fijados en la tabla 3.

d) Estado de actualización. Se trata de información acerca de las posibles deficiencias que presente el producto cartográfico. Propone los códigos de clasificación de la tabla 4.

Clasificación	Actualización
M	Producto que satisface los criterios de actualización
R	Producto que no satisface los criterios de actualización y necesita mantenimiento
X	Sin determinar

Tabla 4. Actualización

e) Fecha efectiva de la información original. Se refiere al año en que se generó la información utilizada en su formación o revisión. Se registran los dos últimos dígitos del año.

El resultado final de la evaluación será un código alfanumérico con los seis valores que establecen los criterios de clasificación anteriores.

#### Criterios de selección de los puntos de control

En cuanto a la selección de los PC, el estándar recomienda:

- Utilizar una muestra mínima de 167 PC, de forma que el índice de precisión obtenido sea representativo de la población con un nivel de confianza del 90 %.
- Distribuirlos de forma uniforme en la zona a estudiar.
- Seleccionar elementos geográficos bien definidos, como entidades puntuales o intersecciones de entidades lineales, siempre que no hayan sufrido un desplazamiento significativo debido a la simbología utilizada.
- Descartar los vértices geodésicos y, en su caso, los puntos utilizados como apoyo del vuelo fotogramétrico.

#### Exactitud planimétrica

El cálculo de la exactitud planimétrica se basa en la teoría del error circular (EC), que considera que un determinado porcentaje de los errores de posición en el sentido de los ejes X e Y se encuentra dentro de un círculo cuyo radio determina el error medio. Este error se obtiene a partir de la desviación estándar circular de las diferencias en abscisas y ordenadas entre la muestra y la fuente de referencia, que adopta la siguiente expresión:

$$\sigma_{CM} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \frac{\sum (\delta X_i - \bar{\delta X})^2 + \sum (\delta Y_i - \bar{\delta Y})^2}{n-1} \right]}$$

donde:

- $\delta X_i$  y  $\delta Y_i$  son las respectivas diferencias en cada uno de los ejes con respecto al valor real.

- $\bar{\delta X}$  y  $\bar{\delta Y}$  son las medias aritméticas respectivas de los valores y  $\delta X_i$  y  $\delta Y_i$  de la muestra.

- n es el número de puntos de la muestra.

Cuando no existen errores significativos en la fuente de referencia, como sucede en nuestro caso según se demuestra más adelante (3.2),  $\sigma_{CM}$  puede considerarse igual a la desviación estándar circular de los errores en la muestra  $\sigma_C$ . Asumiendo que los errores siguen una distribución normal, la adopción de  $\sigma_C$  como EC supone un grado de confianza del 39,35 %, que indica la probabilidad de que los puntos de la fuente de referencia se encuentren dentro de un círculo centrado en el punto homólogo del conjunto a evaluar y de radio  $\sigma_C$ . Si el radio fuera igual al error medio cuadrático ( $1,4142 \sigma_C = \sigma_{CM}$ ), la probabilidad ascendería al 63,21 %. Para conseguir la probabilidad del 90 % que establece el estándar (tabla 2), debe aplicarse el denominado CMAS (Circular Map Accuracy Standard). Así, cuando no existen errores sistemáticos en la muestra ( $\bar{\delta X}$  y  $\bar{\delta Y}$  son muy próximas a cero), la exactitud planimétrica se calcula con la siguiente expresión:

$$CMAS = 2,146 \sigma_C$$

Si, por el contrario, existen errores sistemáticos ( $\bar{\delta X}$  y  $\bar{\delta Y}$  se separan significativamente de cero), debe emplearse esta otra:

$$CMAS = \sigma_C \left[ 1,2943 + \sqrt{\left( \frac{d}{\sigma_C} \right)^2 + 0,7254} \right]$$

donde  $d$  es el vector sesgo:

$$d = \sqrt{(\overline{\delta X})^2 + (\overline{\delta Y})^2}.$$

### Exactitud altimétrica

La exactitud altimétrica viene determinada por la desviación estándar lineal de las diferencias de cota ortométrica ( $H$ ) entre la muestra y la fuente de referencia, que adopta la siguiente expresión:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum (\delta H_i - \overline{\delta H})^2}{n-1}},$$

donde:

- $\delta H_i$  son las respectivas diferencias de altitud ortométrica con respecto al valor real.

- $\overline{\delta H}$  es la media aritmética de los valores  $\delta H_i$  de la muestra.

- $n$  es el número de puntos de la muestra.

De forma similar al análisis planimétrico, cuando la fuente de referencia no presenta errores significativos, la desviación estándar lineal  $\sigma$  de los errores en la muestra puede considerarse igual a  $\sigma_M$ . Asimismo, la adopción de  $\sigma$  supone un grado de confianza del 68,27 %. Si la muestra no presenta errores sistemáticos ( $\overline{\delta H}$  es muy próxima a cero), la exactitud altimétrica se calcula en términos del denominado LMAS (Linear Map Accuracy Standard, tabla 3) con la siguiente expresión:

$$LMAS = 1,645\sigma.$$

En caso contrario ( $|\overline{\delta H}|$  difiere significativamente de cero), existe un sesgo  $b = |\overline{\delta H}|$ . Entonces las fórmulas a utilizar son:

$$LMAS = \sigma \left[ 1,645 + 0,92 \left( \frac{b}{\sigma} \right)^2 - 0,28 \left( \frac{b}{\sigma} \right)^3 \right].$$

- Si  $b < 1,4\sigma$  :
- Si  $b > 1,4\sigma$  (menos frecuente) :

(esta fórmula no es válida cuando  $b < \sigma$ ).

$$LMAS = \sigma \left[ 1,282 + \left( \frac{b}{\sigma} \right) \right].$$

### Valores atípicos

El tratamiento de los valores atípicos (outliers) se basa en el análisis de los residuos de la muestra, de forma que un residuo es considerado como posible valor atípico cuando su valor absoluto es superior a la desviación estándar de la muestra multiplicada por un factor estadístico  $M$ , según los siguientes criterios:

- Test lineal.

Residuo:  $R = \delta w_i - \overline{\delta w}$ . Si  $|R| > M1 \sigma_w$  se trata de un posible valor atípico ( $w$  puede representar abscisas, ordenadas o cotas). Asimismo:

- Para muestras grandes (más de 167 puntos):  $M1 = 3$ .

- Para muestras pequeñas:

$M1 = 1,9423 + 0,5604 \log_{10} v$ , siendo  $v = n - 1$  grados de libertad. (8)

- Test circular.

Residuo:

$$R = \sqrt{(\delta X_i - \overline{\delta X})^2 + (\delta Y_i - \overline{\delta Y})^2}.$$

Si  $|R| > M2\sigma_C$  se trata de un posible valor atípico y:

- Para muestras grandes (más de 167 puntos):  $M2 = 3,5$ .

- Para muestras pequeñas:

$$M_2 = \sqrt{2,5055 + 4,6052 \log_{10} v},$$

con  $v = n - 1$  grados de libertad.

Antes de rechazar un valor atípico detectado debe ser analizado y corregido si es necesario. En su caso, sólo debe ser eliminado un punto en cada análisis y el proceso se repetirá hasta que desaparezcan todos.

### Cálculo del sesgo

Para determinar si el sesgo de la media aritmética  $w$  de las variables analizadas ( $x$ ,  $y$ ,  $H$ ) es significativo, el estándar aplica un estadístico que se distribuye según la distribución t-Student. El sesgo será considerado significativo con un nivel del confianza del 90 % si el cero no se encuentra dentro del intervalo  $[w - t_{10\%}\sigma_w, w + t_{10\%}\sigma_w]$ , donde:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_w}{\sqrt{n}}.$$

$t_{10\%}$ : valor que asegura un nivel de confianza del 90 % basado en la distribución t-Student con  $5n - 1$  grados de libertad.

Para grandes muestras, la distribución t-Student puede ser aproximada a una normal.



## Muestras pequeñas

Cuando el tamaño de la muestra utilizada es menor de 167 puntos, es necesario aplicar un factor de corrección (FC) a los parámetros estadísticos anteriores, con el objeto de que el resultado sea más representativo de la exactitud evaluada. El estándar utiliza el test  $\chi^2$  para calcular el error perceptible con un determinado nivel de confianza. Siendo este nivel de confianza del 90 %, el FC de los índices CMAS y LMAS antes calculados se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$FC = \frac{\sqrt{\frac{v}{\chi_v^2(0,95)}}}{1,1},$$

donde:

- $v = n - 1$  grados de libertad.
- $\chi_v^2(0,95)$  es el estadístico  $\chi^2$  que proporciona una probabilidad del 95 % con  $v$  grados de libertad.

### Software para el estudio de la exactitud

Por último, el estándar proporciona un programa en Excel con la formulación antes expuesta (NSA, 2002: anexo A, apéndice 3), que permite calcular de forma sencilla la precisión planimétrica y altimétrica del conjunto evaluado y obtener sus categorías según las tablas 2 y 3, a partir del número de puntos de control y las medias aritméticas y desviaciones estándar de los errores en las componentes (x, y, H) de los mismos,

## Material y metodología

### Material

A continuación se resume el material utilizado:

- Cartografía a evaluar: hoja 28-12 (285) Almodévar de la serie L (M7814, escala 1:50 000) de la Cartografía Militar de España, formada en 2002 y publicada en 2003 por el CEGET. Adopta la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) y el sistema geodésico de referencia ED50 (European Datum 1950).
- Datos de observación y navegación de la estación permanente GPS de Huesca (IGN, 2006).
- Receptores GPS: 3 Trimble serie 4000 SSE y 1 Trimble serie 4700, ambos de doble frecuencia.

- Cuentahilos de 0,1 mm de precisión.
- Software:
  - Proceso de datos GPS: Trimble Geomatics Office.
  - Tratamiento de IG: GeoMedia Professional (v. 6.0) y Carta Digital (v. 4.9).
  - Transformación de coordenadas y evaluación posicional: MS Excel 2003.

### Metodología

El método de trabajo se estructuró en las siguientes fases:

- Captura de datos, con las siguientes subfases descritas más adelante:
  - a) Selección de los PC.
  - b) Obtención de coordenadas-mapa (UTM, ED50) y cálculo de los errores de lectura.
  - c) Elección del método GPS y obtención de coordenadas-terreno (UTM, ED50): observaciones GPS, procesado de datos, transformación de coordenadas y cálculo de errores de observación.
  - d) Depuración de valores atípicos.
- Evaluación posicional, en la que se aplica la metodología propuesta por el STANAG 2215.
- Análisis de los resultados, que permitirá obtener las conclusiones finales.

En la figura 1 se resume la metodología expuesta.

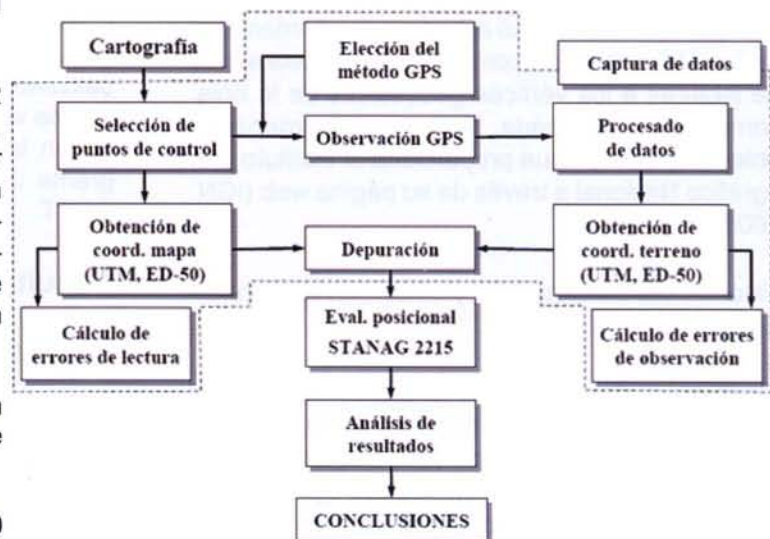


Figura 1. Esquema del método de trabajo

El DGYT incluyó los trabajos de campo de la fase de captura de datos dentro de las prácticas estivales del primer año del 27 Curso de Geodesia y en ella intervinieron los siete Oficiales que lo componían. El área de estudio se dividió en tres zonas en sentido este-oeste: 1) entre el límite este y la abscisa  $x = 696\ 000\text{ m}$ ; 2) entre las abscisas  $x = 696\ 000\text{ m}$  y  $x = 686\ 000\text{ m}$ ; 3) entre la abscisa  $x = 686\ 000\text{ m}$  y el límite oeste. Asimismo, se constituyeron tres equipos cada uno de los cuales se hizo cargo de los trabajos en una zona (Domínguez, 2006).

### *Selección de puntos de control*

A pesar de las recomendaciones del STANAG en cuanto a la muestra mínima (167 puntos), las características particulares de la parte central de la hoja (embalse de la Sotonera, con unos 19 km<sup>2</sup> de superficie, y terreno sensiblemente llano con escasez de elementos puntuales característicos) aconsejan disminuir el número de puntos de control considerados que se fijaron en 150 (50 puntos por zona).

La selección se efectuó entre los elementos puntuales y cruces de elementos lineales de fácil identificación en el mapa y en el terreno, prescindiendo de los vértices geodésicos y los puntos de apoyo del vuelo fotogramétrico: esquinas de edificios aislados, cruces de caminos y de caminos con carreteras, puntos de cota, puntos kilométricos, apeaderos, estaciones de ferrocarril y puentes (Domínguez, 2006).

### *Obtención de coordenadas-mapa (UTM, ED50) y cálculo de los errores de lectura*

Para mejorar la precisión en la lectura de coordenadas sobre el mapa de un usuario convencional, se utilizó un cuentahilos de 0,1 mm de precisión. Asimismo, se estudió el error de lectura del operador que realizó la lectura de coordenadas de los 150 puntos de control mediante seis series de lecturas a los vértices geodésicos de la hoja, comparando en cada serie las coordenadas obtenidas con las que proporciona el Instituto Geográfico Nacional a través de su página web (IGN, 2008b).

### *Elección del método GPS y obtención de coordenadas-terreno (UTM, ED50)*

- Elección del método GPS. Las observaciones en posicionamiento relativo con receptores de doble frecuencia y los datos de la estación permanente GPS de Huesca, tratados con aplicaciones postproceso, permiten obtener precisiones centimétricas que resultan más que suficientes para este trabajo.

Así, los parámetros utilizados en cada receptor fueron los siguientes:

- Tiempo de estacionamiento: 10 minutos.
- Número mínimo de satélites: 5.
- Máscara de elevación: 15°.
- Posicionamiento: relativo.
- Algoritmo de cálculo: estático rápido.

- Observaciones GPS. Cada equipo trabajó en la zona de responsabilidad durante tres días, en sesiones de mañana y tarde. Con el fin de estudiar posteriormente los errores de observación, en cada sesión se estacionó al menos una vez en alguno de los vértices geodésicos de la Red de Orden Inferior (ROI) situados en dicha zona.

- Procesado de datos. Los elipsoides de referencia GRS 80 (Geodetic Reference System 1980), asociado al ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), y WGS 84 (World Geodetic System 1984) son intercambiables para el propósito que nos ocupa (Lorenzo, 2008). Por tanto, las coordenadas geodésicas referidas a los sistemas WGS 84 y ETRS89 pueden considerarse idénticas. Así, utilizando el módulo de cálculo de baselines del programa Trimble Geomatics Office, se calcularon las coordenadas geodésicas (ETRS89) de los puntos de control, a partir de los ficheros de observación de los receptores GPS (\*.dat) y los ficheros de observación y navegación de la estación permanente de Huesca (a 1 segundo, formato RINEX).

- Transformación de coordenadas. Aunque el estándar propone el estudio de la exactitud posicional referida al sistema geodésico WGS 84, las coordenadas-terreno se calcularon en el sistema en el que está basado el mapa, como aconseja Sevilla (1991). Así, las coordenadas ETRS89 se transformaron previamente al sistema ED50 mediante la calculadora geodésica que ofrece el IGN en su página web (IGN, 2008a). A continuación se obtuvieron las coordenadas UTM mediante un programa de conversión diseñado en Excel por el DGYT.

## **Resultados y discusión**

### *Errores de lectura de coordenadas-mapa*

Con el método de series a los vértices geodésicos descrito en el apartado anterior, los errores obtenidos fueron de 3,5 m en planimetría y 0,3 m en altimetría, muy por debajo de las precisiones máximas para la escala 1:50 000 que figuran en las tablas 2 y 3 (25 y 5 m, respectivamente).

## Errores de observación

Mediante la comparación de las coordenadas verdaderas de los vértices geodésicos (IGN, 2008b) con las calculadas a partir de las observaciones GPS se obtuvieron los siguientes errores (tabla 5): 13,5 cm en planimetría y 26,7 cm en altimetría, muy por debajo de la apreciación gráfica que permite el procedimiento de lectura de coordenadas-mapa empleado (5 m en planimetría). Así, puede considerarse que la fuente de referencia no presenta errores significativos.

Nombre Vértice	N.º	Error planimétrico			Error altimétrico
		Error X (m)	Error Y (m)	Total (m)	$\Delta H$ (m)
Atalaya 1	28525	0,109	0,066	0,127	0,168
Atalaya de Tormos	28567	-0,118	-0,088	0,147	0,201
Atalaya 1	28525	0,045	0,047	0,065	0,219
Valiente	28552	-0,131	0,009	0,131	0,244
Valiente	28552	-0,118	-0,008	0,118	0,242
Valiente	28552	-0,110	0,039	0,116	0,258
Atalaya 1	28525	0,082	0,029	0,087	0,085
Rosel	28539	-0,090	-0,043	0,100	0,326
Atalaya de Tormos	28567	-0,107	-0,078	0,132	0,217
Las Crucetas	28582	-0,128	0,036	0,132	0,455
Las Crucetas	28582	-0,126	0,060	0,140	0,443
Las Crucetas	28582	-0,130	0,051	0,140	0,366
Las Crucetas	28582	-0,137	0,056	0,148	0,473
San Cristóbal	28510	-0,079	0,289	0,299	0,037
<b>Promedio =</b>		<b>0,135</b>	<b>0,267</b>		

Tabla 5. Errores en las observaciones GPS

## Muestra inicial de PC tras la captura de datos

Tras la captura de datos, se descartaron inicialmente los siguientes 17 puntos:

- Por inconsistencias en los datos que impiden su procesamiento (errores en los ficheros de observaciones): 13 puntos.
- Por errores de posicionamiento del receptor GPS: 4 puntos.

Por tanto, la muestra inicial contó con 133 puntos.

## Depuración de valores atípicos

Los residuos obtenidos mediante la comparación de coordenadas-mapa y coordenadas-terreno permiten detectar los posibles valores atípicos para su corrección o descarte. Con la expresión (8) se calcula el valor del factor estadístico M1 que multiplica a la desviación estándar para determinar los intervalos de tolerancias en los residuos de la muestra que recoge la tabla 6.

Resulta un total de 25 puntos en planimetría y 4 puntos en altimetría que presentan errores fuera

Coordenadas	Intervalos de tolerancia (m)		
	Valor central	Extremo inferior	Extremo Superior
X	99,1335	-102,8146	95,4524
Y	83,2201	-81,5542	84,8860
H	16,1272	-16,7176	15,5367

Tabla 6. Intervalos de tolerancia iniciales

de los intervalos calculados (la mayor parte son puntos kilométricos). El análisis de los mismos indica que no existe en ningún caso una posible corrección y que, por tanto, deben rechazarse. En definitiva, la muestra cuenta finalmente con 108 puntos en planimetría y 129 en altimetría. Una vez eliminados estos puntos de forma sucesiva, los intervalos de tolerancias finales se incluyen en la tabla 7.

Coordenadas	Intervalos de error (m)		
	Valor central	Extremo inferior	Extremo Superior
X	28,4776	-28,8975	28,0576
Y	25,7965	-25,1313	26,4617
H	12,3140	-11,1654	13,4626

Tabla 7. Intervalos de tolerancia definitivos

## Exactitud posicional y clasificación

Con la muestra depurada, el contraste definitivo de coordenadas-mapa y coordenadas-terreno nos ofrece los resultados que recoge la tabla 8.

Parámetros	X	Y	H
Media (m)	-0,420	0,665	1,149
Desviación típica (m)	9,247	8,377	3,943
Número de puntos	108	129	
Grados de libertad	107	128	

Tabla 8. Parámetros de caracterización de la muestra

Con estos valores de entrada, la aplicación de Excel que proporciona el estándar arroja los resultados incluidos en la tabla 9.

Parámetros	Límite inferior (m)	Valor más probable (m)	Límite superior (m)
Media de los errores en X ( $\overline{\delta X}$ )	-1,8963	-0,420	1,0565
Media de los errores en Y ( $\overline{\delta Y}$ )	-0,6722	0,665	2,0026
Media de los errores en H ( $\overline{\delta H}$ )	0,5734	1,149	1,7238
Desviación típica en X ( $\sigma_x$ )	8,3211	9,247	10,4289
Desviación típica en Y ( $\sigma_y$ )	7,5377	8,377	9,4470
Desviación estándar lineal ( $\sigma_M$ )	3,5783	3,943	4,3981
Desviación estándar circular ( $\sigma_{cr}$ )	7,9391	8,823	9,9501
Planimetría N.º de puntos = 108		Grados de libertad = 107	
Altimetría N.º de puntos = 129		Grados de libertad = 128	

Tabla 9. Datos de entrada

Al descartar la existencia de errores significativos en la fuente de referencia (3.2), puede concluirse que las desviaciones estándar circular  $\sigma_c$  y lineal  $\sigma$  de los errores de la muestra son:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c = \sigma_{CM} &= 8,823 \text{ m} \\ \sigma = \sigma_M &= 3,943 \text{ m} \end{aligned} \right\}$$

Finalmente, en la tabla 10 se resumen las exactitudes altimétrica y planimétrica obtenidas, así como su clasificación según las tablas 2 y 3.

Altimetría	Límite inferior (m)	Valor más probable (m)	Límite superior (m)
Estimación de LMAS sin sesgo	5,89	6,49	7,23
$b/\sigma$	0,321	0,291	0,261
Existencia de sesgo: $b =  \delta H $	Si	Si	Si
LMAS absoluto (sesgo modelo 1)	6,19	6,77	7,49
LMAS absoluto (sesgo modelo 2)	N/A	N/A	N/A
LMAS	6,19	6,77	7,49
LMAS ajustado		6,86	
Clasificación		1	

Altimetría	Límite inferior (m)	Valor más probable (m)	Límite superior (m)
Estimación de CMAS sin sesgo	17,0372	18,93	21,3528
$d = \sqrt{(\delta X)^2 + (\delta Y)^2}$		0,787	
Existencia de sesgo	No	No	No
$d/\sigma_c$	0,10	0,09	0,08
CMAS absoluto con sesgo	N/A	N/A	N/A
CMAS	17,04	18,93	21,35
CMAS ajustado		19,41	
Clasificación		A	

Tabla 10. Exactitud posicional y evaluación

### Clasificación final

Calculadas las exactitudes planimétrica y altimétrica, restan por calificar los siguientes tres aspectos:

- Precisión geométrica absoluta. Aunque está relacionada con las exactitudes anteriores, la referencia del conjunto a un sistema geodésico diferente a WGS 84 lo clasifica como «E».

- Estado de actualización. No presenta información al respecto: clasificación «X».

- Fecha efectiva. Hoja formada en 2002: clasificación «02».

Así, según los criterios del STANAG 2215, la clasificación final de la hoja evaluada en cuanto a la aptitud de su información topográfica es:

**EA1X02**

### Conclusiones

#### Conclusiones generales

Para estudiar la metodología que propone el STANAG 2215 en la evaluación de la exactitud posicional cartográfica se ha seleccionado la hoja 28-12 (285) Almudévar de la serie L (M7814, escala 1:50 000) de la Cartografía Militar de España que publica el CEGET. A continuación se exponen las conclusiones extraídas del estudio.

#### Criterios de selección de los puntos de control

Considerando como puntos de control una serie de puntos aislados y cruces de elementos lineales, se ha observado un comportamiento similar en los mismos, a excepción de los puntos kilométricos, cuya utilización se desaconseja. No obstante, atendiendo a los errores obtenidos, el orden de prioridad a la hora de su elección es el siguiente:

1. Cruces de caminos y de caminos con carreteras.
2. Apeaderos o estaciones de ferrocarril.
3. Puentes.
4. Puntos de cota.
5. Edificios aislados (con representación a escala).

#### Obtención de coordenadas-mapa

Las coordenadas en el mapa se han obtenido mediante un cuentahilos de 0,1 mm de precisión. Previamente se calculó el error de lectura del operador: 3,5 m en planimetría y 0,3 m en altimetría, muy por debajo de las precisiones máximas establecidas para la escala estudiada.

#### Obtención de coordenadas-terreno

Las características de los receptores GPS utilizados (doble frecuencia) y los parámetros utilizados en las observaciones (tiempo de estacionamiento: 10 minutos; número mínimo de satélites: 5; máscara de elevación: 15°; posicionamiento: relativo; algoritmo de cálculo: estático rápido) proporcionan una precisión centimétrica. Asimismo, el estudio de errores arrojó los siguientes resultados: 13,5 cm en planimetría y 26,7 cm en altimetría, lo que nos permite suponer la ausencia de errores significativos en la fuente de referencia.

#### Evaluación de la aptitud de los datos topográficos de la hoja evaluada según el STANAG 2215

Criterios	Resultado	Clasificación
Exactitud geométrica absoluta	ED50	E
Exactitud planimétrica	CMAS = 19,41 m	A
Exactitud altimétrica	LMAS = 6,86 m	I
Estado de actualización	Sin determinar	X
Fecha efectiva	Formado en 2002	02

Tabla 11. Resultados de la evaluación según el STANAG 2215

#### Análisis de la metodología utilizada

En cuanto al STANAG 2215, se destacan los siguientes aspectos:

- Se trata de un documento bien estructurado que presenta una formulación rigurosa (Ariza y Atkinson, 2006).

- El tamaño de la muestra recomendado (superior a 167 puntos de control) resulta muy adecuado para alcanzar un índice de precisión representativo de la población –Ariza y Atkinson (2006) sugieren un tamaño superior a la centena–. Asimismo, incluye la expresión matemática de un factor de corrección que aconseja aplicar en caso de muestras de menor tamaño.

- Se trata de la única metodología que permite la detección de valores atípicos (outliers) y que incluye información sobre la fecha y el estado de actualización del producto cartográfico.

- Es uno de los pocos estándares que considera el tratamiento de sesgos.

- Incluye un programa informático para aplicar la metodología.

Asimismo, se han considerado las siguientes posibles mejoras:

- Establecer el área de la representación a evaluar (hoja, serie, etc.).

- Determinar el método de captura de coordenadas del producto a evaluar y de la fuente de mayor precisión.

- Ante comportamientos heterogéneos de los errores en el espacio evaluado, el STANAG contempla la posibilidad de establecer diferentes zonas con clasificaciones de exactitud distintas y asignar al conjunto la peor de las clasificaciones obtenidas. Sin embargo, puede considerarse que sería más objetivo obtener una media ponderada de las mismas, utilizando como peso la superficie de cada una.

### *Futuras líneas de investigación*

- El estándar recomienda utilizar una muestra mínima de 167 puntos de control para alcanzar un índice de precisión representativo de la población con una probabilidad del 90 %. Es necesario tener prevista la selección de un número de puntos superior debido, por una parte, a los obligados descartes ocasionados por los posibles errores de observación y, por otra, al tratamiento de los valores atípicos en el proceso de depuración. Puede considerarse adecuado aumentar la muestra inicial a 190 puntos (un incremento aproximado del 15 %).

- Obtener las coordenadas en campo a partir de las observaciones realizadas mediante RTK.

- Evaluar los costes del proceso para establecer un equilibrio entre el tamaño de la muestra y el grado de confianza de los resultados obtenidos.

- Aplicar la metodología a un área de mayor superficie y en varias zonas de la serie evaluada.

## Agradecimientos

A los geodestas militares del 27 Curso de Geodesia, por su trabajo y dedicación, con un especial reconocimiento al Comandante D. Juan Ángel Domínguez García-Gil por su colaboración en el tratamiento de los datos de gabinete y de campo, así como en la evaluación y análisis de resultados posteriores.

A Pedro Javier Prieto Ocete, del máster en SIG de la Universidad Pontificia de Salamanca (Facultad de Informática, 7.ª edición), por sus destacadas aportaciones en la revisión de los resultados obtenidos y en el análisis de los mismos.

## Bibliografía

ABBAS, I.; GRUSSENMEYER, P. y HOTTIER, P. (1995). Contrôle de la Planimétrie d'une Base de Données Vectorielles: une Nouvelle Méthode Basée sur la Distance de Hausdorff. la Méthode du Contrôle Linéaire. Bul. S.F.P.T., n.º 137.

AENOR (2005). Información Geográfica – Principios de Calidad (ISO 19113:2002). Versión oficial en español. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (2008). Proyecto normativo: Evaluación Componente Posicional de Datos Espaciales. Comité Técnico 148 de la Asociación Española de Normalización y Certificación. [http://coello.ujaen.es/investigacion/web\\_giic/Sub-Web\\_Giic\\_PNCPos/Inicio.htm](http://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/Sub-Web_Giic_PNCPos/Inicio.htm)

ARIZA, F. J. (2002). Control de Calidad en la Producción Cartográfica. Madrid: Ra-Ma.

ARIZA, F. J. y ATKINSON, A. (2006). Metodologías de Control Posicional: Visión General y Análisis Crítico. Universidad de Jaén.

ARIZA, F. J. y ALONSO, J. A. (2008). La familia ISO 19100: Normas Generales. Mapping. 123. <http://www.mappinginteractivo.com>.

ASCI (1983). Map Uses. Scales and Accuracies for Engineering and Associated Proposes. New York: American Society of Civil Engineers. Committee on Cartographic Surveying. Surveying and Mapping Division.

ASPRS (1989). Accuracy Standards for Large Scale Maps. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. PE&RS. Vol. 56, n.º 7: 1068-1070.

FGDC (19980). FGDC-STD-007. Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3. Reston: National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee.

CEGET (2003). Almodévar. Serie L. Hoja 28-12. Cartografía Militar de España. Escala 1:50.000. Madrid: Centro Geográfico del Ejército.

DOMÍNGUEZ, J. Á. (2006). Serie L (escala 1:50 000: Control de Calidad Posicional según el Estándar Marcado por la OTAN. Tesis final del 27 Curso de Geodesia. Director: Lorenzo, W. Madrid: Departamento de Geodesia y Topografía. Escuela de Guerra del Ejército.

GAGO, A. J.; FERREIRA, R. A. y SILVA, R. F. (2006). IGeoE: Positional Quality Control in the 1/25000 Cartography. Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Lisboa.

GARCÍA, F. J. y RODRÍGUEZ, A. F. (2008). Normalización en Información Geográfica. Mapping, 123. <http://www.mappinginteractivo.com>.

GOODCHILD, M. F. y HUNTER, G. J. (1997). A Simple Positional Accuracy for Linear Features. Int. Journal Geographic Information Science. Vol. 11, n.º 3: 299-306.

IGN (2006). El Servidor FTP de la Red de Estaciones Permanentes GPS del IGN. Instituto Geográfico Nacional. <ftp://ftp.geodesia.ign.es/ERGPS>.

IGN (2010a). Calculadora geodésica. [http://www.ign.es/ign/es/IGN/calculadora\\_geodesica.jsp](http://www.ign.es/ign/es/IGN/calculadora_geodesica.jsp) (última consulta: 13/09/2010).

IGN (2010b). Vértices Geodésicos. [http://www.ign.es/ign/es/IGN/vertices\\_geodesicos.jsp](http://www.ign.es/ign/es/IGN/vertices_geodesicos.jsp) (última consulta: 14/09/2010).

ISO (2001). ISO 19114: Geographic Information - Quality evaluation procedures. International Organization for Standardization. Geneva.

ISO (2002). ISO 19101: Geographic Information - Reference Model. International Organization for Standardization. Geneva.

ISO (2006). ISO 19138: Geographic Information - Data Quality Measures. International Organization for Standardization. Geneva.

JAKOBSSON, A. y VAUGLIN, F. (2002). Report of a Questionnaire on Data Quality in National Mapping Agencies. CERCO Working Group on Quality. Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle. Marne-la-Vallée.

LORENZO, W (2008). Elementos de Cartografía Matemática. Madrid: Centro Geográfico del Ejército.

MANZANO, F.; MONTERO, M. A. y MANZANO, G. (2004). Aplicación del GPS al Control de la Cartografía Catastral Urbana. Actas del XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Universidad de Zaragoza.

MANZANO, F. y MONTERO, M. A. (2004). Desarrollo de una Metodología de Control de la Cartografía Catastral Urbana mediante GPS. CT/Catastro, 50: 103-120.

MAS, S. (2008). La Familia de Normas ISO 19100. Prólogo. Mapping, 123. <http://www.mappinginteractivo.com>.

MOZAS, A.; UREÑA, M. A. y ARIZA, F. J. (2007). CPLin: una Herramienta para el Control Posicional de la Cartografía mediante Elementos Lineales. Mapping, 116. <http://www.mappinginteractivo.com>.

RUIZ, J. J.; MOZAS, A. T. y ARIZA, F. J. (2007). Muestreo. observación GPS y rendimientos obtenidos en la adquisición de vías de comunicación para el control de calidad posicional de la cartografía mediante elementos lineales. Topografía y Cartografía, 24: 48-57.

NSA (2002). STANAG 2215 IGEO (Edition 6): Evaluation of Land Maps. Aeronautical Charts and Digital Topographic Data. Brussels: NATO Standardization Agency.

PELÁEZ, J. A. (1997). EMG96. Un Nuevo Modelo de Geoide de Precisión. Mapping, 39. <http://www.mappinginteractivo.com>.

PRIETO, P. J. (2010). Estudio y aplicación del sistema de evaluación cartográfica STANAG 2215. Tesis final de curso. Director: Lorenzo, W. Máster en Sistemas de Información Geográfica (7.ª ed.). Madrid: Facultad de Informática. Universidad Pontificia de Salamanca.

RD (2007). Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional. BOE n.º 287 de 30 de noviembre: 49215-49229.

RODRÍGUEZ-MONTEVERDE, J. (1997). Criterios para el control de precisión cartográfica de las series C. 2C y 5L. Madrid: Servicio Geográfico del Ejército.

SEVILLA, M. J. (1991). Criterios de Precisión Cartográfica. Madrid: Instituto de Astronomía y Geodesia. Facultad de Ciencias Matemáticas. Univ. Complutense.

TWEITE, H. y LANGAAS, S. (1999). A Accuracy Assessment for Geographical Line Data Sets Based on Buffering. Int. Journal Geographic Information Science. Vol. 13, n.º 1: 27-47.

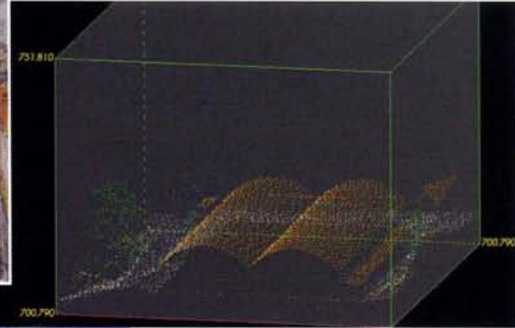
USBB (1947). United States National Map Accuracy Standards. Washington: Bureau of the Budget.

VEREGIN, H. (2000). Quantifying Positional Error Induced by Line Simplification. Int. Journal Geographic Information Science. Vol. 4, n.º 2: 113-130.

# Sensores Lidar

¿Quiere ver el mundo con otra perspectiva?

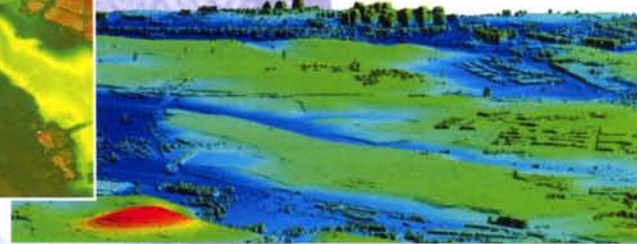
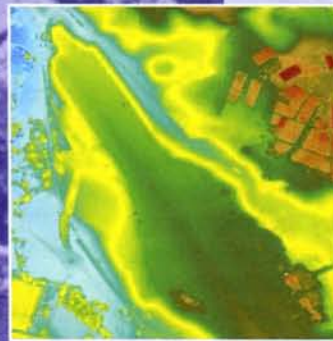
El sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema láser de medición a distancia, que permite la modelización rápida y precisa del terreno, compuesto por un receptor GPS y un sistema inercial (proporcionan la posición, trayectoria y orientación del láser), un emisor y un barredor (scanner)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



Vuelo digital + LIDAR. 18 cm. Comunidad de Madrid

## Aplicaciones:

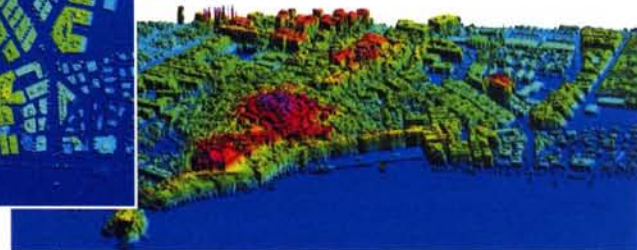
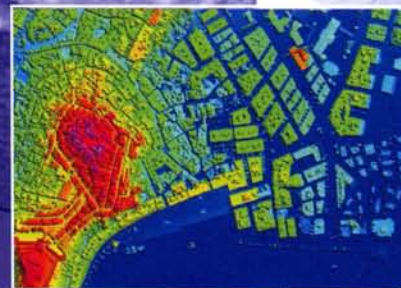
- Aplicaciones cartográficas
- Modelos hidráulicos
- Estudios forestales
- Modelos tridimensionales urbanos
- Seguimientos de costas
- Líneas eléctricas, inventario, puntos críticos



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

## Productos derivados:

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



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](http://www.stereocarto.com)



# Influencia de la precisión del modelo digital de elevaciones en la cubicación de tierras en explanaciones

## *Influence of digital elevation model accuracy on the earthwork computation of gradings*

Sebastián Ayala Moya, Manuel Ángel Aguilar Torres, Ismael Fernández Luque y Fernando José Aguilar Torres

Universidad de Almería, España

### Resumen

En la actualidad la rápida evolución de técnicas de obtención de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), así como el uso de métodos informáticos avanzados, aportan resultados muy satisfactorios en procesos de cubicación de volúmenes de tierras. La necesidad de realizar explanaciones en proyectos de explotaciones agrícolas para la ubicación de las distintas infraestructuras es muy frecuente. Por otra parte, estos movimientos de tierras pueden suponer un porcentaje elevado del presupuesto económico general en los proyectos. Por ello ante la disponibilidad de distintos MDEs se hace necesario un estudio comparativo para estudiar la influencia de la calidad de los MDEs empleados sobre la cubicación de los volúmenes de tierras resultantes de la ejecución de explanaciones. En este trabajo, un MDE extraído a partir de fotografía aérea a escala 1:20000 (1.34 m de precisión vertical) y un MDE de alta resolución (0.09 m de precisión vertical) generado a partir de un vuelo LiDAR (Light Detection and Ranging), son comparados. Por otro lado, también se estudian las repercusiones económicas en la elección del MDE en proyectos de explanaciones.

### Abstract

*Nowadays, the fast evolution of technologies for obtaining Digital Elevation Models (DEMs) as well as the use of computer advanced methods, are improving the results in processes of earthwork computation. In projects of agricultural developments are usually needed the construction of grading for the location of the different infrastructures. On the other hand, these earthworks can suppose a high percentage of the general budget of these infrastructures. By the way, and because the availability of different DEMs, a comparative study is done for understanding the influence of the DEM accuracy used on the computation of earthworks volumes. In this work, a DEM derived from aerial photo-*

*graphy to approximate scale of 1:20000 (vertical accuracy of 1.34 m) and other DEM of high resolution (vertical accuracy of 0.09 m) LiDAR (Light Detection and Ranging) derived, are compared. Besides, the economic repercussions are also studied in the election of the DEM in projects of grading.*

### Introducción

La cubicación de tierras en proyectos en los que se requiere un acondicionamiento previo del terreno (explanaciones, caminos, balsas...) se ha efectuado tradicionalmente utilizando alguna de las variantes del método de los perfiles transversales (Escario y Escario, 1960; Zurita y col., 1990). Actualmente, con la proliferación de los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), el cálculo de volúmenes de tierras se puede realizar por comparación del MDE del terreno original con el MDE del terreno modificado (Aguilar y col., 2000; Kerle, 2002). La precisión final del cálculo de volúmenes de desmonte y/o terraplén estará directamente relacionada con la precisión de los MDEs de partida. Hay que tener en cuenta que en el estudio económico de los proyectos agrícolas que incluyen partidas de explanaciones (desmonte-terraplén), estas pueden suponer un porcentaje importante del presupuesto general. Por ello los errores cometidos en el cálculo de los movimientos de tierras necesarios para la ejecución de una explanación pueden suponer importantes modificaciones del presupuesto inicial del proyecto. Estos errores pueden producirse tanto por la elección del método de cálculo elegido como por la calidad y precisión del MDE empleado en la cubicación de los volúmenes de explanación.

Por ello, en el presente trabajo se realiza un estudio cualitativo entre MDEs con precisiones muy diferente y generados a partir de distintas fuentes: (i) el MDE obtenido a partir de un vuelo fotogramé-



trico realizado en 2001/2002 a una escala aproximada 1/20000, publicado en 2005 por la Junta de Andalucía (Junta de Andalucía, 2005), y (ii) un MDE de alta resolución generado a partir de un vuelo LiDAR (Light Detection and Ranging) realizado en agosto de 2009. Los objetivos perseguidos son: (i) comparar la influencia de la precisión de cada MDE empleado sobre la cubicación de los volúmenes de tierras resultantes de la ejecución de explanaciones, y (ii) hacer un estudio de la repercusión económica derivada del uso entre ambos modelos digitales de elevaciones.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

El estudio comparativo se realiza en la zona comprendida entre Garrucha y Villaricos, en el levante de la provincia de Almería (Figura 1) con una superficie total aproximada de 841 ha.

En el área de estudio se seleccionan 12 superficies de distintas rugosidad (diversos relieves) de aproximadamente 100 m por 100 m (Figura 2).

### MDE de la Junta de Andalucía

El MDE global de la región Andaluza se generó a partir de un vuelo fotogramétrico en blanco y negro, a una escala aproximada de 1:20000, du-



Figura 1: Localización de la zona de estudio

rante los años 2001 y 2002. Está compuesto por una malla regular de puntos de 10 m de espaciado (resolución planimétrica) sobre el terreno que definen la geometría del territorio con un alto grado de detalle. Los datos de este MDE se encuentran referenciados como coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) correspondientes al European Datum 1950 (ED50) y alturas ortométricas. En nuestra zona de estudio, la precisión vertical de este MDE, evaluada a partir de 62 puntos de comprobación medidos sobre el terreno mediante técnicas GPS diferencial (Aguilar y col., 2010), fue de 1.34 m.

### MDE LiDAR

El MDE se obtiene a partir del vuelo con sensor LiDAR realizado el 28 de agosto de 2009 en el marco del Proyecto de Excelencia RNM-3575. La altura de vuelo fue de 1000 m y el escáner láser aerotransportado fue un Leica ALS60 con 35° de



Figura 2: Localización de las 12 zonas de estudio

ángulo de visión (FOV). La densidad media de puntos obtenidos fue de 1.61 puntos/m<sup>2</sup> y para obtener una mayor precisión en el cálculo de trayectorias se utilizó una estación GPS de referencia en tierra ubicado sobre el vértice "Alboluncas" de la Red Regente Nacional.

Todos los procesos para filtrar la nube de puntos obtenidos en formato ALS se llevaron a cabo a través del software TerraMatch® y TerraScan® del paquete TerraSolid®, generando el MDE referenciado al datum ETRS89, UTM 30N.

La precisión vertical del MDE LiDAR, evaluada a partir de 62 puntos de comprobación medidos sobre el terreno mediante técnicas de GPS

diferencial, fue de 0.089 m.

### Índice de Rugosidad

Debido a que cada área seleccionada presenta una rugosidad distinta se hace indispensable recurrir a un estimador de la rugosidad del terreno. Como variable descriptora de la morfología de cada una de las 12 superficies topográficas estudiadas, se eligió la desviación estándar de los vectores unitarios normales a la superficie (DEVUN), que en trabajos anteriores ha demostrado una buena correlación con la rugosidad del terreno (Aguilar y col., 2003). Para la obtención del DEVUN en cada una de las 12 sub-parcelas de 1 ha, se calcularon los vectores unitarios normales a la malla regular de 10 m del MDE de la Junta de Andalucía en cada uno de sus nodos. Posteriormente se calcularon sus componentes principales en las direcciones X, Y, Z, obteniendo finalmente el DEVUN según la expresión:

$$DEVUN = \sqrt{\text{var } x + \text{var } y + \text{var } z}$$

Los procedimientos descritos se programaron mediante el módulo Scriptor®, incluido en SURFER® 8.01 (Golden Software, 2002).

Este estimador de la rugosidad nos servirá para diferenciar las características morfológicas de las distintas superficies y compararlas con los valores de las otras 12 zonas elegidas.

### Metodología

Las 12 zonas de estudio empleadas en este trabajo fueron seleccionadas a partir de una ortofotografía generada a partir de una imagen del satélite comercial con más alta resolución existente en la actualidad (GeoEye-1), en el marco del proyecto de investigación del Plan Nacional de Investigación con referencia CTM2010-16573. Las 12 zonas fueron elegidas de forma que abarcaran distintas morfologías y que, aparentemente, no habían sufrido alteraciones durante la última década. Cada zona comprende una superficie aproximada de 100 m por 100 m (1 ha). Dentro de cada una de ellas se realizaron explanaciones cuadradas horizontales de 50 m de lado.

El sistema de referencia ETRS89 del MDE LiDAR es distinto al sistema de referencia ED50 de la Junta de Andalucía. Para homogeneizar estos sistemas de referencia se utiliza el programa MINCURV, que usa el método de mínima curvatura desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (González-Matesanz y col., 2006) para transformar el MDE LiDAR del sistema ETRS89 al datum ED50, y así elaborar las explanaciones con el mismo sistema de referencia.

El método informático utilizado para realizar las explanaciones y cálculos de movimientos de volúmenes es Autocad Civil® 3D v. 2010, que realiza la cubicación mediante la ejecución de perfiles transversales y la aplicación de la regla de Simpson (método del prismaoide). En primer lugar, las explanaciones se harán usando el MDE LiDAR re-

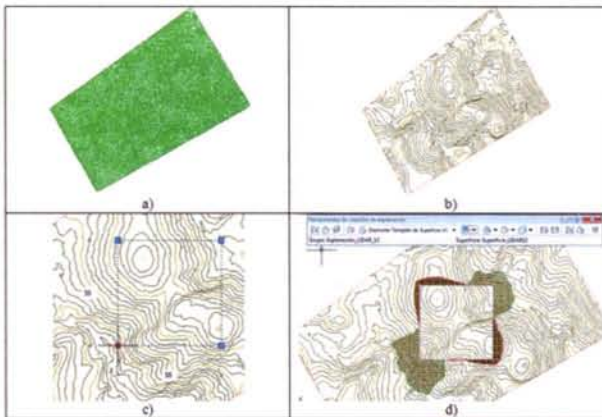


Figura 3: Secuencia de trabajo sobre la zona 12 para el MDE LiDAR: a) inserción del MDE y triangulación, b) visualización de curvas de nivel, c) representación de líneas de vertido (50 m x 50 m) y d) equilibrio entre volúmenes de desmonte y terraplén de la explanación

ferenciado en ED50 de cada zona. Se realiza la triangulación obteniendo la red de triángulos irregulares (TIN). A continuación se generan las curvas de nivel y se define la línea característica que define la explanación horizontal de 50 m por 50 m. La pendiente de los taludes de desmonte fue fijada en todos los casos a 1:1, y los taludes de terraplén a 2:1 (Horizontal:Vertical). En todos los casos se varió la elevación de la explanación para conseguir la compensación total de volúmenes, i.e., volumen de desmonte es igual al volumen de terraplén. La secuencia descrita se puede observar en la Figura 3.

Posteriormente se realizan las explanaciones con el MDE de la Junta de Andalucía usando las mismas superficies base de cada explanación, y con las mismas condiciones y parámetros anteriormente descritos.

### Resultados y discusión

#### Imágenes del proceso de explanación con ambos MDEs

Realizados todos los cálculos del proceso de generación de explanaciones, se obtuvieron un total de 24 explanaciones: 12 con el MDE LiDAR y 12 con el MDE de la Junta de Andalucía (Figura 4).

Sobre las imágenes se observan diferencias en el trazado de las curvas de nivel siendo más rugosas con el modelo LiDAR y más rectilíneas con el modelo de la Junta de Andalucía. Igualmente con el modelo LiDAR se aprecia mayor definición en la

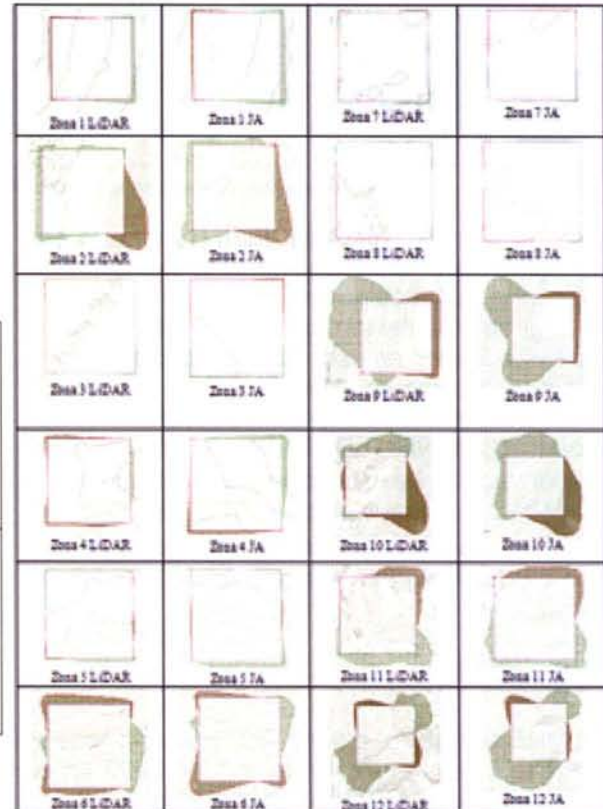


Figura 4: Explanaciones generadas con el MDE LiDAR y Junta de Andalucía (JA) respectivamente

accidentalidad del terreno, diferencias que se aprecian aun más cuanto mayor es el relieve del terreno.

*Datos obtenidos de la cubicación de las distintas zonas*

En la Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos para todas las explanaciones realizadas con ambos MDEs: volúmenes de equilibrio de explanación, altura de explanación y rugosidad por zonas.

Zona	Equilibrio de volúmenes (m³)	Altura de explanación (m)	Rugosidad (DEVUN)
LIDAR_1	765.17	27.324	
JA_1	765.19	27.257	0.005253
LIDAR_2	2558.69	10.524	
JA_2	3440.36	9.957	0.009850
LIDAR_3	138.86	6.977	
JA_3	238.28	4.659	0.004597
LIDAR_4	765.50	4.024	
JA_4	1095.74	4.254	0.003026
LIDAR_5	507.65	3.151	
JA_5	918	3.244	0.004993
LIDAR_6	32225.30	20.060	
JA_6	3579.70	20.350	0.017480
LIDAR_7	218.56	3.717	
JA_7	278.71	3.638	0.000283
LIDAR_8	127.67	3.876	
JA_8	206.36	3.866	0.002572
LIDAR_9	6816.92	20.791	
JA_9	5584	21.152	0.025816
LIDAR_10	5457	21.862	
JA_10	9624	23.917	0.055158
LIDAR_11	4644.54	12.768	
JA_11	4640	12.610	0.026799
LIDAR_12	7303	22.829	
JA_12	7523.3	22.292	0.044650

Tabla 1: Datos resultantes de la explanaciones con MDE LiDAR y Junta de andalucía (JA)

En nueve de las 12 zonas el volumen de equilibrio es mayor para el MDE de la Junta de Andalucía y en una para el LiDAR. En dos zonas no se aprecian diferencias significativas. Por otro lado, se observan cinco zonas en las que las alturas de explanación son mayores con el modelo de la Junta de Andalucía y cuatro con el modelo LiDAR.

La Figura 5 relaciona la rugosidad del terreno con las diferencias, en valor absoluto, entre los volúmenes de cada zona obtenidos usando el MDE LiDAR y el de la Junta respectivamente. La línea de regresión ascendente indica que, a mayor rugosidad del terreno, mayor es el error o diferencia entre los volúmenes calculados a partir de los dos MDEs usados en este trabajo.

*Estudio de costes*

Para el estudio de costes de los movimientos de volúmenes de tierra, hemos usado los precios de la Junta Andalucía, de abril de 2009 (Tabla 2). Cada una de las 12 zonas presenta distinta rugosidad, y podrían estar enclavadas en terrenos de dureza variable (existencia de zonas rocosas, distintos nive-

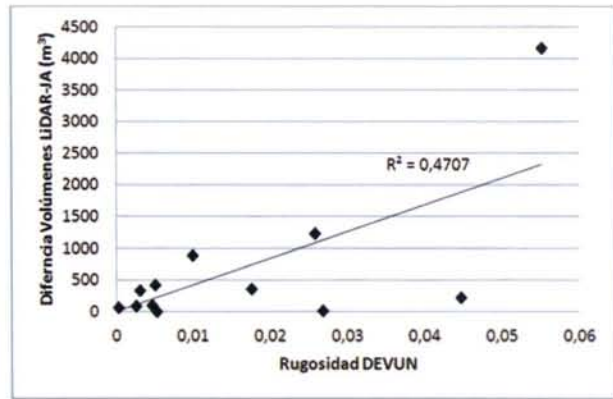


Figura 5: Relación entre diferencias de volúmenes de equilibrio y rugosidad

les de compactación, etc). Por ello, en la Figura 6 se relacionan la rugosidad con la diferencia de costes de explanación obtenidas para cada uno de los MDEs empleados en este trabajo, que dependerán de la dureza del suelo (alta, media, baja). En la Figura 6 se puede observar que a medida que aumenta la rugosidad del terreno, mayor es la diferencia de costes entre ambos modelos digitales del terreno, tal y como indica la línea de regresión ascendente. A mayor dureza del terreno y a mayor rugosidad, las diferencias de costes de explanación son mayores, siendo en estos casos donde es más aconsejable el uso de un MDE de alta precisión.

**Conclusiones**

En este trabajo se han comparado dos MDEs, con resoluciones y precisiones muy distintas, en relación con su capacidad para realizar la cubicación de tierras en proyectos de explanación. Un MDE LiDAR con precisión vertical de 0.089 m y una densidad de 1.61 puntos/m2, y el MDE global de la Junta de Andalucía con un formato en malla de 10 m de espaciado y una precisión vertical de 1.34 m.

En este sentido, debemos considerar como "reales" los volúmenes de tierras y la elevación de la explanación necesaria para compensar desmonte y terraplén calculados a partir del MDE LiDAR en

<b>m3 EXC. DESMONTE TIERRAS CONSIST. DURA, TRANSP. A TERRAPLÉN</b> Excavación, en desmonte, de tierras de consistencia dura, realizada con medios mecánicos, incluso transporte a terraplén. Medida en perfil natural. TOTAL..... 0.70 €
<b>m3 EXC. DESMONTE TIERRAS CONSIST. MEDIA, TRANSP. A TERRAPLÉN</b> Excavación, en desmonte, de tierras de consistencia media, realizada con medios mecánicos, incluso transporte a terraplén. Medida en perfil natural. TOTAL..... 0.64 €
<b>m3 EXC. DESMONTE ROCA BLANDA, TRANSP. A TERRAPLÉN</b> Excavación, en desmonte, de roca blanda, realizada con medios mecánicos, incluso transporte a terraplén. Medida en perfil natural. TOTAL..... 9.37 €
<b>m3 EXC. DESMONTE ROCA DURA, TRANSP. A TERRAPLÉN</b> Excavación, en desmonte, de roca dura realizada con medios mecánicos, incluso carga y transporte a terraplén. Medida en perfil natural. TOTAL..... 14.96 €
<b>m3 EXC. DESMONTE TERRENO DISGREGADO, TRANSP. A TERRAPLÉN</b> Excavación, en desmonte, de terreno disgregado, realizada con medios mecánicos, incluso transporte a terraplén. Medida en perfil natural. TOTAL..... 0.54 €

Tabla 2: Base de datos Junta de Andalucía 2009

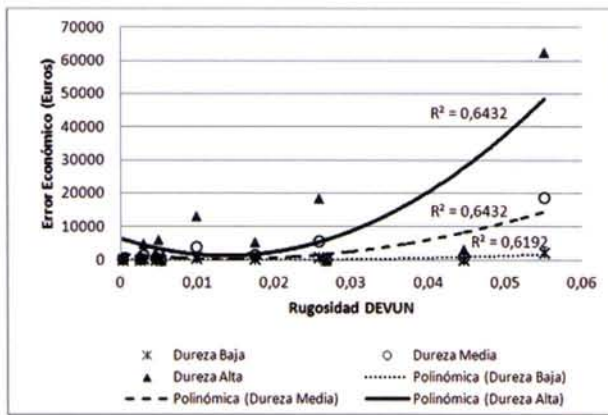


Figura 6: Relación entre diferencias de costes y la rugosidad en función de la dureza del suelo (baja, media, alta)

cada una de las 12 zonas de estudio. De esta forma, las discrepancias de estos resultados con los generados a partir del MDE de la Junta de Andalucía son consideradas como “errores”.

Parece evidente que la característica del terreno que más debe influir en el error en la cubicación de tierras son la rugosidad o morfología del terreno. En este trabajo se observa que a mayor rugosidad del terreno (calculada con el índice de rugosidad DEVUN descrito en el trabajo) mayor es la diferencia o errores entre los volúmenes de equilibrio de cada zona obtenidos a partir de cada uno de los MDEs ensayados.

Objeto también de este estudio es la repercusión económica sobre los proyectos que incluyen partidas de movimientos de tierra y que también se han analizado. Dependiendo de la dureza del terreno sobre el cual se va a realizar el proyecto de explanación, el coste por metro cúbico de los trabajos de desmonte y terraplén varía de forma importante. De esta forma las discrepancias en la cubicación de explanaciones se pueden extrapolar a coste económico o error económico. Así, usando el MDE de la Junta de Andalucía en terrenos llanos con baja rugosidad, los errores económicos que se pueden producir en el presupuesto de ejecución de explanaciones cuadradas horizontales de 50 m de lado, no superan los 500 euros en suelos de consistencia blanda, pudiendo llegar a los 6000 euros en suelos de consistencia dura. Por otra parte, en terrenos muy accidentados con alta rugosidad, los errores en las previsiones económicas podrían elevarse hasta los 60000 euros para terrenos de alta dureza.

Concluir finalmente que una vez más con el estudio e investigación continuada de nuevos y modernos métodos de generación de modelos digitales del terreno se está obteniendo un avance positivo y continuo tanto en cartografía como en aplicaciones directas de ámbito geográfico, medioambiental, proyectos, etc.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos de investigación subvencionados por la Junta de Andalucía, por el Ministerio de Ciencia e Innovación y por la Unión Europea (FEDER) bajo las referencias: Proyecto de Excelencia RNM-3575 y proyecto del Plan Nacional de Investigación CTM2010-16573.

## Referencias Bibliográficas

Aguilar, M.A., Carvajal, F., De Haro, J.M., Aguilar, F.J., Agüera, F., Gálvez, M.J., 2000. Modelo tridimensional del terreno. Aplicación al control de volúmenes de tierras realizados en las obras de restauración medioambiental de una zona minera. Mapping, nº 66, pp. 12-18.

Aguilar, F.J., Agüera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F., Sánchez, P.L., 2003. La calidad de los modelos digitales de elevaciones con estructura de matriz regular. Análisis y modelización. Actas del XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Nápoles-Salerno, Italia, pp. 188.

Aguilar, F.J., Fernández, I., Aguilar, M.A., Pérez, J.L., Delgado, J., Negreiros, J.G., 2010. Shaded-reliefs matching as an efficient technique for 3d georeferencing of historical digital elevation models. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8.

Escario, J.L., Escario, V., 1960. Caminos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

Golden Software, Inc., 2002. Surfer 8 Users' guide, Golden Software Inc., Colorado.

González-Matesanz, J., Malpica J.A., Dalda, A., 2006. A Range of ED50-ETRS89 datum transformation models tested on the Spanish Geodetic Network. Survey Review, 38(102): 654-667.

Junta de Andalucía, 2005. Modelo Digital del Terreno de Andalucía. Relieve y orografía. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain (en DVD).

Kerle, N., 2002. Volume estimation of the 1998 flank collapse at casita volcano, Nicaragua: A comparison of photogrammetric and conventional techniques. Earth Surf. Process. Landforms nº 27, pp. 759-772.

Zurita, E., Herráez, E., Arias, J.L., 1990. Modelado gráfico del terreno. Explanaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Lugo.

# 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)

# Estimación del acarreo de sedimentos de la cuenca del río Apatlaco usando cómputo evolutivo

## *Estimating sediments volume of the Apatlaco river basin by means of evolutive computing*

Margarita Preciado Jiménez  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

Maritza Liliana Arganis Juárez  
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Rafael Val Segura  
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Alfredo R. Ocón G.  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

---

### Resumen

En trabajo se obtuvieron ecuaciones para estimar el acarreo de sedimentos, a nivel mensual, a partir tanto como del volumen de escurrido como de las principales características fisiográficas de las cuencas de tres estaciones hidrométricas del río Apatlaco, Mor., aplicando para ello algoritmos genéticos y programación genética. Las ecuaciones obtenidas con el modelo de programación genética, que involucran a las características fisiográficas reportaron una mejor concordancia con los datos históricos como se reporta en este artículo.

**Palabras clave:** Acarreo, sedimentos, Apatlaco, características fisiográficas, algoritmos genéticos, programación genética.

### Abstract

*In this document equations to estimate the monthly sediments volume as a function of the flows and the main physical characteristics were obtained for the basins of three hydrometric stations in Apatlaco river, Mor., by means of genetic algorithms and genetic programming. The obtained equations with the genetic programming which involve the physical characteristics reported the best agreement with the historical data as is shown in this article.*

**Keywords:** Solids, sediments, Apatlaco, physical characteristics, genetic algorithms, genetic programming.

### Introducción

La estimación del volumen de sedimentos que transporta una corriente superficial es un problema que se ha analizado por la ingeniería hidráulica en las últimas décadas. Los contenidos de materiales en suspensión en los cauces se relacionan estrechamente con los caudales y los aportes de sedimentos arrastrados por los escurrimientos superficiales de las laderas de las cuencas generados durante los períodos de tormentas (Bogardi 1978, Simons y Senturk, 1977); Sin embargo, los sedimentos transportados por los cauces no sólo provienen de las erosiones en las laderas sino que también de los procesos erosivos en la red de drenaje de las cuencas. Estos materiales, aportados por las erosiones en los propios cauces o desde las laderas adyacentes a los mismos, son transportados principalmente en forma de acarreo, proceso también conocido como transporte de fondo. Se han realizado intentos para relacionar el volumen de acarreo de sedimentos con el escurrimiento, pero una dificultad para lograrlo es la escasa información obtenida en campo. (Campos-Aranda, 2009).

Por otra parte en los últimos años el cómputo evolutivo, en particular los algoritmos genéticos y la programación genética se han aplicado con éxito para resolver distintos problemas de la hidrología, ejemplos de estos trabajos son los de Savic et al., 1999, Madsen et al., 2000, Dorado et al., 2002, Keijzer, et al., 2005, Arganis, et al., 2007, Arganis et al., 2008 (1 y 2), Arganis et al., 2009.

En este trabajo se determinaron modelos para estimar el volumen de acarreo de sedimentos de las estaciones Tetlama, Temixco y Zacatepec (que mide aproximadamente los escurrimientos de la suma de las dos anteriores) a partir de dos caminos: el primero, con el empleo de un algoritmo genético simple para la determinación de los parámetros de un modelo exponencial que considera únicamente al volumen de escurrimiento como la variable independiente; el segundo camino consistió en aplicar programación genética para determinar al volumen de acarreo como una función tanto del volumen de escurrimiento como de las características fisiográficas área de la cuenca, pendiente media del cauce principal además de un coeficiente  $n$  de Manning promedio de la cuenca analizada.

## Metodología

### Sitio de estudio

La cuenca del río Apatlaco se ubica en la porción noroeste del estado de Morelos, limita al norte con el Distrito Federal, al norte y noroeste con el Estado de México, al oeste con la cuenca del río Tembembe, y al este y al sur con la cuenca del río Yautepec. El Río Apatlaco nace en el arroyo o barranca denominada Chalchihuapan, al noroeste de Cuernavaca y suroeste del Municipio de Huitzilac, y desemboca en el río Yautepec, afluente del río Amacuzac que finalmente descarga al río Balsas. Dentro de la cuenca se ubican tres grandes ciudades: Cuernavaca, Jiutepec y Temixco, y se localizan los municipios con el mayor ritmo de crecimiento en el Estado, los cuales se pueden agrupar en dos núcleos: Cuernavaca, Jiutepec, Temixco y Xochitepec, por un lado, y Jojutla, Zacatepec y Tlaltizapán, por el otro. El área de la cuenca es de 750.66 km<sup>2</sup>, la cuenca cuenta con 3 estaciones hidrométricas con datos de sedimentos estas son: Temixco ( clave 18 271), Tetlama (clave 18 323) y Zacatepec (clave 18 264), figura 1.



Figura 1. Cuenca del Río Apatlaco y la ubicación de sus estaciones hidrométricas

## Algoritmos genéticos

Los Algoritmos Genéticos (AG) imitan de manera parcial los mecanismos de evolución biológica. Esta técnica fue desarrollada en la universidad de Michigan a principios de la década de 1960 por John H. Holland y un grupo de estudiantes (Holland, 1975). Las características que distinguen a esta técnica son las siguientes:

1. Comúnmente utilizan codificación binaria (cadenas de 0's y 1's) para las posibles soluciones del problema a resolver, aunque también se han utilizado el código gray, representación entera y real.

2. El operador principal es el de cruza (en el caso binario, cruza en un solo punto, esto es, intercambio de subcadenas).

3. La selección usualmente se realiza de manera probabilística.

Los pasos de un algoritmo genético simple son:

1. Generar la población inicial.
2. Evaluar la población, a cada individuo de la población se le asigna un valor de aptitud (fitness).
3. Selección de la población basada en la aptitud (fitness) de cada individuo.
4. Cruza de los individuos seleccionados (padres) para obtener una nueva población (hijos) cada pareja de padres genera una pareja de hijos.
5. Mutación en un porcentaje muy bajo de los individuos hijos.

6. Los individuos hijos forman una nueva población sustituyendo por completo a la generación anterior (padres). Puede existir elitismo, esto ocurre cuando el mejor individuo de la generación de padres pasa intacto a la nueva generación (hijos).

7. Evaluar la población.

8. Se repiten los pasos de iii al vii hasta alcanzar un criterio de fin (comúnmente se trata de un determinando número de generaciones).

En la figura 2 se presenta el esquema de un algoritmo genético simple tradicional (Jiménez, 2004).

Estos algoritmos han sido empleados en diversas áreas del conocimiento y con ellos se han obtenido resultados significativos en problemas de optimización, búsqueda y aprendizaje de máquina. Se trata de algoritmos aleatorios que permiten estimar parámetros de un modelo dentro de un problema de optimización. Como ejemplo podemos hablar del uso de algoritmos genéticos para estimar los parámetros de una función de distribución univariada (Domínguez et al., 2004, Fuentes et al., 2006), también se ha aplicado para obtener los parámetros de funciones bivariadas (Domínguez et al., 2009).

Para estimar los parámetros de un modelo matemático, el algoritmo genético requiere como datos de entrada el número de variables a determinar, en este caso, el número de parámetros del modelo propuesto; se define una población inicial o primera generación, con cierto número de individuos, donde cada individuo será un conjunto de valores de los parámetros del modelo considerado; se evalúa el desempeño (fitness) de cada individuo con la función objetivo; se seleccionan los individuos con mejor desempeño usando el método de la ruleta o el método estocástico universal (Goldberg, 1989). A los individuos seleccionados se les aplican los operadores de cruce y mutación generando una nueva población con la que se repite el proceso hasta llegar al número de generaciones previamente establecido. En esa última generación se selecciona el individuo de mejor desempeño (que será el conjunto de parámetros del modelo analizado).

En este estudio se propuso obtener los parámetros de un modelo de tipo exponencial.

### Programación genética

La programación genética (PG) se considera una subrama de los algoritmos genéticos, representando a los individuos de la población ya no como cadenas lineales de longitud fija ya sean binarias,

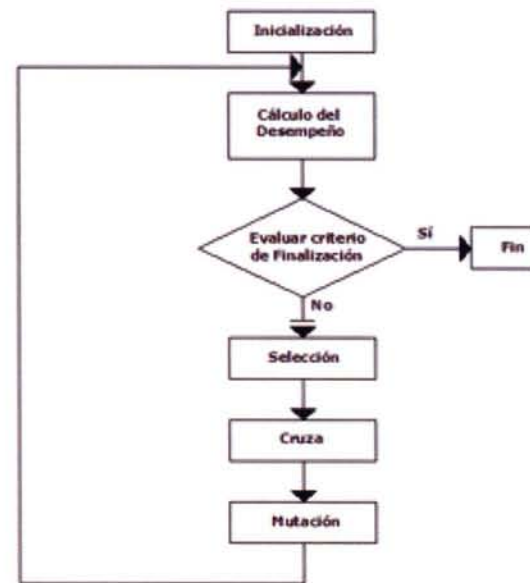


Figura 2. Diagrama de bloques de un algoritmo genético simple

enteras o reales, sino como árboles. Estos árboles codifican "programas" que pueden representar una función matemática para darle solución a un problema dado. Un algoritmo típico de programación genética está formado por un conjunto de funciones, que pueden incluir operadores de tipo aritmético (+, -, \*, /, ...) funciones trascendentes (sin, cos, tan, ln, exp...) incluso operadores de relación (>, <, =) o bien operadores condicionales (IF). También considera un conjunto de terminales con variables y constantes ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ). En el algoritmo se genera aleatoriamente una población inicial con un número de individuos y de nodos (operadores más variables y constantes) previamente definidas de acuerdo con el dominio del problema. Se debe definir una función objetivo para evaluar el desempeño (fitness) de cada individuo (en este caso cada individuo será un modelo o un programa de la combinación aleatoria de nodos). A continuación se aplican los operadores selección, cruce y mutación para los mejores individuos y se genera una nueva población que pasa a la siguiente generación. Todo el proceso anterior se repite hasta que alcanza un cierto número de generaciones (iteraciones) (Cramer, 1985, Koza, 1989, Arganis et al., 2004, Arganis et al., 2007, Arganis et al., 2008 (1 y 2), Arganis et al., 2009).

En este trabajo se propuso utilizar un conjunto de operadores exclusivamente algebraicos (+, -, \* y /), además de considerar al volumen de acarreo de sólidos ( $V_{\text{acarreo}}$ ), en millones de  $m^3$ , en función del volumen de escurrimiento ( $V$ ), en millones de  $m^3$ , el área de la Cuenca ( $A_c$ ), en  $km^2$ , la pendiente del cauce principal ( $S$ ), en decimales, y una  $n$  de manning promedio ( $n$ ), en  $s/m^{1/3}$ , con las unidades de la  $n$  de Manning en Sistema Internacional.



## Función objetivo

Se eligió como función objetivo aquella que minimiza al error medio cuadrático entre el volumen de acarreo medido ( $V_{acarreo}$ ) y el calculado ( $V1_{acarreo}$ ) en  $n$  meses de registro histórico:

$$FO = \text{Min} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(V_{acarreo_i} - V1_{acarreo_i})^2}{n} \right] \quad (1)$$

## Aplicación y resultados

### Estación Tetlama

Al obtener con la aplicación del algoritmo genético los parámetros de un modelo exponencial se obtuvo la siguiente ecuación para la estimación del volumen de acarreo mensual en la estación hidrométrica Tetlama:

$$V_{acarreo} = -1.2835n^2(S - V + 3.8248Ac) \quad (3)$$

El error medio cuadrático obtenido con el algo-

ritmo genético fue de 27.3. Cuando se aplicó programación genética el modelo obtenido para Tetlama fue:

$$V_{acarreo} = -1.2835n^2(S - V + 3.8248Ac) \quad (3)$$

El error medio cuadrático con el modelo de programación genética fue de 7.17.

En la figura 3 aparece la comparación entre los resultados medidos y los calculados. Adicionalmente mes a mes los estadísticos media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y el coeficiente de autocorrelación; en las figuras 4 a 7 se presentan estas gráficas.

### Estación Temixco

Tras aplicar el algoritmo genético y obtener distintos modelos, además de aplicar el modelo de Tetlama con los datos de esta nueva estación, se encontró nuevamente que el mejor modelo fue el obtenido con los datos de Tetlama, dado por la ecuación 1, con un error medio cuadrático de 54.62.

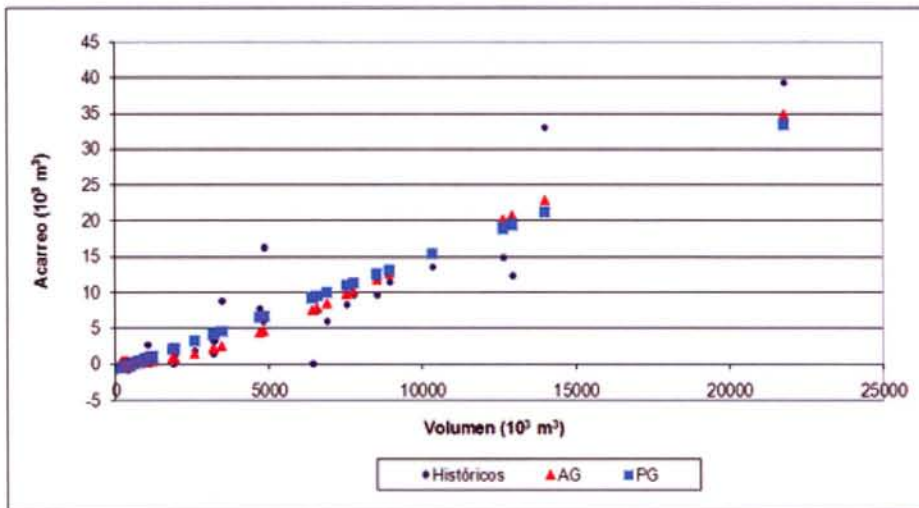


Figura 3. Comparación entre el acarreo histórico y el calculado. Estación Tetlama

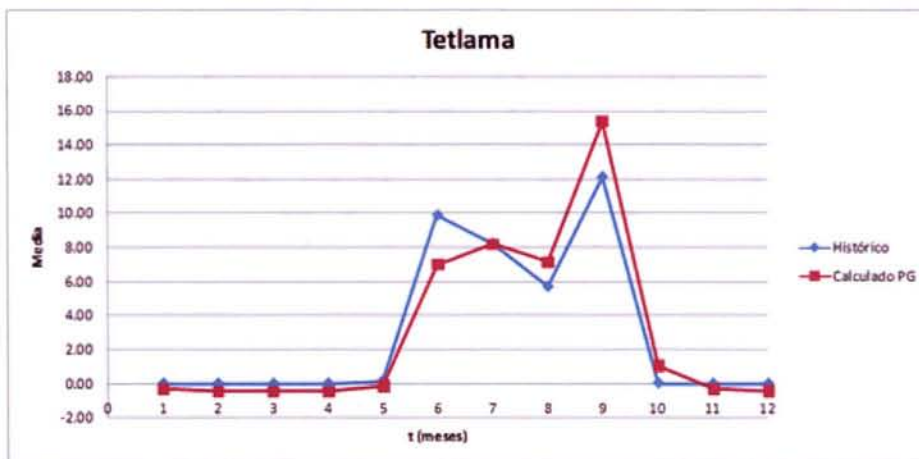


Figura 4. Comparación entre la media histórica y calculada. Estación Tetlama

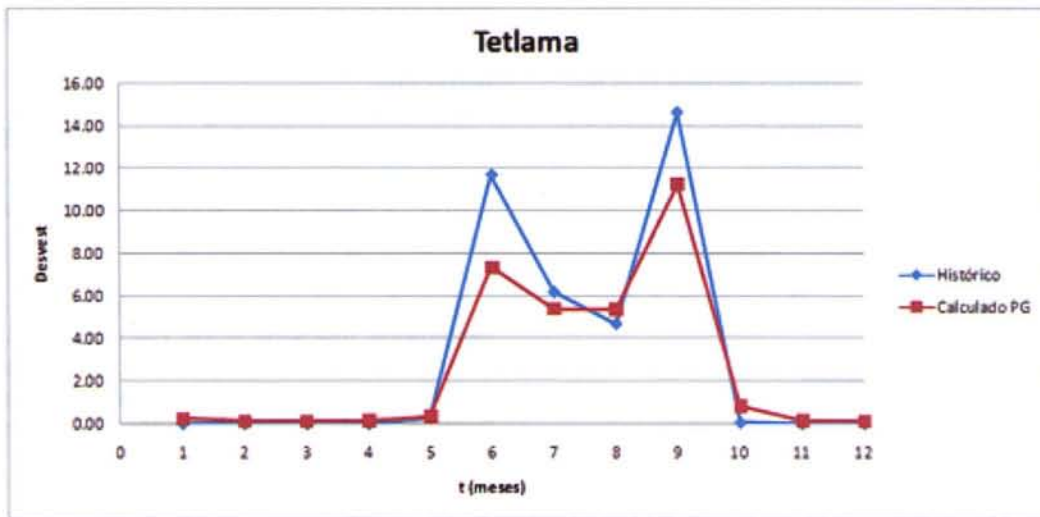


Figura 5. Comparación entre la desviación estándar histórica y calculada. Estación Tetlama

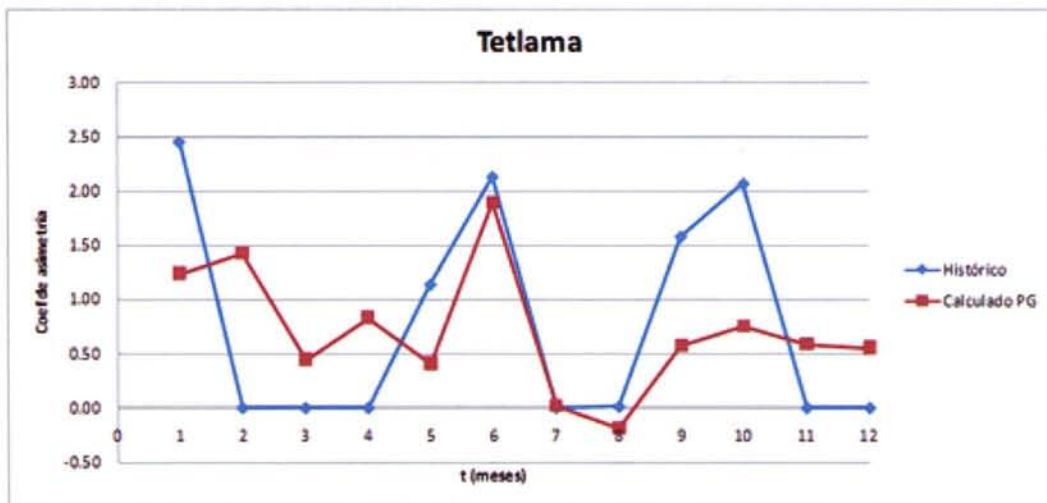


Figura 6. Comparación entre el coeficiente de asimetría histórica y calculado. Estación Tetlama

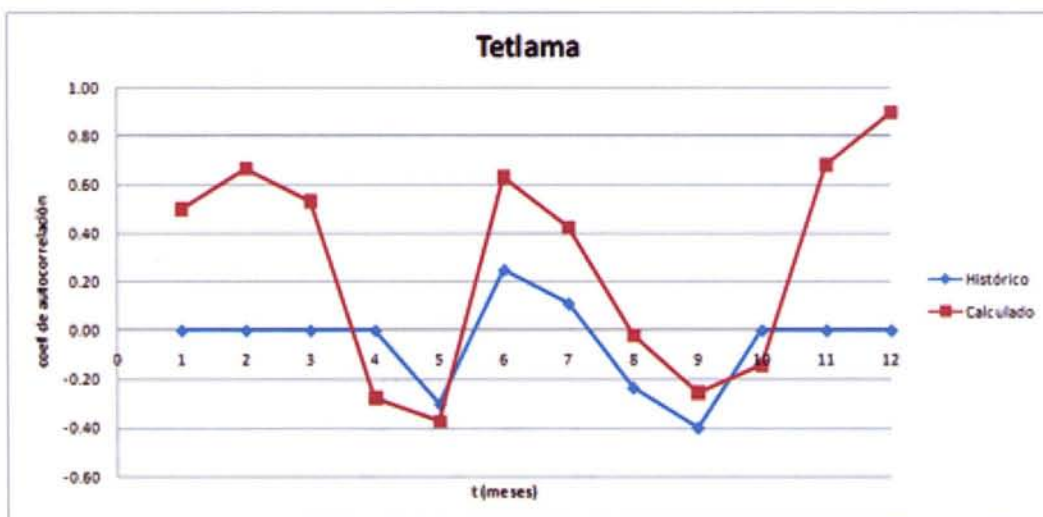


Figura 7. Comparación entre el coeficiente de correlación histórica y calculado. Estación Tetlama

Al aplicar programación genética se encontró el modelo dado por la ecuación:

$$V_{acarreo} = \frac{n^2 V}{S} \left( 0.14686 + \frac{Ac}{n - 1.2392Ac - 0.4169501V} \right) \quad (4)$$

Con el modelo anterior el error medio cuadrático obtenido fue de 45.56.

La figura 8 muestra la comparación entre los resultados obtenidos con los dos modelos para la estación Temixco, respecto al registro histórico.

Adicionalmente se obtuvieron los estadísticos mensuales media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de autocorrelación, así como el coeficiente de correlación cruzada entre Temixco y Tetlama. En las figuras 9 a 13 se presenta la comparación de dichos estadísticos contra los históricos.

### Estación Zacatepec

La estación Zacatepec aproximadamente afora la suma de lo medido en la estación Tetlama

más la estación Temixco, por lo que en este caso se hicieron comparaciones entre los resultados considerada como una sola cuenca y los de la suma de los resultados de las dos estaciones anteriores.

Con el algoritmo genético simple el modelo que dio el menor error medio cuadrático fue el correspondiente a Tetlama (ecuación 2); en este caso el error medio cuadrático fue de 484.36.

Con programación genética el modelo óptimo resultó:

$$V_{acarreo} = \frac{V}{(2A_c - (\frac{0.92994}{\pi}) - 0.5291 - (\frac{V}{-0.4425V + A_c + A_c})} \quad (5)$$

Con un error medio cuadrático de 272.74.

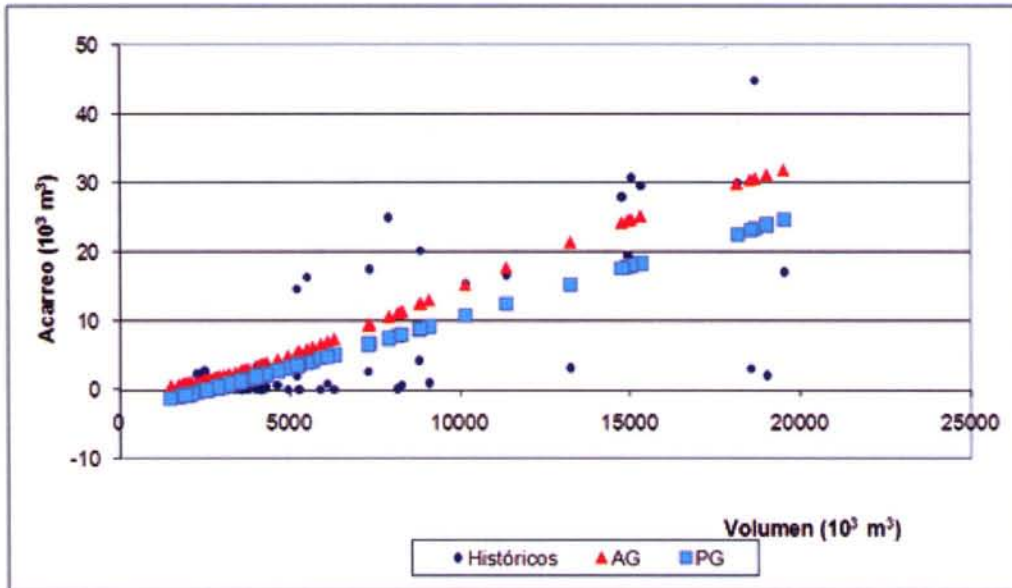


Figura 8. Comparación entre el acarreo histórico y el calculado. Estación Temixco

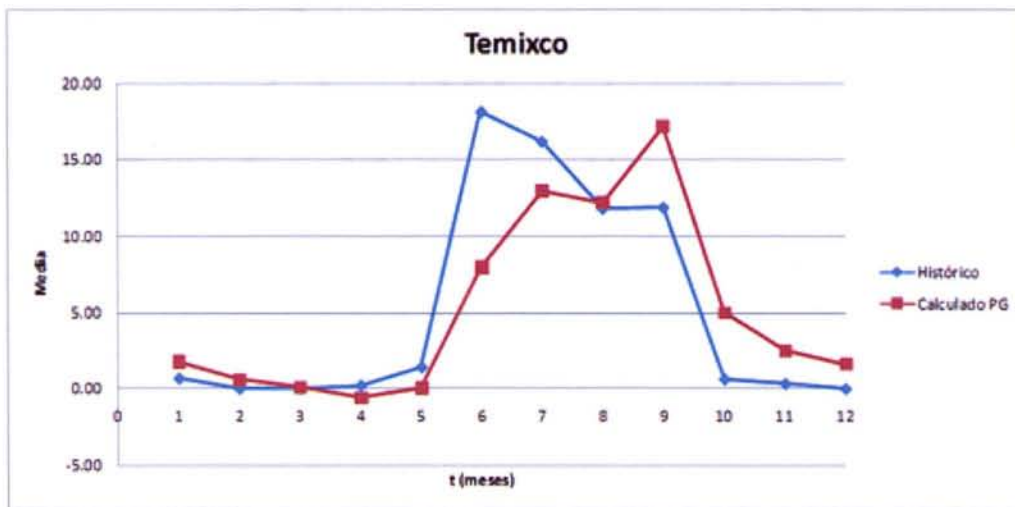


Figura 9. Comparación entre la media histórica y calculada. Estación Temixco

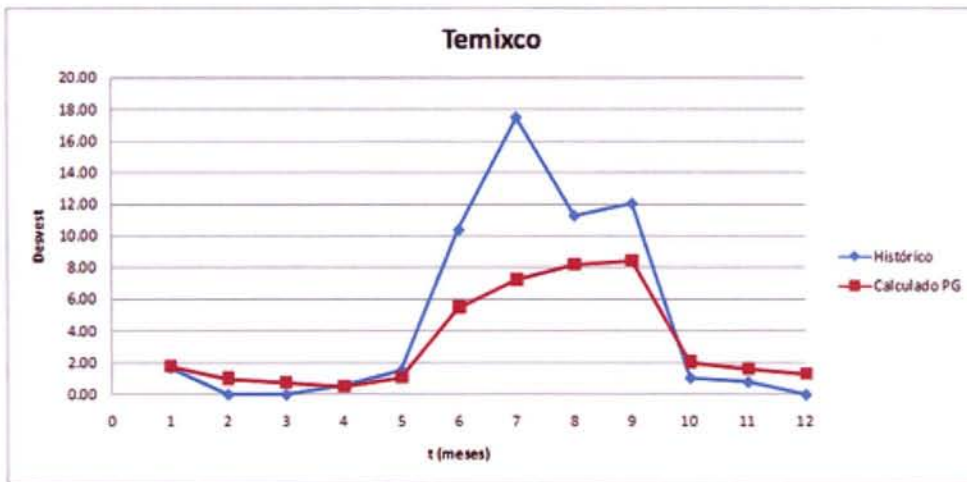


Figura 10. Comparación entre la desviación estándar histórica y calculada. Estación Temixco

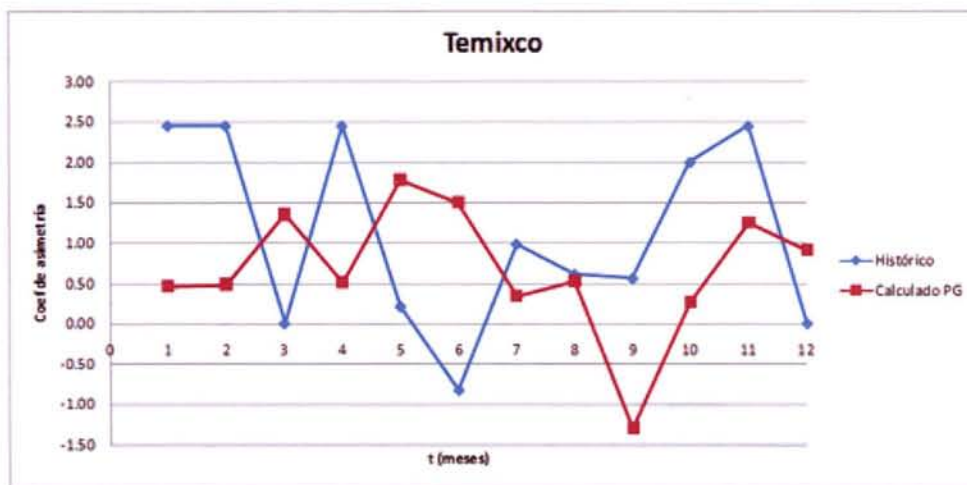


Figura 11. Comparación entre el coeficiente de asimetría histórica y calculado. Estación Tetzama

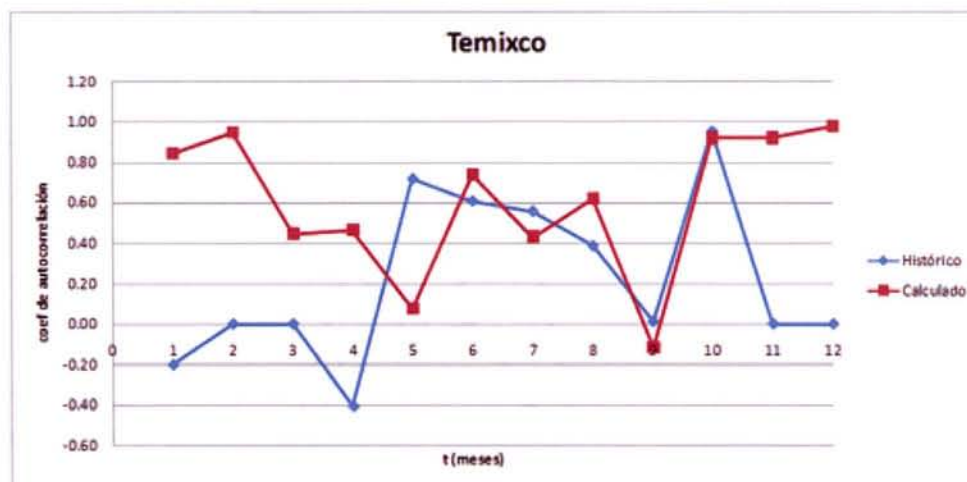


Figura 12. Comparación entre el coeficiente de correlación histórica y calculado. Estación Tetzama

En la figura 14 se presenta la comparación entre los modelos obtenidos vía el AG, PG y la suma de resultados para las dos estaciones anteriores tanto con AG como con PG

Los estadísticos mensuales históricos y calculados con el modelo obtenido vía PG para la estación Zacatepec aparecen en las figuras 15 a 18.

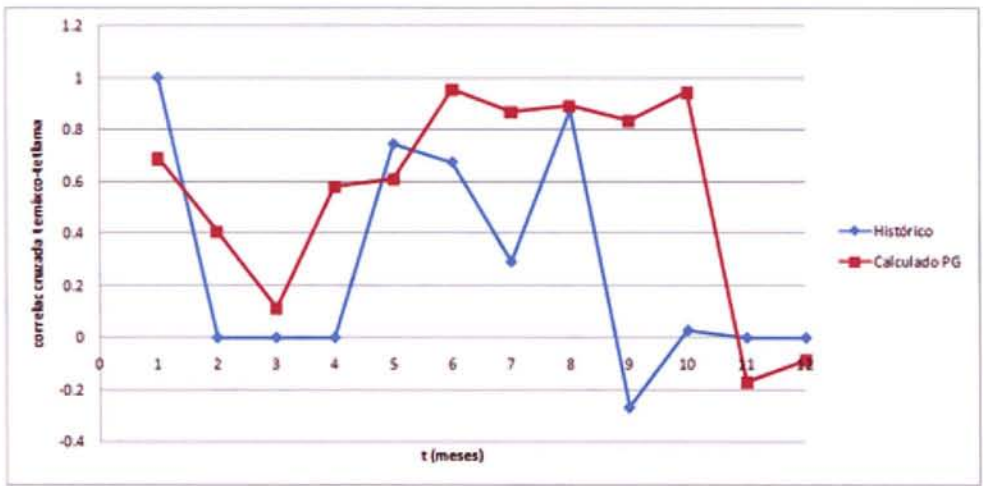


Figura 13. Comparación entre el coeficiente de correlación cruzada histórico y calculado. Estaciones Temixco y Tetlama

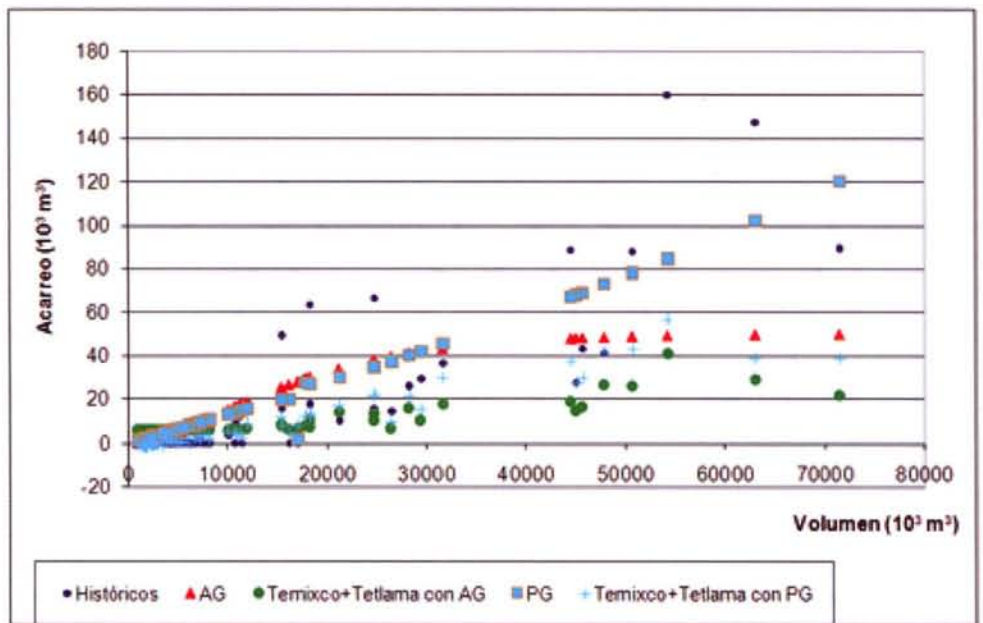


Figura 14. Comparación entre el acarreo sólido histórico y calculado. Estación Zacatepec

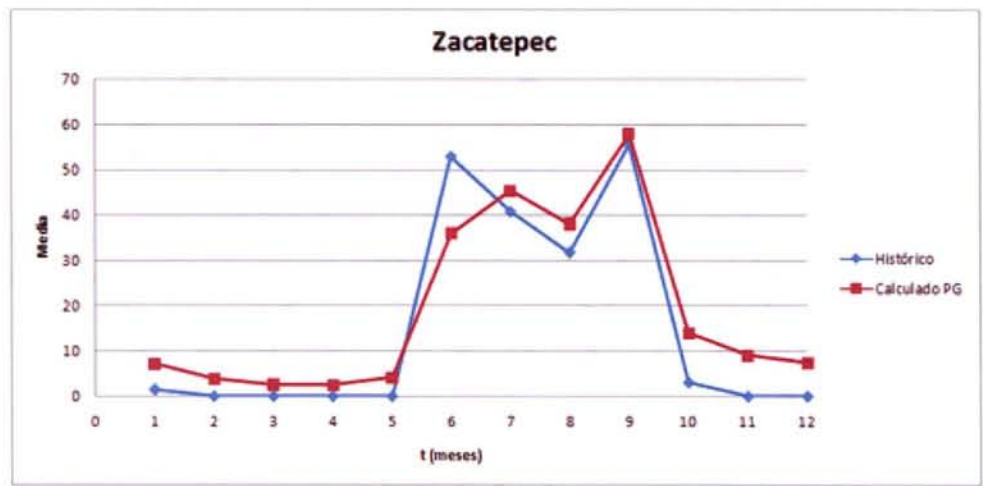


Figura 15. Comparación entre la media histórica y calculada. Estación Zacatepec  
Figure 15

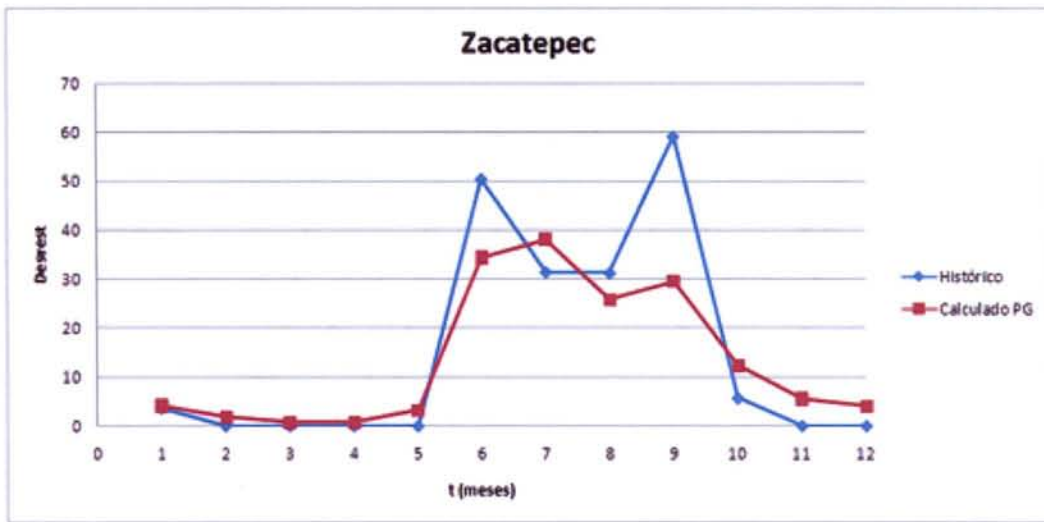


Figura 16. Comparación entre la desviación estándar histórica y calculada. Estación Zacatepec

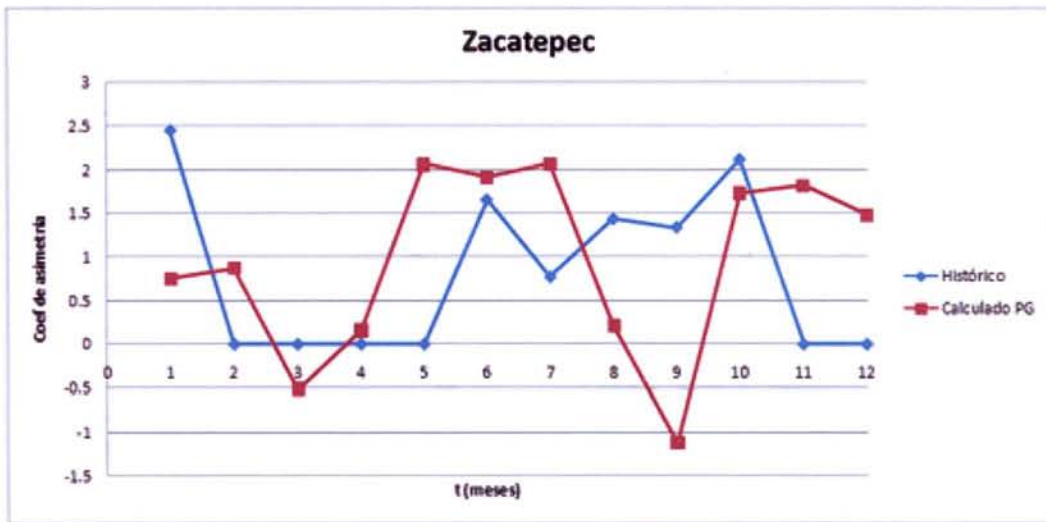


Figura 17. Comparación entre el coeficiente de asimetría histórica y calculada. Estación Zacatepec

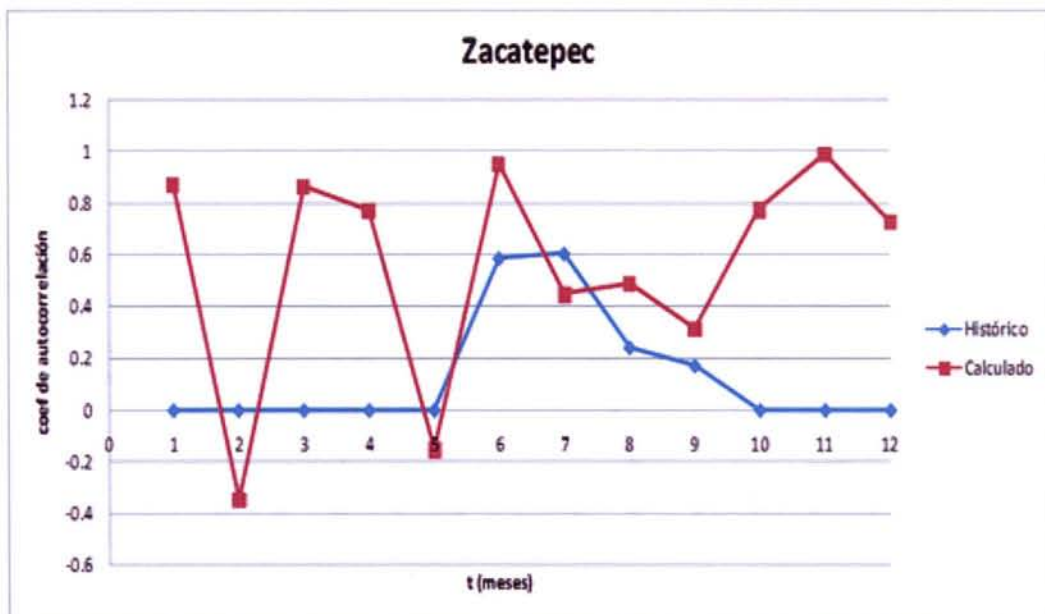


Figura 18. Comparación entre el coeficiente de correlación histórica y calculada. Estación Zacatepec

## Conclusiones

Los resultados en la aplicación del algoritmo de programación genética y de algoritmos genéticos para estimar los volúmenes de acarreo de sólidos en las estaciones Temixco y Tetlama, por separado, indicaron que para la estación Tetlama, el modelo de programación genética proporcionó un error medio cuadrático menor que el del algoritmo genético (casi 4 veces menor). Al estimar mes a mes los estadísticos se observó una adecuada reproducción en la media, desviación estándar y el modelo tuvo mayor dificultad para reproducir las asimetrías, aunque el comportamiento de las autocorrelaciones siguieron un patrón similar en los meses de mayo a octubre, observándose mayor discrepancia en los meses de enero a abril y de noviembre a diciembre. En el caso de la estación Temixco, de nueva cuenta el algoritmo de programación genética reportó un menor error medio cuadrático que lo que dio el algoritmo genético. Por lo que el algoritmo de programación genética volvió a ser el mejor bajo ese criterio. Los estadísticos media y desviación estándar fueron mayormente subestimados por el algoritmo de PG, que también tuvo dificultad para reproducir la asimetría. Las autocorrelaciones fueron similares principalmente en los meses de junio a octubre, con sobrestimaciones en los meses restantes. En cuanto a las correlaciones cruzadas, el algoritmo de programación genética en general las sobreestimó, sólo fueron similares en los meses de marzo, agosto, noviembre y diciembre.

Para el caso de la estación Zacatepec, que es prácticamente la suma de las estaciones Tetlama más Temixco, se encontró que el mejor resultado nuevamente se obtuvo con lo que dio el algoritmo de PG aplicado a los datos históricos, el error medio cuadrático fue 1.8 veces más chico que el obtenido con el Algoritmo genético de mejor resultado (ecuación 2) y casi 1.9 veces más chico que con lo obtenido con la suma de los dos modelos de PG de las estaciones tomadas individualmente.

En cuanto a los estadísticos de la estación Zacatepec, obtenidos con el modelo de programación genética, se observó una buena concordancia entre la media y la desviación estándar para cada mes, respecto a los históricos, el comportamiento de las asimetrías estuvo casi balanceado entre subestimaciones y sobreestimaciones y las autocorrelaciones en general se subestimaron con este modelo.

En resumen, se puede afirmar que la programación genética proporcionó ecuaciones de ajuste aceptables para la estimación del volumen de acarreo de sólidos de dos estaciones hidrométricas de una cuenca, así como para la suma aproximada de ambas. Por lo que se puede sugerir este algoritmo de cómputo evolutivo para hacer estas determinaciones.

## Referencias

Arganis-Juárez., M.L. (2004) Operación óptima de un sistema de presas en cascada para generación hidroeléctrica, tomando en cuenta condiciones reales de operación y el uso de muestras sintéticas para el pronóstico. PhD Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. 249 pp.

Arganis- Juárez, M. L., Val-Segura, R., Domínguez-Mora, R., Rodríguez-Vázquez, K. y Dolz-Ripollés, J. (2007) Comparison between equations obtained by means of multiple linear regression and genetic programming to approach measured climatic data in a river. Proceedings, 7th International IWA Symposium on System Analysis and Integrated Assessment in Water Management. WATERMEX 2007. Washington, D. C., E.U. A. pp 1-8.

Arganis- Juárez., M. L., Val- Segura, R., Prats-Rodríguez, J., Rodríguez- Vázquez, K., Domínguez-Mora, R. y Dolz- Ripollés., J. (2008 a) Modelling water temperature by means of Genetic Programming. 11 th. Internacional Conference of Urban Drainage, 10 pp

Arganis-Juárez. M. L., Val-Segura, R., Prats-Rodríguez, J., Dolz-Ripollés, J., Rodríguez-Vázquez, K. y Domínguez-Mora., R. (2008b) Estimación de la temperatura del agua de un río usando programación genética con información de campo. Memorias del XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia. ISBN 978-958-719-075-5

Arganis- Juárez., M. L., Val-Segura, R., Prats-Rodríguez, J., Rodríguez-Vázquez, K., Domínguez-Mora, R. y Dolz- Ripollés, J. (2009) Genetic programming and standardization in water temperature modelling. Advances in Civil Engineering. Hindawi Publishing Corporation. Volume 2009, Article ID 353960, pp 10.

Bogardi, J. (1978) Sediment transport in alluvial streams. Akadémiai Kiadó, Budapest. 825 pp.

Campos-Aranda, D. (2009) Estimación probabilística de volúmenes de acarreo en suspensión en cuencas sin aforos en la Región Hidrológica No. 10. Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Vol X No. 3.

Cramer, N. L. (1985) A representation for the adaptive generation of simple sequential programs. In: Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms and the Applications, Grefenstette, J.J. Editor: 183-187.

Domínguez-Mora, R., Fuentes-Mariles, G.E. y Arganis-Juárez, M.L. (2004) "Optimación de los Pa-

rámetros de la Función de Distribución Doble Gumbel usando Algoritmos Genéticos en una Serie de Gastos Máximos Anuales". Memorias del XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Sao Paulo, Brasil.

Domínguez-Mora, R., Fuentes-Mariles, O.A, Arganis-Juárez, M.L. y Mendoza-Reséndiz, A. (2009) Calculation of Bivariate Double Gumbel probability density function via a Genetic Algorithm: Application to Huites dam basin. Journal of Flood Engineering (IFE), Vol. 1 No. 1 : 37-50

Dorado J., Rabuñal, J. R. , Puertas, J., Santos, A y Rivero, D. (2002) "Prediction and modelling of the flow of a typical urban basin through genetic programming," in Proceedings of the European WorkShops on Applications of Evolutionary Computation (EvoWorkshops '02), vol. 2279 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 190-201.

Fuentes- M., O. A., Domínguez-Mora, R., Fuentes-Mariles, G.E., Arganis- Juárez, M.L. y Rodríguez-Vázquez, K.(2006) Estimación de los parámetros de funciones de distribución empleadas en Hidrología usando ecuaciones de máxima verosimilitud y algoritmos genéticos. Memorias del XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad de Guayana, Venezuela.

Goldberg, D.E. (1989) Genetic Algorithms In Search, Optimization And Machine Learning. Addison-Wesley, USA., 372 pp.

Holland, J. H.(1975) Adaptation in Natural and Artificial Systems. The University of Michigan Press. Jiménez-M, M.(2004) Diseño óptimo de redes de distribución de agua potable utilizando un algoritmo genético. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica, DEPMI, UNAM. 99 pp

Keijzer, M., Baptist, M., Babovic, V. y Uthurburu, J.R. (2005) "Determining equations for vegetation induced using genetic programming," in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '05), pp. 1999-2006, Washington, DC, USA, June 2005.

Koza, J. R.(1989) Hierarchical genetic algorithms operating on populations of computer programs. In: Proceeding of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, 1: 768-774.

Madsen, H., Butts, M.B., Khu, S. T. y Lyong, S.Y. (2000) "Data assimilation in rainfall-runoff forecasting," in Proceedings of the 4th Conference of Hydroinformatics, pp. 1-8, Cedar Rapids, Iowa, USA, July .

Savic, D. A., Walters, G. A. y Davidson, J. W. (1999) "A genetic programming approach to rainfall-runoff modelling," Water Resources Management, vol. 13, no. 3, pp. 219-231.

Simons, D. B. y Sentürk, F. (1977) Sediment transport technology. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA. 807 pp.

## NOTICIAS

### Ganvam estima que obviar Comercio dentro de Industria es 'un guiño a los fabricantes'

El presidente de la Asociación Nacional de Vendedores de Vehículos a Motor (GANVAM), Juan Antonio Sánchez Torres, consideró 'muy preocupante' que el nuevo Ministerio de Industria, Energía y Turismo no incluya ninguna mención expresa a las políticas de Comercio, lo que a su juicio supone 'un nuevo guiño a los fabricantes que deja a la distribución en un segundo plano'.

El responsable de la asociación, que representa a 4.600 concesionarios/servicios oficiales y 3.000

compraventas, alertó de que esta modificación "desnivela las relaciones entre las partes", y alertó de que ello podría afectar negativamente a las relaciones actuales con el Ministerio de Industria, el desarrollo de la Mesa de Diálogo y la futura aprobación de la Ley de Contratos de Distribución.

En cualquier caso, Sánchez Torres subrayó que hace falta "prudencia" para ver cómo se estructura finalmente el Ministerio que dirigirá José Manuel Soria, a la espera de comprobar si al

menos se configura una Secretaría de Estado de Comercio fuerte que pueda asumir estas funciones.

Por otro lado, el presidente insistió en la necesidad de aprobar cuanto antes un plan de ayudas a la compra basado en el achatarramiento que permita reactivar las ventas -cuya caída supera el 50% desde los niveles previos a la crisis- y contribuya al rejuvenecimiento del parque, en el que un 43,7% de los turismos supera los diez años.



# W3DSS: un servicio web de generación de escenas geográficas 3D incluyendo entidades de tipo punto

## *W3DSS: a web service for 3D geographic scenes generation, including point entities*

Alberto Silva López  
Universidad de A Coruña. España

---

### Resumen

La presencia de información geográfica en la red se extiende a grandes pasos debido a la iniciativa INSPIRE de la Comisión Europea, que tiene como objetivo global la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales (un IDE) en Europa, y obliga por ello a los distintos países europeos a publicar sus datos geoespaciales de acuerdo a unos estándares definidos en dicha iniciativa.

En este documento se trata la creación de un servicio web, que construye escenas en 3D a partir de información geográfica.

El servicio web implementado pide la información geográfica a distintos proveedores de datos, como servidores de datos y mapas. Estos proveedores cumplen en todos los aspectos el estándar marcado por el Open Geospatial Consortium (OGC), organismo encargado de definir los estándares dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el uso de estos en la web. Este servicio devolverá una escena en 3D definida en un lenguaje denominado X3D, definido por el consorcio Web3D como lenguaje 3D para la web.

Para demostrar la funcionalidad del servicio web se hizo necesaria la implementación de un cliente, que realiza las distintas peticiones a las que el servicio debe responder. Como lenguaje de comunicación entre este cliente y el servicio web se emplea XML, definido también por el W3C como estándar para el intercambio de información estructurada en infinidad de medios.

La arquitectura de la aplicación es altamente distribuida, pues tanto el servicio como el cliente o los distintos proveedores de datos pueden ocupar lo-

calizaciones distintas y la caída de uno de los componentes no tendrá por qué afectar al resto.

**Palabras clave:** W3DSS, servicio web, 3D, escena, SIG, WMS, WFS, WCS.

### Abstract

*The presence of geographic information on the web is increasing heavily due to INSPIRE, a European directive that has the global aim of creating a Spatial Data Infrastructure (SDI) in Europe. European countries are required to publish their geospatial data according to a standard defined in such directive.*

*This paper will deal with the creation of a Web service which generates 3D scenes from geospatial data.*

*Implemented web service requests geospatial data from several map and data providers, who fully comply with Open Geospatial Consortium (OGC) standards. OGC is the organization responsible for defining GIS standards and their web use. Implemented web service will return a 3D scene coded in X3D language, defined by Web3D Consortium as the 3D language for the web.*

*To demonstrate the web service functionality a web client had to be implemented, which makes the available requests to the web service and waits for the response. Web service and client communication is made in XML language, defined by the W3C as the standard for structured information intercommunication.*

*The architecture of the application is highly distributed both the web service and the web client or*

*data providers can be hosted in different places and, if a component falls down, system can continue working.*

*W3DSS un servicio web de generación de escenas geográficas 3D incluyendo entidades de tipo punto.*

*W3DSS, a web service for 3D geographic scenes generation, including point entities.*

**Keywords:** *W3DSS, web service, 3D, scene, GIS, WMS, WFS, WCS.*

## Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están especializados en la gestión de información sobre la superficie terrestre. En concreto, pueden almacenar, gestionar y visualizar información de entidades geográficas, como ríos, carreteras, ciudades, etc., y de coberturas geográficas. Una cobertura geográfica vincula una o varias propiedades de tipo alfanumérico (temperatura, elevación sobre el nivel del mar, presión atmosférica, etc.) a cada punto de su dominio espacial.

Debido a la directiva INSPIRE (2007) de la Unión Europea, las administraciones públicas se ven obligadas a publicar sus datos geográficos en Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) utilizando servicios web que cumplen estándares del Open Geospatial Consortium (OGC, 2004-2011). De especial relevancia para este proyecto son los estándares Web Feature Service (WFS) que da acceso a fuentes de datos de entidades geográficas, Web Coverage Service (WCS) que da acceso a datos sobre coberturas geográficas y Web Map Service (WMS) que permite la generar mapas en formatos de imagen para visualizar datos de entidades y coberturas.

Respecto a los servicios de visualización de datos, el WMS proporciona funcionalidad de tipo general para la mayoría de aplicaciones SIG. Sin embargo, para aplicaciones en las que se precise la visualización de la información geográfica dentro de escenas, no existe un servicio estándar con la funcionalidad relevante. Se tratará por tanto a lo largo de este documento una primera aportación a dicho campo mediante un servicio web de generación de escenas en 3D. Se expondrá su diseño, arquitectura, funcionalidades y posibles mejoras.

## Tecnologías y aspectos técnicos

La definición de servicios web se corresponde con la de un conjunto de aplicaciones o tecnolo-

gías con capacidad para interoperar en la Web, intercambiando datos entre sí para ofrecer unos servicios. Los proveedores ofrecen sus servicios como procedimientos remotos y los usuarios solicitan un servicio llamando a estos procedimientos a través de la Web (Richardson & Ruby, 2007).

Estos servicios proporcionan mecanismos de comunicación estándares entre diferentes aplicaciones, que interactúan entre sí para presentar información dinámica al usuario. Para proporcionar interoperabilidad y extensibilidad entre estas aplicaciones, y que al mismo tiempo sea posible su combinación para realizar operaciones complejas, es necesaria una arquitectura de referencia estándar. Para estos estándares existe la organización World Wide Web Consortium (W3C), de la cual han tomado algunos de los más conocidos. En concreto el servicio web desarrollado en este proyecto es de tipo REST, puesto que utilizara XML y HTTP para su funcionamiento.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Atendiendo a los mencionados servicios web y SIG surge el Open Geospatial Consortium (OGC) cuyo fin es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web. Se utilizarán tres interfaces estándar definidos por el OGC para el manejo de la información geográfica a través de la red:

- **Web Map Service (WMS):** Consiste en una interfaz HTTP para la petición de mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica.

- **Web Coverage Service (WCS):** Este estándar tiene como objetivo obtener e intercambiar información geoespacial en forma de coberturas o raster. Las coberturas son objetos o fenómenos que asocian posiciones a valores de atributos dentro de un espacio limitado.

- **Web Feature Service (WFS):** Este estándar tiene como objetivo obtener e intercambiar información geoespacial al igual que el anterior, pero en este caso información de tipo vectorial. Vemos por tanto que la diferencia entre WCS y WFS es que el primero maneja datos de distribución continua, mientras que WFS maneja datos discretos.

Para la codificación de las escenas se utiliza X3D, un estándar consistente en un lenguaje de etiquetas similar a XML que ha sido desarrollado por el Web 3D Consortium y ha sido proclamado como sucesor de VRML, anterior lenguaje para la generación de mundos virtuales (ISO/IEC 19776).

### Diseño y arquitectura general del sistema

Al tratarse de una aplicación completamente distribuida se hace necesario el apoyo en diagramas de despliegue que ayuden a analizar y comprender la arquitectura del conjunto de componentes. En la Figura 1 se muestra dicho diagrama, en el cual se engloban todos los componentes que forman el sistema.

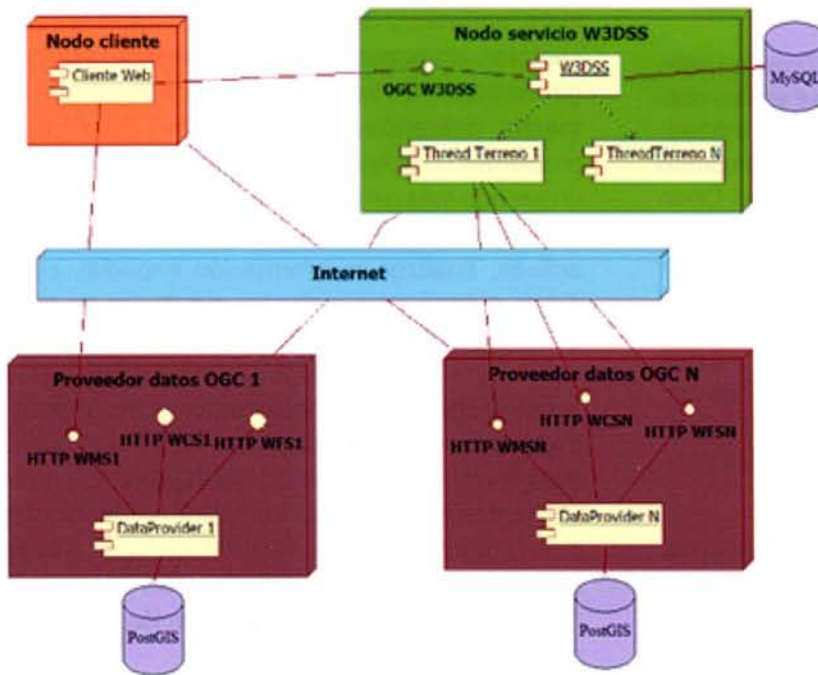


Figura 1: Diagrama de despliegue

El núcleo de la aplicación es el nodo del propio servicio W3DSS, que recibe las peticiones de los distintos clientes a través de HTTP, en formato XML tal y como dictan los estándares OGC mencionados anteriormente.

El servicio web es “multithread” por lo que cada petición de creación de una escena recibida por un

cliente se procesará en un hilo de ejecución distinto. El servicio es por extensión multicliente y atiende a un número indeterminado de peticiones a la vez.

Tanto para la operación de creación de escenas como para el resto de operaciones permitidas el servicio dialoga directamente con una base de datos, que contiene diferentes metadatos de las propias escenas.

Tal y como se observa en la figura existe un número indeterminado de proveedores de datos geográficos, que implementan los estándares descritos anteriormente en este documento, los cuales reciben las peticiones de coberturas (WCS), entidades (WFS), o mapas (WMS) mediante HTTP. El propio servicio web se encarga de realizar las peticiones necesarias a éstos servicios, para recabar los datos con los que se construyen las escenas 3D.

Se refleja en el diagrama la comunicación de los proveedores de datos con una base de datos espacial, que contiene datos espaciales con entidades personalizadas.

Por último, el nodo cliente está compuesto por la aplicación web que sirve como plataforma de prueba para el servicio, desde la cual se pueden invocar las operaciones implementadas.

### Funcionalidades y operaciones disponibles en el servicio

De forma general podemos decir que el servicio ofrece cuatro operaciones posibles:

- Creación de escenas.
- Recuperación de una escena ya creada para su navegación.
- Borrado de una escena creada con anterioridad.
- Descripción de las capacidades del servicio.

En la Figura 2 podemos observar las operaciones mencionadas en el propio cliente web. Tras la selección de una de ellas el cliente guía al usuario por una serie de pantallas para recoger distintos datos y preferencias, como pueden ser el propio

mapa que compondrá la escena, niveles de detalle (zoom), luces en la escena, puntos de vista disponibles...etc.



Figura 2: Pantalla de inicio del cliente web

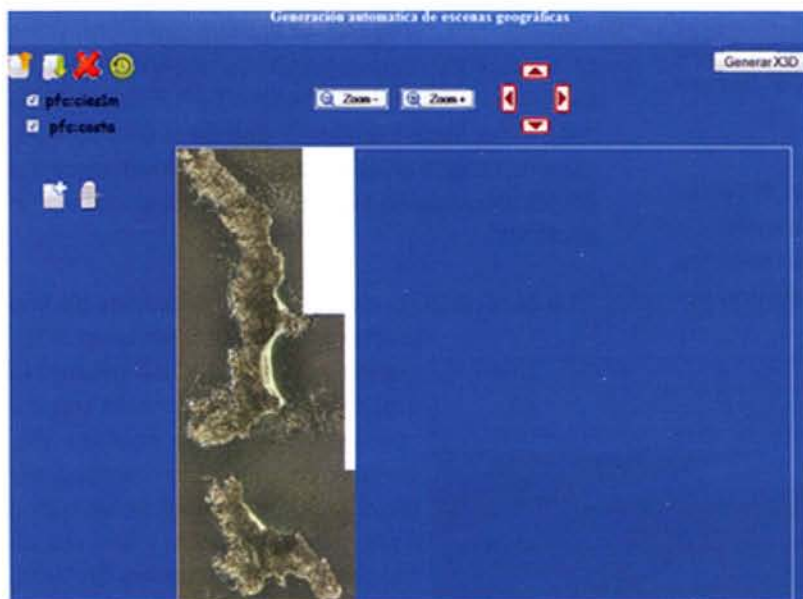


Figura 3: Pantalla de configuración de capas WMS

En el caso de creación de una escena el cliente solicita al usuario los datos necesarios para su creación. Algunos de los más importantes son:

I. Direcciones web de los proveedores de datos, WMS, WCS y WFS.

II. Selección de capas que compondrán el mapa de la escena y se pedirán a WMS (ver Figura 3).

III. Cobertura de elevaciones que se utilizará

para crear el terreno en 3D. Se pedirá al proveedor de datos WCS.

IV. Información de luz de la escena y cámaras.

V. Niveles de detalle o zoom de la escena (ver Figura 4).

VI. Capas WFS de la escena 3D. La aplicación permite en esta versión añadir entidades de tipo punto, que representen puntos de interés u otro tipo de entidades, por ejemplo y como se verá en un ejemplo posterior, faros.

Tras la introducción de todos los parámetros necesarios y deseados por el usuario, el cliente web envía la petición XML de creación de escena al servicio web, y éste comienza el trabajo de creación informando al usuario.

En el caso de la operación que permite recuperar una escena creada, se indica en el cliente el nombre de la misma y el servicio web responde con el archivo principal de la escena, que podremos abrir con un programa que interprete el lenguaje X3D.

En la Figura 5 podemos ver un ejemplo de navegación por una escena creada por el servicio web, con el visor X3D Octaga. En este caso se ha seleccionado una capa con el mapa de las islas Cíes (Galicia), con su correspondiente cobertura de elevaciones. Se han incluido en la escena varias entidades de tipo punto, que representan faros, con su figura correspondiente.

Hay dos aspectos a destacar llegados a este punto:

a) El funcionamiento del servicio web es asíncrono, por lo tanto, tras una petición de creación de una escena, el servicio web devuelve el control inmediatamente al cliente.

b) Las escenas pueden contener varios niveles de detalle, que se mostrarán en función de la navegación. A modo de ejemplo, podemos definir que a una altitud de 10.000 metros la escena tenga una

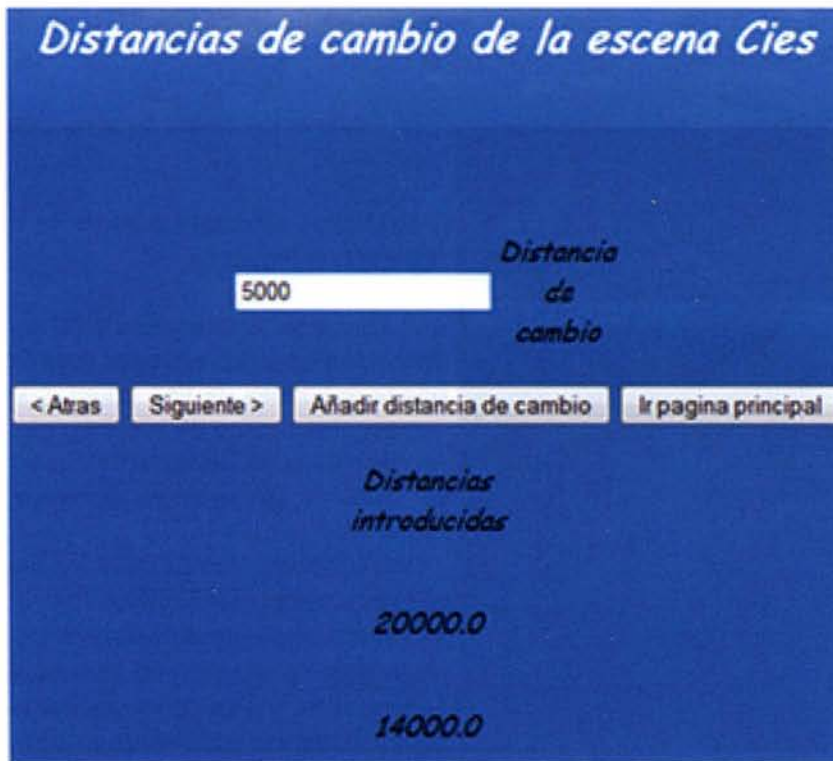


Figura 4: Pantalla de introducción de distancias de cambio

resolución baja, pero al pasar el umbral de 5.000 metros, la resolución mejore y veamos el terreno con mayor calidad.

Estas dos características influyen en el rendimiento de la aplicación y la navegación a través de las escenas. De igual forma, condicionan la forma en la cual se distribuye el código X3D de una escena dentro del servicio web.

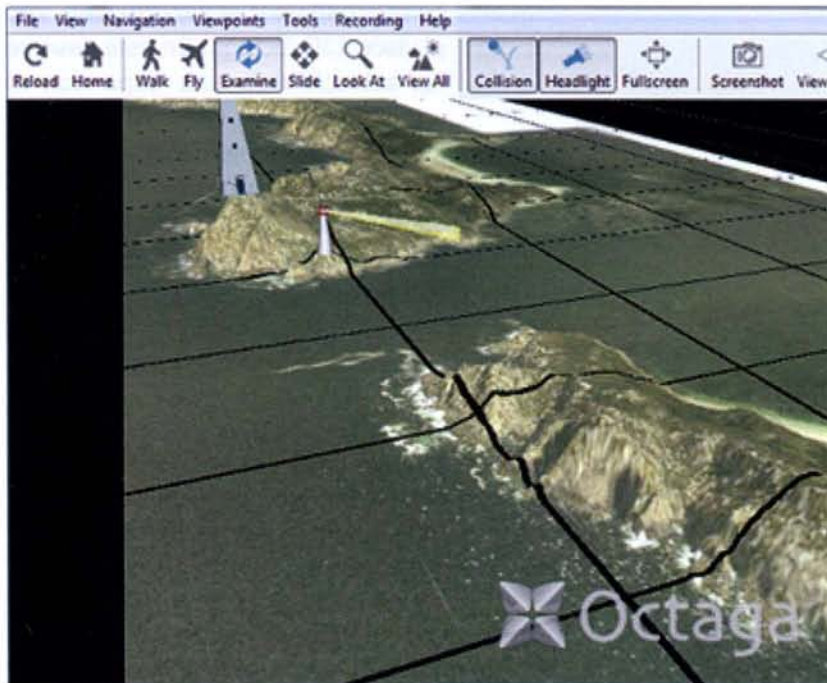


Figura 5: Escena 3D creada por el servicio W3DSS

La Figura 6 muestra la forma en la cual se almacena el código que constituye una escena con varios niveles de detalle (en este caso 3). El archivo padre contiene el código del terreno por defecto o de nivel 1 con una resolución determinada. En caso de indicar varios niveles de detalle, el terreno se dividirá en cuatro siguiendo una estrategia de quadtree, y cada uno de estos nuevos terrenos tendrá la resolución del padre, abarcando menos extensión. Tendremos por lo tanto una mejor resolución en cada división.

Cuando se solicita al servicio web una escena para navegar por la misma, el servicio responde con el archivo principal de nivel 1 (padre en la Figura 6), y el resto de archivos permanecen almacenados en el servicio web. Únicamente es necesario el archivo principal, pues

en función de la navegación se accede al resto a través del principal mediante HTTP. Éste procedimiento se hace necesario debido a que una escena completa puede tener un volumen de unos 60MB, demasiado para su transmisión por HTTP al cliente.

La escena 3D puede contener entidades de tipo punto como pueden ser faros, a los cuales se puede dar una geometría implícita, contando también con varios niveles de detalle posibles. Podemos por ejemplo representar faros en la escena mediante cubos a alto nivel de detalle, y una vez alcancemos una distancia definida, mostrar una figura X3D de un faro con mayor nivel de detalle.

La operación de borrado permite eliminar del servicio web todos los archivos y metadatos relacionados con una escena creada con anterioridad, tras indicar el nombre de la misma.

En el apartado de obtención de capacidades del servicio, se han seguido las directrices indicadas por el OGC en su documento Web Services Common (2010), en el

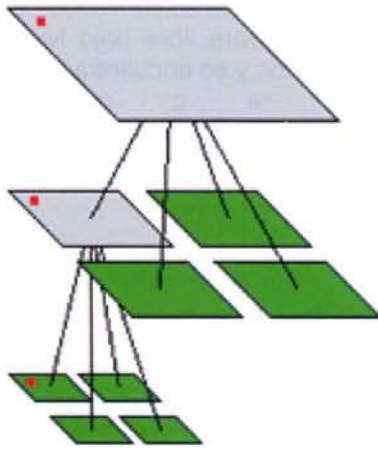


Figura 6: División mediante quadtrees del terreno con distancias de cambio

que se especifican los parámetros y estructuras que deberían ser comunes a todos los servicios que implementan los estándares OGC. El documento citado especifica como operación para la obtención de las capacidades de un servicio web la operación `getCapabilities`. Se ha seguido esta especificación y el servicio W3DSS responde con un documento XML, que describe las capacidades del mismo, resto de operaciones disponibles, escenas disponibles ya creadas en el servicio, información de contacto...etc.

## Conclusiones

Este proyecto ha consistido en el desarrollo de un servicio web que nos permita generar escenas geográficas en tres dimensiones.

Se ha utilizado el lenguaje Java para programar la aplicación, y el lenguaje X3D para la generación de las escenas geográficas. La construcción de la aplicación se ha basado fuertemente en los estándares del OGC y W3C.

El funcionamiento de la aplicación en la creación de escenas es asíncrono, con lo que el usuario no tiene por qué estar esperando la respuesta de la aplicación mientras se procesa la escena. Por otra parte, la navegación por la escena se hace desde un archivo, que importa el resto de archivos que la forman desde el servicio W3DSS en función de la navegación.

Se ha intentado crear la aplicación con una arquitectura ampliamente distribuida, con el objetivo de maximizar la independencia entre las partes que la forman. Con esto se intenta que las sucesivas versiones del programa sean fácilmente ampliables, y facilitar la reutilización de código.

## Trabajo futuro

Como trabajo futuro el camino se encuentra claramente marcado, pues resta la implementación de todo el soporte restante de información de tipo vectorial WFS. Soporte para líneas y superficies.

En versiones futuras, sería casi obligatorio cambiar la forma de codificar las escenas X3D, pues los nodos pertenecientes al lenguaje utilizados en esta versión resultaron poco eficientes, debido a la complejidad de las escenas, lo que obligó a crear la jerarquía de archivos descrita con anterioridad en este documento, con un algoritmo que aumentó demasiado la complejidad del código.

Por otra parte, sería también recomendable crear un visor propio para X3D, pues Octaga era incapaz de realizar ciertas acciones y en ocasiones causaba la mayoría de los errores ocurridos durante la navegación por las escenas.

## Bibliografía

European Union. (2007) Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2007:108:SOM:EN:HTML>

Richardson, L. Ruby, S. (2007) RESTful Web Services. First Edition. O'Reilly. United States of America, Sebastopol. p 23-105.

Open Geospatial Consortium. (2006) OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification. <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

Open Geospatial Consortium. (2008) Web Coverage Service (WCS) Implementation Standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>

Open Geospatial Consortium. (2010) OpenGIS Web Feature Service (WFS) 2.0 Interface Standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>  
ISO/IEC. (2009) Information technology -- Computer graphics, image processing and environmental data representation -- Extensible 3D (X3D) encodings -- Part 1: Extensible Markup Language (XML) encoding.

[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=44681](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=44681)

Open Geospatial Consortium. (2010) OGC Web Services Common Standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/common>

Este proyecto y todo su contenido han sido liberados como software libre bajo licencia GPL y AGPL por el autor, y se encuentra disponible en la **d i r e c c i ó n** <https://forxa.mancomun.org/projects/w3dss-point/>, repositorio para proyectos de software libre de la Xunta de Galicia.

## NOTICIAS

# Latitude Image nace con la creación de un Banco de imágenes

La empresa Latitude Image nace con la creación de un Banco de imágenes que ofrece una extensa galería de fotografías aéreas de toda Europa. Nuestra misión es agregar, procesar y estructurar imágenes aéreas de terceros para la industria editorial y creativa.

ras y paisajes industriales que se pueden descargar para su posterior uso o publicación en el contexto que Ud. necesite.

Entre nuestros clientes se encuentran editoriales, agencias creativas, agencias inmobiliarias,

imágenes básicas. Estas suelen tener su origen en imágenes tomadas para la creación de cartografía. Nosotros seleccionamos y procesamos las imágenes que pensamos puedan tener un valor artístico, creativo o editorial.



El proceso incluye el enriquecimiento del fichero de la imagen con palabras clave estructuradas para facilitar la búsqueda en el banco de imágenes.

Para la adquisición de las imágenes preferimos usar un enfoque personalizado, que a diferencia del método automatizado tradicional, se basa en diseñar mano a mano con la empresa colaboradora su colección con denominación y marca propia.

Lo que nos hace únicos es la combinación de fotografías aéreas y un banco de imágenes creando colecciones con denominación y marca a partir de un selecto grupo de socios profesionales.

El Banco de Imágenes incluye fotos de paisajes urbanos, rurales, marítimos, agrícolas, recursos naturales, conceptos, infraestructu-

empresas de la construcción, empresas industriales, la administración local, regional y central y por supuesto particulares en busca de imágenes artísticas a partir formas y colores o su mansión, puerto deportivo o playa favorita.

Trabajamos en estrecha colaboración con nuestros contribuidores, quienes nos proveen las

Tenemos miles de imágenes en alta resolución repartidas en galerías organizadas por país, región y ciudad. A parte de la estructura geográfica también ofrecemos varias galerías temáticas con el fin de estimular el proceso de búsqueda e aportar ideas para como mejor aprovechar el sistema. Para mas ideas sugerimos que lean nuestra Guía de Búsqueda.

# Nuevo láser

# **FARO FOCUS 3D**

- 5 veces más pequeño.
- 4 veces más ligero (solo 5 kg).
- Más preciso.
- Más rápido.



**CARTO**  **GALICIA**

TOPOGRAFIA

servicios de alquiler y venta

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



# Análisis de las características morfológicas del terreno y su influencia en los deslizamientos de tierra. Aplicación al deslizamiento de un vertedero

## *Study of morphological terrain features and their influence in landslides. Application to a landslide in landfill*

Cristina Allende Prieto

Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. España

Ramón Argüelles Fraga

Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. España

---

### Resumen

Durante la obras de ejecución de la Autovía del Cantábrico, en la Provincia del Principado de Asturias, tuvo lugar el deslizamiento de un vertedero de material procedente de la obra. La masa de tierra se desplazó por la ladera alcanzando las obras de construcción de uno de los viaductos. A pesar de que la localización y configuración geométrica de este tipo de vertederos se encuentran definidos en la documentación del Proyecto, los trabajos de formación del vertedero generan en ocasiones una modificación de la geometría inicial. La falta de estabilidad geométrica de los taludes y la configuración de las líneas de drenaje del entorno pueden ser causa de importantes deslizamientos de tierras. En este trabajo se presenta un estudio de las características morfológicas de la zona correspondiente al emplazamiento del vertedero mediante la determinación de los vectores de pendiente entre las curvas de nivel que definen el modelo digital del terreno.

**Palabras clave:** Deslizamiento, vertedero, geometría de taludes, redes de drenaje

### Abstract

*During the Cantabrian Highway construction in Asturias, occurred a landslide in a landfill site near works. The land mass was moved down the slope reaching a bridge. Although the location place and*

*geometry of these landfills are defined in the documentation of the project, construction works changed the landform. Unstability in geometry of slopes and the drainage networks can be cause of landslides. The goal of this paper is to study the morphological terrain features before landslide in landfill site by computing the slope vector between the contour lines terrain.*

**Keywords:** Landslide, landfill, geometry slope, drainage networks.

### Introducción

Una de las fases más importantes en la ejecución de una obra de Autovía es el movimiento de tierras, el cual consiste en la clasificación del material extraído en las operaciones de excavación y su transporte a distintas zonas de la obra. Cuando el material es clasificado como adecuado se utiliza en las operaciones de relleno de la obra, sin embargo, cuando el material es clasificado como inadecuado por su mala composición y su elevado contenido de humedad, se deshecha y transporta a zonas de vertedero.

El proyecto de ejecución del vertedero contempla su definición y diseño técnico en cuanto a la configuración de taludes y dimensiones, información que se incluye en la memoria del proyecto.

Uno de los factores a tener en cuenta a la hora de escoger emplazamientos adecuados para este

tipo de vertidos es la proximidad a la obra, ya que distancias elevadas aumenta el coste de ejecución. En ocasiones, la dificultad para encontrar emplazamientos adecuados implica la creación de vertederos de gran altura que pueden ser construidos sobre uno ya existente. Son los denominados vertederos en pendiente, los cuales requieren especial atención en la configuración geométrica de sus taludes con el fin de garantizar su estabilidad (Espínace A., R., 2000).



Figura 1

Debido a su composición y alto contenido en agua, en el interior de la masa de residuos de estos vertederos se pueden originar planos de rotura activos que alcanzan un desplazamiento progresivo. Los deslizamientos en estos rellenos generan fisuras y agrietamientos externos que dejan los residuos descubiertos y facilitan la introducción de agua superficial que genera un incremento del desplazamiento, disminuyendo progresivamente la estabilidad (Colomer, F.J., 2009).



Figura 2

Es importante tener en cuenta que la propia actividad de ejecución del vertedero implica un movimiento importante de maquinaria que deposita y compacta el material, actividad que genera importantes vibraciones en el entorno y modifica la morfología del terreno colindante.

El objetivo de este trabajo es la obtención de la información geométrica y estructural de los taludes (Dunning, S. A. et al., 2009) a partir de la información derivada de los modelos digitales del terreno (Tarolli, P. et al., 2009) disponibles antes y después del deslizamiento.

Para ello hemos utilizado el software Matlab® para determinar los vectores de pendiente entre curvas de nivel (Little, J. J., 2001) que nos permitan identificar las zonas de taludes inestables y detectar de forma automática los puntos de vaguada (Ai, T., 2007).

### Zona de estudio

Durante las obras de ejecución de la Autovía del Cantábrico, en el tramo que une las poblaciones

de Colunga y Caravia, tuvo lugar el deslizamiento de uno de los vertederos ubicados en sus proximidades. En las figuras 1 y 2 se muestran los planos de situación de la zona.

La masa de deslizó por la ladera durante una de las noches más lluviosas de la temporada.

Como consecuencia, dos de las pilas de uno de los viaductos en construcción aparecieron semienterradas bajo la masa de residuos. En la figura 3 se muestra una imagen aérea del deslizamiento.

El vertedero se encontraba en pendiente y localizado a una distancia de unos 570 m del viaducto y el desnivel existente era de unos 70 m de altura. Se dispone de información tridimensional del terreno antes del deslizamiento a partir de una cartografía digital representada por curvas de nivel de resolución altimétrica de un metro y obtenida a partir de un vuelo fotogramétrico de la zona. También se dispone de información tridimensional del terreno obtenida pocos días después del desliza-



Figura 3: Vista aérea del deslizamiento del vertedero y las pilas semienterradas

de pendiente y es la principal causa de riesgos de deslizamiento. Actualmente no existe una normativa universal que establezca una pendiente mínima, pero estudios realizados por distintos autores establece de forma general un talud estable aquel que tenga una inclinación mínima de 1V:3H (Colomer, F. J., 2009). Se considera que estos taludes permanecerán estables a grandes alturas, no obstante, en caso de presencia de lluvias intensas continuadas, es latente el riesgo de deslizamiento. Uno de los objetivos de este trabajo es la identificación automática de taludes geoméricamente inestables, considerados como tales aquellos que no cumplan con la pendiente mínima. Para ello se han determinado en Matlab® los valores de las líneas de máxima pendiente entre cada una de las curvas de nivel de la cartografía en base a la identificación sobre el modelo digital de las distancias entre puntos que pertenecen a dos curvas de nivel consecutivas. Partiendo de las curvas de nivel de mayor cota, se calculan las distancias a los puntos de referencia de las curvas contiguas y de menor cota. Se establece un valor límite para la distancia en función del valor determinado como mínimo para garantizar la estabilidad del talud y que en este caso se corresponde con una distancia horizontal de 3 m.

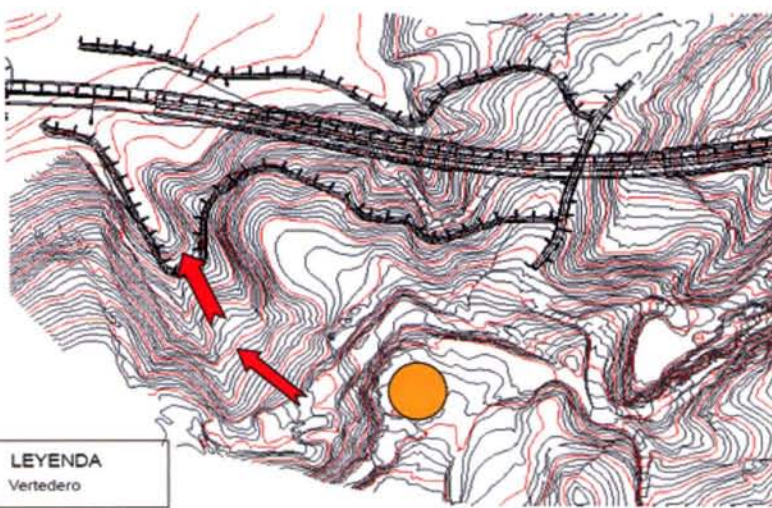


Figura 4: Determinación gráfica de la dirección del desplazamiento de los residuos

miento y obtenida a partir de un levantamiento topográfico realizado en la zona afectada. En la figura 4 se muestra sobre la cartografía un esquema de la dirección del desplazamiento de la masa de tierra.

### Detección de taludes geoméricamente inestables

La falta de estabilidad en los taludes de un vertedero es debido fundamentalmente a un exceso



El resultado se muestra en la figura siguiente (figura 5), representándose en color rojo sobre la cartografía las zonas de talud cuya pendiente es superior a la considerada como estable.

Otra importante aplicación de este algoritmo es el seguimiento y control geométrico de la ejecución de todo tipo de taludes artificiales, comprobando la configuración del talud definido en el proyecto y garantizando su estabilidad.

### Detección de líneas de drenaje

Otras las principales causas de deslizamiento en este tipo de vertederos es la actividad del drenaje en sus proximidades. Será necesario por tanto tener en cuenta:

1. Tipo de material que alberga el vertedero. En este vertedero se trata de un material de mala composición y alto contenido de humedad.

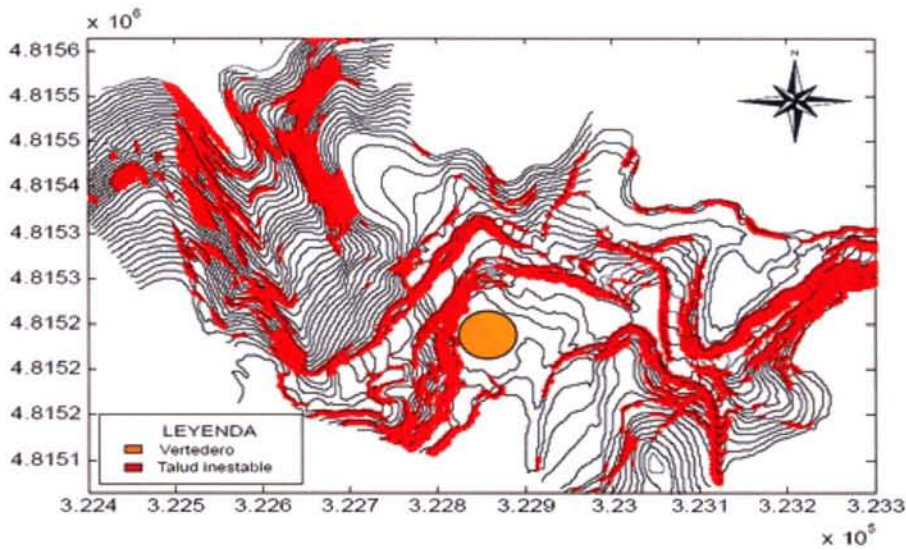


Figura 5: Representación gráfica de taludes geoméricamente inestables en la zona del vertedero

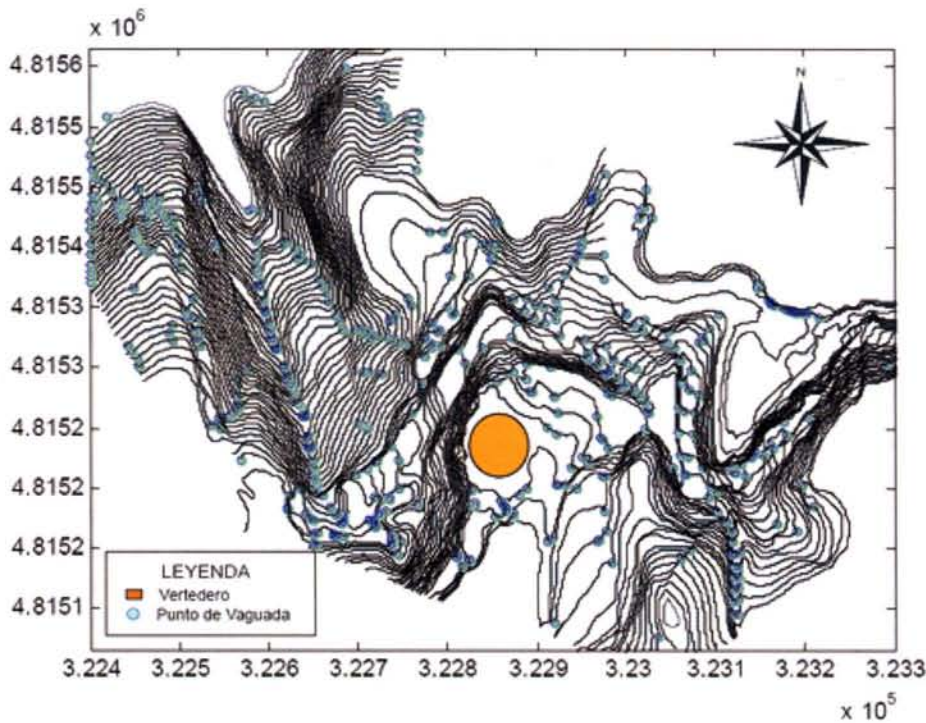


Figura 6: Resultado de la identificación automática de los puntos de vaguada sobre las curvas de nivel

2. Líneas de drenaje y área de concentración de agua en la parte superior del talud, que influirá en la posibilidad de filtración de agua en el material del vertedero.

3. Líneas de drenaje que puedan afectar a la parte inferior del talud y que afectará al posible riesgo de erosión de la base del talud.

Las líneas de drenaje coinciden con depresiones topográficas y para su identificación sobre el modelo digital del terreno hemos utilizado los vectores de pendiente determinados en la identificación de los taludes inestables. A partir de estos valores, se

han identificado aquellos puntos de las curvas de nivel que son comunes a la mínima pendiente entre dos curvas consecutivas.

El resultado se muestra en la figura 6, donde se representan los puntos de vaguada sobre las curvas de nivel.

En base al análisis de las figuras anteriores, podemos identificar las líneas de drenaje más significativas del entorno, teniendo de cuenta los puntos de vaguada y las zonas de mayor pendiente de los taludes. El resultado se muestra en la figura 7. Se puede comprobar que la dirección de las líneas, coincide con el desplazamiento de la masa de residuos a lo largo del desplazamiento.

### Determinación del desplazamiento de las pilas

Después de realizar los trabajos topográficos necesarios para obtener el modelo digital del terreno del deslizamiento, se procede a extraer los residuos de tierra que rodeaban a las pilas afectadas del viaducto. Posteriormente, se procede a la obtención de la información geométrica de las pilas mediante técnicas topográficas de triangulación con el objetivo de determinar las coordenadas de los ocho puntos que definen su contorno, tal y como se muestra en la figura 8.

Para poder comprobar el desplazamiento de las pilas después del deslizamiento, es necesario poder comparar estas coordenadas con las coordenadas que definen la posición real de la pila después de su ejecución. Estas coordenadas pueden diferir de las coordenadas definidas en el proyecto de construcción en base a una tolerancia estable-

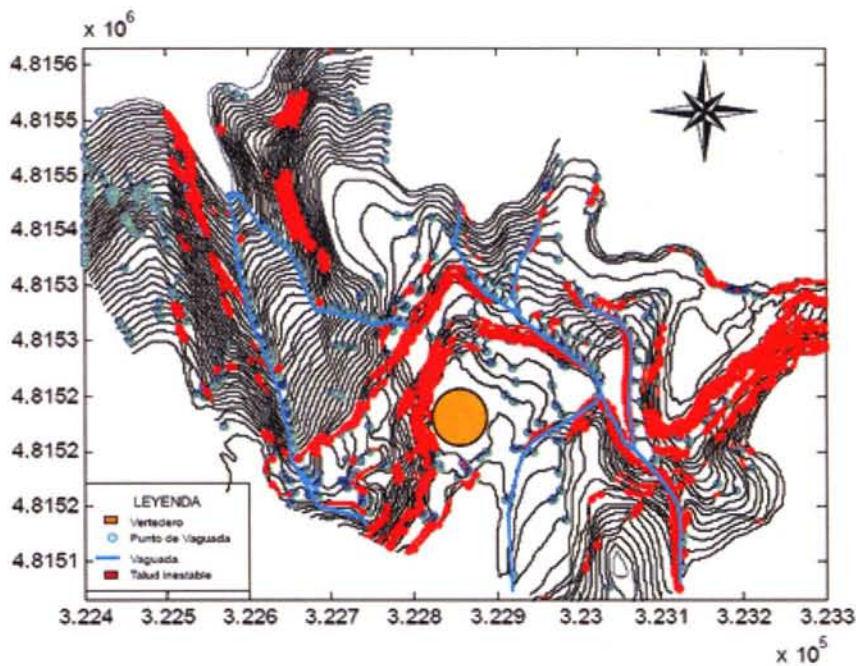


Figura 7: Identificación de las líneas de drenaje

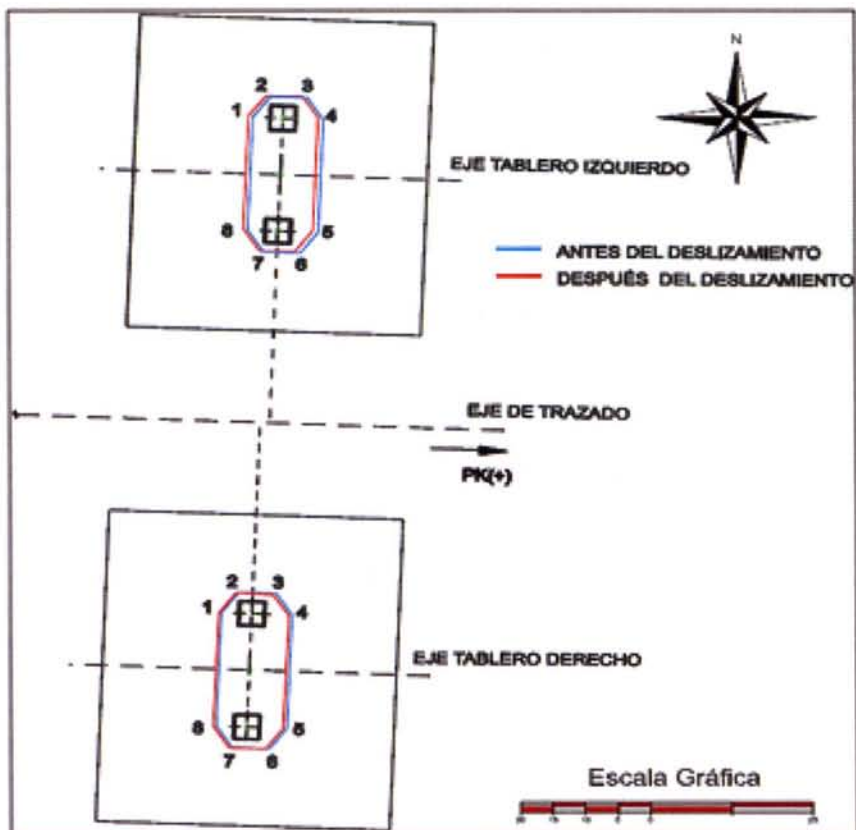


Figura 8: Representación grafica de los puntos que definen el contorno de las pilas

cida en los procedimientos de calidad de la obra, y son registradas por la unidad de calidad en las distintas fases de ejecución de las pilas. En la tablas 1 y 2 se muestra una relación comparativa de las coordenadas de proyecto (coordenadas teóricas) y las coordenadas de ejecución (coordenadas reales) en cada uno de los puntos que definen el contorno en la fase final (cota más alta de pila).

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos del registro de las coordenadas de las pilas después del deslizamiento (coordenadas deslizamiento) y su comparación con los datos de las coordenadas de ejecución (coordenadas reales).

En base a esta información, se puede determinar que el desplazamiento es mayor en la dirección del eje x, dirección que coincide con la del desplazamiento de la masa de tierra.

En la figura 9 que se muestra a continuación, se presentan los resultados de los desplazamientos de las pilas a partir de la distancia entre las coordenadas reales o de ejecución y las coordenadas de las pilas después del deslizamiento. Puede comprobarse que los desplazamientos son mayores para la pila izquierda, que es la pila que se encuentra más próxima al deslizamiento.

## Conclusiones

Siendo la geometría de los taludes uno de los factores más significativos en cuanto a la estabilidad de los rellenos de tierra, y especialmente en vertederos, es importante la identificación de aquellas zonas donde la pendiente es mayor que la considerada como estable. Si además este proceso se puede automatizar tomando como referencia un Modelo Digital del Terreno, tenemos la posibilidad de identificar importantes zonas de riesgo.

Esta tarea es especialmente importante en casos como el descrito en este artículo, zonas muchas veces improvisadas como vertederos de material de obra cuya naturaleza y composición hace de los vertidos zonas destacadas de riesgo y cuya ubicación viene determinada en la mayoría de los casos más por condicionantes económicos que de seguridad.

	PILA IZQUIERDA				PILA DERECHA			
	C. Teóricas		C. Reales		C. Teóricas		C. Reales	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
P 1	322.442.192	4.815.635.009	322.442.181	4.815.635.013	322.440.982	4.815.617.544	322.440.973	4.815.617.556
P 2	322.442.721	4.815.635.732	322.442.708	4.815.635.733	322.441.521	4.815.618.267	322.441.509	4.815.618.282
P 3	322.443.813	4.815.635.667	322.443.804	4.815.635.667	322.442.609	4.815.618.210	322.442.595	4.815.618.224
P 4	322.444.275	4.815.634.891	322.444.257	4.815.634.897	322.443.069	4.815.617.435	322.443.054	4.815.617.454
P 5	322.444.061	4.815.630.897	322.444.044	4.815.630.908	322.442.860	4.815.613.440	322.442.873	4.815.613.446
P 6	322.443.520	4.815.630.174	322.443.511	4.815.630.188	322.442.322	4.815.612.717	322.442.340	4.815.612.723
P 7	322.442.441	4.815.630.239	322.442.429	4.815.630.249	322.441.233	4.815.612.774	322.441.253	4.815.612.788
P 8	322.441.982	4.815.631.015	322.441.970	4.815.631.018	322.440.773	4.815.613.550	322.440.790	4.815.613.560

Tabla 1: Comparativa entre las coordenadas de proyecto y las ejecutadas

	Diferencia en X			Diferencia en Y	
	P. Izq	P. Dcha		P. Izq	P. Dcha
Pto 1	-0.011	-0.009	Pto 1	0.004	0.012
Pto 2	-0.013	-0.012	Pto 2	0.001	0.015
Pto 3	-0.009	-0.014	Pto 3	0.000	0.014
Pto 4	-0.018	-0.015	Pto 4	0.006	0.019
Pto 5	-0.017	0.013	Pto 5	0.011	0.006
Pto 6	-0.009	0.018	Pto 6	0.014	0.006
Pto 7	-0.012	0.020	Pto 7	0.010	0.014
Pto 8	-0.012	0.017	Pto 8	0.003	0.010

Tabla 2: Diferencias en x e y

Por otro lado, es importante la determinación de las zonas de vaguada porque muchas veces son modificadas por la propia maquinaria de obra. Las tareas de descarga en estas zonas de vertedero pueden llegar a ser muy intensas en periodos de estabilidad climática llegando a modificar rápidamente las líneas estructurales naturales del terreno.

## Bibliografía

Espinace, R., Palma, J. y Szanto, M., 2000. "Evolución de la geotecnia ambiental aplicada a los rellenos sanitarios". Curso XX: Vertederos Controlados de residuos sólidos urbanos: una

perspectiva internacional. Aula de Medio Ambiente de Suances. Universidad de Cantabria.

([http://icc.ucv.cl/geotecnia/05\\_publicaciones/public\\_prop/evolucion\\_de\\_la\\_geotecnia\\_ambiental\\_aplicada\\_a\\_rs.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/public_prop/evolucion_de_la_geotecnia_ambiental_aplicada_a_rs.pdf))

Colomer, F. J., Gallardo, A., Bovea, M.D. and Carlos, M., 2009. "Evaluación del riesgo geotécnico en vertederos de residuos sólidos: Identificación de los principales peligros". II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.

Dunnig, S. A., Massey, C. I. and Rosser, N. K., 2009. "Structural and geomorphological features of landslide in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning". *Geomorphology*, 103 (1), pp. 17-29.

Taroll, P. and Fontana, G. D., 2009. "Hillslope-to-valley transition "morphology:" New opportunities from high resolution DTM's". *Geomorphology*, 113 (1-2), pp. 47-56.

Little, J. J. and Shi, P., 2001. *Structural Lines, TINs, and DEMs*. *Algorithmica*, 30, pp. 243-263.

	PILA IZQUIERDA				PILA DERECHA			
	C. Reales		C. Desplazamiento		C. Reales		C. Desplazamiento	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
P 1	322 442.181	4 815 635.013	322 442.051	4 815 635.069	322 440.973	4 815 617.556	322 440.895	4 815 617.531
P 2	322 442.708	4 815 635.733	322 442.582	4 815 635.754	322 441.509	4 815 618.282	322 441.430	4 815 618.262
P 3	322 443.804	4 815 635.667	322 443.656	4 815 635.731	322 442.595	4 815 618.224	322 442.505	4 815 618.154
P 4	322 444.257	4 815 634.897	322 444.113	4 815 634.966	322 443.054	4 815 617.454	322 442.967	4 815 617.429
P 5	322 444.044	4 815 630.908	322 443.898	4 815 630.972	322 442.873	4 815 613.446	322 442.739	4 815 613.438
P 6	322 443.511	4 815 630.188	322 443.366	4 815 630.254	322 442.340	4 815 612.723	322 442.200	4 815 612.719
P 7	322 442.429	4 815 630.249	322 442.324	4 815 630.254	322 441.253	4 815 612.788	322 441.130	4 815 612.777
P 8	322 441.970	4 815 631.018	322 441.838	4 815 631.070	322 440.790	4 815 613.560	322 440.675	4 815 613.545

Tabla 3: Comparativa entre las coordenadas de ejecución las ejecutadas obtenidas después del deslizamiento

Desplazamientos en X			Desplazamientos en Y		
	P. Izq	P. Dcha		P. Izq	P. Dcha
Pto 1	-0.130	-0.078	Pto 1	0.056	-0.025
Pto 2	-0.126	-0.079	Pto 2	0.021	-0.020
Pto 3	-0.148	-0.090	Pto 3	0.064	-0.070
Pto 4	-0.144	-0.087	Pto 4	0.069	-0.025
Pto 5	-0.146	-0.134	Pto 5	0.064	-0.008
Pto 6	-0.145	-0.140	Pto 6	0.066	-0.004
Pto 7	-0.105	-0.123	Pto 7	0.005	-0.011
Pto 8	-0.132	-0.115	Pto 8	0.052	-0.015

Tabla 4: Desplazamientos en x e y

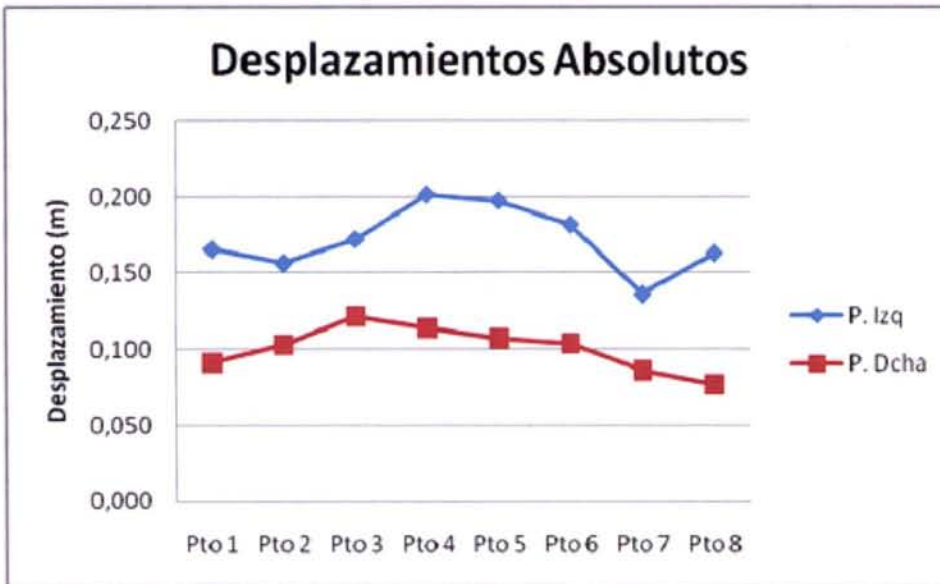


Figura 9: Representación de los desplazamientos absolutos de las pilas

Ai, T., 2007. "The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing, 62, pp. 93-113.

Dong, J.-J., Tung, Y.-H., chen, C.-C., Liao, J.-J. and Pan, T.-W., 2009. Discriminant analysis of the geomorphic characteristics and stability of landslide dams. Geomorphology, 103 (3-4), pp. 162-171

Gökgöz, T. and Gülgen, F., 2004. Comparison of Two Methods for Deriving Skeleton Lines of Te-

rain". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34, pp. 618-622

Huang, P. and Lai, P C., 2002. The derivation of skeleton lines for terrain features. Geospatial Information Science, 5 (2), pp. 68-73.

Regnauld, N. and Mackness, W.A., 2006. Creating a hydrographic network from its cartographic representation: a case study using Ordnance Survey Master-Map data. International Journal of Geographical Information Science, 20 (6), pp. 611-631.

Salcher, B. C., Hinsch, R. and Wagreich, M., 2010. High-resolution mapping of glacial landforms in the North Alpine Foreland, Austria. Geomorphology, 122 (3-4), pp.283-293.

Singh, M. K., Sharma, J. S., and Fleming, I. R., 2009. A design chart for estimation of horizontal displacement in municipal landfills. Waste Management, 29, pp. 1577-1587.

Sodnik, J., Petje, U. et al., 2009. Terrain topography and debris-flow modelling. Geodetski Vestnik, 53 (2), pp. 305-318.

Stolz, A. and Huggel, C., 2008. Debris flow in the Swiss National Park: The influence of different flow models and varying DEM grid size on modeling results. Landslides, 5 (3), pp. 311-319.



# X TOPCART 2012

## CONGRESO IBEROAMERICANO DE GEOMATICA Y CIENCIAS DE LA TIERRA

Madrid, del 16 al 19 de octubre 2012. Pabellón de la Pipa



[www.top-cart.es](http://www.top-cart.es)



# La IDE temática “IDE Univers” abre una nueva puerta de interoperabilidad entre la comunidad universitaria y los centros de investigación

## *The thematic SDI “IDE Univers” opens a interoperability new door between university community and research centres*

Pau Queraltó i Ros

Centre de Política del Sòl i Valoracions (CPSV) – Universitat Politècnica de Catalunya. España

Pilar García Alimrall

Centre de Política del Sòl i Valoracions (CPSV) – Universitat Politècnica de Catalunya. España

---

### Resumen

“IDE Univers” es un proyecto coordinado por la Secretaria de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información de la Generalitat de Cataluña, y financiado por la Comisión Europea a través del marco internacional Interreg IIIB MEDOCC, programa que fomenta la cooperación entre países del Mediterráneo.

Se trata de un proyecto de investigación con el objetivo de crear una Infraestructura de Datos Espaciales para dinamizar el acceso, el intercambio y la interoperabilidad de la gran cantidad de información georeferenciada que se produce en las universidades y centros de investigación a través de sus proyectos. Gracias a esta iniciativa se ha abierto un espacio que permite compartir a sus participantes los resultados cartográficos de las investigaciones realizadas, así como crear un nuevo polo de información geoespacial con valor añadido alimentada y actualizada por sus propios productores.

### Abstract

*“IDE Univers” is a project coordinated by Secretary of Telecommunications and Information Society of the Generalitat of Catalonia and funded by the European Commission through the Interreg IIIB MEDOCC international framework, a program that fosters cooperation among Mediterranean countries.*

*This is a research project with the aim of creating a spatial data infrastructure to streamline the access, sharing and interoperability of the large amount of georeferenced information that occurs in universities and research centres through its projects. Thanks to this initiative has opened up a*

*space that allows participants to share their mapping results of the research and create a new hub for value-added geospatial information supplied and updated by its own producers.*

### Introducción

El Proyecto IDE Univers, financiado mediante el marco internacional Interreg IIIB MEDOCC por la Comisión Europea a través de un programa que fomenta la cooperación entre países del Mediterráneo, ha involucrado participantes de Italia, España y Grecia, coordinados por cinco “partners”: la Secretaria de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (en adelante, STSI), el Instituto Cartográfico de Andalucía (en adelante, ICA), la Regione Emilia Romagna (Servicio Sistema Informático Geográfico), el Departamento de Geografía de la Universidad del Egeo, y el Instituto de Detección Electromagnética del Medio Ambiente de la Universidad de Milán (CNR-IREA). Cada “partner” se encarga de orientar y dirigir a un grupo de universidades y centros de investigación que pretenden difundir los datos producidos dentro de sus respectivas actividades. En el caso de Cataluña la STSI ha delegado en la Infraestructura de Datos Espaciales de Cataluña (en adelante, IDEC) la coordinación de los participantes catalanes.

Se trata de un proyecto de investigación con el objetivo de crear una Infraestructura de Datos Espaciales (en adelante, IDE) para dinamizar el acceso, el intercambio y la interoperabilidad de la gran cantidad de información territorial georeferenciada que se produce en las universidades y centros de investigación a través de sus proyectos. Esta IDE adopta una arquitectura con las pautas y estándares de la iniciativa europea INSPIRE: los metadatos para la descripción de la geoinformación que siguen los estándares de la ISO 19115 y

la ISO 19139; el Servidor de Catálogo, que alberga los metadatos y permite la búsqueda y descubrimiento de la información; y, finalmente, los servicios de acceso a la información que está publicada en Servidores de Mapas, los cuales cumplen con las especificaciones del Open Geospatial Consortium (en adelante, OGC) Web Map Server (en adelante, WMS) y Web Feature Server (en adelante, WFS), mediante un cliente estándar OGC.

IDE Univers ha permitido a sus participantes un avance tecnológico, creando la posibilidad de compartir la información cartográfica disponible e inculcando el principio de la interoperabilidad, con lo cual sus integrantes han debido identificar y organizar dicha información para poder compartirla mediante los recursos ofrecidos por el Proyecto.

### La IDE como referencia de la investigación territorial

El colectivo de universidades y centros de investigación integrantes de la IDE temática<sup>1</sup> centran el objeto principal de su participación en el Proyecto IDE Univers en crear una infraestructura común para compartir la información cartográfica producida, siguiendo los estándares promovidos desde la Comunidad Europea mediante el Proyecto INSPIRE.

En este contexto las universidades participantes, y en nuestro caso el CPSV de la UPC, han desarrollado el objetivo principal abordando los siguientes objetivos específicos:

- Establecer de forma ordenada y fácilmente consultable parte de la cartografía producida en el propio centro, a partir de la creación de metadatos de los datos cartográficos existentes.
- Disponer de un servidor de mapas para facilitar a nivel interno la consulta de la producción cartográfica realizada.
- Potenciar la utilización de la tecnología WMS mediante la disponibilidad de servicios WMS a través de un servidor de mapas y, por consiguiente, la utilización de servidores de mapas existentes en Cataluña que trabajan con información cartográfica.

### Metodología y plan de trabajo

El Proyecto supone hacer accesible vía Internet la cartografía de cada uno de los participantes y, para ello, es necesario realizar un inventario de ésta. Seguidamente se deben realizar los metadatos de esta cartografía, la función de los cuales es dar información complementaria de ésta, como por ejemplo: el título, un resumen, el propósito, los datos de contacto con el responsable de los datos, el tipo de representación espacial de los datos, el sistema de referencia que utilizan los datos, una

descripción del contenido, información sobre la distribución, entre otros. Y finalmente deben crearse los servicios WMS, los cuales permitirán mediante un servidor de mapas web la visualización de la citada cartografía.

Partiendo de los requerimientos anteriormente citados, el CPSV ha realizado las siguientes actividades siguiendo la metodología descrita:

- Se ha inventariado la información cartográfica disponible con la finalidad que ésta pueda ser incorporada. El resultado de esta selección ha sido de 252 mapas.
- Para generar los metadatos se ha utilizado el software creado por IDEC llamado MetaD v3.0.4, el cual tiene una estructura y una terminología que siguen el estándar ISO 19115 con su implantación ISO 19139. Teniendo en cuenta que este estándar es muy genérico, la IDEC ha adaptado las particularidades de nuestro país. La creación de los metadatos ha supuesto una dedicación laboriosa pero aporta valor añadido, puesto que ha permitido disponer de un catálogo estructurado de la información cartográfica propia del centro y saber qué características contiene.

- La creación de un servicio WMS ha supuesto las siguientes actividades: transformar la cartografía disponible al formato shape; crear archivos .map para cada una de las capas cartográficas, en el cual se especifican las características de representación de la cartografía para el servidor; instalar el servidor de mapas Minnesota Mapserver 4.8.4 y el servidor web Apache http server 2.2.2. Debe hacerse mención que la generación de los servicios WMS requiere realizar metadatos sobre estos servicios disponibles, así que también ha sido necesario crear metadatos de los servicios para finalizar el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

### Resultados obtenidos

En la actualidad, el CPSV de la UPC tiene publicados 303 metadatos en el Catálogo de Metadatos de la IDE Temática IDE Univers, gestionada por la IDEC. Ésta ofrece las siguientes capacidades: discriminar la búsqueda entre metadatos de datos cartográficos o de servicios WMS; filtrar la búsqueda por organización, palabra clave, fecha de edición y/o escala; o realizar una búsqueda espacial (mediante el dibujo de una caja de coordenadas geográficas). Partiendo del tipo de búsqueda se realiza una petición al servidor y él devuelve los resultados correspondientes, es decir, los metadatos. De cada uno de los metadatos existentes en el Catálogo de Metadatos se permite visualizar la información de diversas formas: la zona geográfica dónde se encuentran los datos cartográficos descritos en el metadato; un resumen de la información del metadato (como ejemplo ver figura 1);

Metadada reduïda	
<b>Agregació de municipis a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (any 1991)</b>	
<b>METADADA</b>	
Organització creadora metadada: Centre de Política del Sol i Valoracions (CPSV)	
Data creació metadada: 2007-10-05	
<b>DADES</b>	
Organització creadora dada: Centre de Política del Sol i Valoracions (CPSV)	
Data Creació : 1997-09-18	
Data edició : 1997-09-18	
Informació i dades: La font de les dades es l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT).	
Resum: Mapa amb l'agregació de municipis a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) l'any 1991.	
Límits geogràfics:	
Oest:	1.91707
Est:	2.30187
Sud:	41.25306
Nord:	41.4971

Figura 1: Metadato, en versió reduïda, present en el Catàleg de Metadatos.  
Fuente: IDE Univers <<http://www.geoportal-idec.cat/ideunivers/local.jsp>>

toda la informació que el metadato contempla; o ver un resumen de los datos de contacto del proveedor de los datos.

Debe destacarse que esta actividad ha supuesto un acercamiento entre los diferentes participantes respecto a la compartición de los datos, creándose diferentes nuevas sinergias que suponen una compartición de información territorial, hecho innovador en el campo universitario.

Respecto a los servicios WMS, el CPSV ha configurado 37 servicios WMS, entre los cuales suman 287 capas cartográficas con información territorial. Sin lugar a dudas esta tecnología permite mostrar a cualquier usuario de Internet el trabajo y las investigaciones realizadas por el centro de investigación. Además, globalmente esta tecnología permite crear un pequeño universo de información espacial que puede ser compartida por todos, con el valor añadido que esto supone. Los servicios WMS se encuentran disponibles en el Visualizador de Cartografía de la IDE Temática IDE Univers, gestionado por la IDEC. Éste ofrece las operaciones comunes de un visualizador de cartografía: aumentar o disminuir el zoom, moverse por el mapa, obtener información de la capa cartográfica, imprimir, vista anterior, volver al mapa inicial, obtener las coordenadas geográficas X,Y y cargar las diferentes capas y servidores disponibles. En la figura 2 puede observarse un ejemplo de servicio WMS del CPSV, concretamente se trata del Servicio WMS "Estructura demográfica en el año 1998 del Área Metropolitana de Barcelona (en adelante, AMB)", que tiene 15 capas cartográficas, de las cuales se ha escogido el Índice de envejecimiento en el año 1998 de la AMB.

## Conclusiones

El Proyecto IDE Univers ha permitido a sus participantes avanzar en recursos tecnológicos que les han permitido ser interoperables entre ellos. Y

este avance tecnológico ha supuesto a cada uno de sus integrantes la necesidad de inventariar la información cartográfica disponible, realizar metadatos de ésta para publicarlos en el Catálogo de Metadatos y preparar servicios WMS para hacer visible la información territorial disponible a través de un visualizador de mapas vía Internet.

Los participantes catalanes en el Proyecto han realizado un total de 15.738 metadatos (en catalán, castellano e inglés) que han pasado a formar parte del Catálogo de Metadatos que gestiona la IDEC y han creado 114 servicios WMS disponibles en el Visualizador de Cartografía que también es gestionado por la IDEC.

La participación en el Proyecto IDE Univers ha supuesto para el CPSV grandes beneficios, de entre los cuales cabe destacar la posibilidad de disponer de un Catálogo de Metadatos y un Visualizador de Cartografía accesible a través de Internet, lo cual ha iniciado el proceso de reorganización de los flujos de información existentes entre los investigadores del propio centro. Se tiende a utilizar los recursos adquiridos citados como Intranet de consulta, lo cual evita la duplicidad de trabajos o investigaciones en una misma temática.

Es necesario poner de manifiesto que el CPSV está abriendo paulatinamente a la comunidad científica los resultados de su investigación territorial y urbana, significando una actividad pionera en la UPC y permitiendo el acercamiento a los demás centros de investigación que trabajan en líneas de investigación parecidas.

Fruto de la experiencia adquirida con la participación en el Proyecto IDE Univers, el CPSV se ha planteado la posibilidad de ampliar tanto el número de metadatos como el de servicios WMS, entendiendo la necesidad de impulsar por parte de los agentes involucrados una segunda parte del Proyecto.

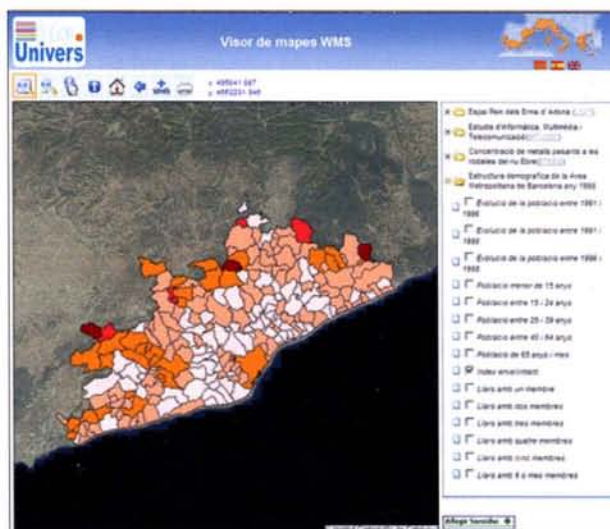


Figura 2: Visualizador de mapas WMS.  
Fuente: IDE Univers <<http://www.geoportal-idec.cat/ideunivers/local.jsp>>

# Efectos del huracán Iván sobre el hábitat de los reptiles en la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba

## *Effects of the Hurican Iván on the reptiles habitat at the Biosfere reserve, Península de Guanahacabibes, Cuba*

Evelyn Pérez Rodríguez

Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Pinar del Río. Cuba

Yosvany Lemus Martínez

Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Pinar del Río. Cuba

Freddy Fuster Balbeito

Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Pinar del Río. Cuba

---

### Resumen

Se evalúa el impacto que provoca el huracán Iván en la modificación del hábitat de las poblaciones de reptiles que habitan en la Península de Guanahacabibes, específicamente por el aumento del nivel del mar, 10 años después del paso del huracán Iván. Se dividió la península en cinco zonas Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes (RBPG oeste, RBPG este, Cabo de San Antonio, El Veral y Cabo Corrientes), ubicando en estas las especies según su distribución geográfica y tomando como base el mapa de vegetación de la península. Se determinó que las formaciones vegetales de mayor grado de afectación fueron: la vegetación de costa arenosa (muy vulnerable), manglar (vulnerable) y bosque de ciénaga (vulnerable en menor medida). Se analizó el endemismo de las poblaciones de reptiles siendo mayor en el área de bosques más conservados que coincide con la Reservación Natural El Veral y el área de mayor riqueza de especies dentro de la Península.

**Palabras claves:** Huracanes, Hábitat, Alteraciones, Formaciones Vegetales, Reptiles.

### Abstract

*The impact caused by Iván hurrican on the habitat modification of reptiles population, living in the Guanahacabibes Peninsula was evaluated, the increase of the sea level within the period of 10 years, after the Hurricane Ivan in 2004. The peninsula was divided in five areas, Peninsula de Gua-*

*nahacabibes Biosphere Reserve (RBPG west, RBPG east and Cabo de San Antonio, El Veral and Cabo Corrientes). A map with a geographical distribution of species was created overlapping the existing vegetation map of the PGBR. It was found that the most affected vegetation was that on Sandy Coasts (highly vulnerable), Mangrove vegetation (vulnerable) and Swamp forest (vulnerable in a lower degree)*

*The endemic degree of the reptile population was analyzed, being the higher concentration of endemics in the most preserved forests. Located in El Vera Natural Reserve and within the richness hot spots of the peninsula.*

**Key words:** *hurricanes, habitats, alteration, vegetable formations, weather change, reptiles.*

La provincia Pinar del Río en los últimos 106 años, ha sido afectada por 70 huracanes (Departamento Meteorológico Provincial 2005). La temporada ciclónica se estima entre el 1 de Junio y el 30 de noviembre, siendo la del 2004 y 2005 la más activa de la historia conocida en la región, rompiéndose todos los record, incluyendo el huracán más potente hasta ahora registrado, Huracán Iván (Castaño, 2000).

La península difiere poco del resto del territorio de Cuba occidental, aunque su forma alargada y estrecha hace que sea más afectada por el mar que la rodea y la corriente del Golfo de México. La precipitación anual promedio es de 1333.7 mm (Lopetegui et al., 1999), la cual no es uniforme si

tenemos en cuenta los promedios de su parte meridional y septentrional que son de 1000-1200 mm y 1400-1600 mm respectivamente. La humedad relativa permanece casi invariable con un 81% de promedio. La media anual de temperatura mínima y máxima es de 21.5 y 29.2 °C. La dominancia todo el año de los vientos del nordeste es latente. El período de sequía se extiende desde noviembre hasta abril (Lopetegui et al., 1999).

Hoy se reconoce que las causas fundamentales que inciden en la pérdida de la diversidad biológica, son provocadas por factores como la fragmentación, alteración y disminución de su hábitat o la conversión de los mismos a otros usos, introducción de especies foráneas, contaminación del suelo, entre otras. Además, los fenómenos naturales adversos como sequías, inundaciones, tormentas tropicales en los últimos tiempos, los cambios climáticos globales, que originan el aumento de las temperaturas ambientales han producido la elevación del nivel del mar, son factores de peligro y se convierten en potenciales amenazas para los organismos vivos (IPCC, 2001).

Fonticoba et al. (2005) realizaron mediciones de la elevación del mar en la Península de Guanahacabibes, sobre las cuales se puede predecir, que las afectaciones que este fenómeno tendrá sobre los ecosistemas terrestres, a corto plazo, incrementando la frecuencia de las penetraciones del mar y, a medio plazo, la subidas previstas del nivel del mar supondrían una alteración casi permanente en el ecosistema. En el presente estudio nos proponemos estimar las afectaciones sobre el hábitat naturales de las poblaciones de reptiles de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, causadas por las penetraciones del mar en este territorio.

## Materiales y métodos

Este estudio es el resultado de un conjunto de investigaciones llevadas a cabo en la Península de Guanahacabibes, zona intensamente dañada en los últimos cinco años por seis huracanes e impactada por el huracán Iván en septiembre de 2004.

Para determinar la distribución geográfica de los reptiles se tuvo en cuenta la información publicada al respecto por los siguientes autores: (Schwartz y Thomas, 1975), (Maclean et al., 1977), (Schwartz y Henderson, 1991); (Garrido y Schwartz, 1968), (Estrada y Novo, 1984), (Rodríguez y Martínez, 1985) y (Garrido y Estrada, 1989).

Las especies de reptiles detectadas en la península se ubicaron, según su distribución geográfica, en

cada una de las zonas dentro de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes (RBPG oeste, RBPG este, Cabo de San Antonio, El Veral y Cabo Corrientes) como se muestra en la Figura 1.

Para valorar el endemismo, se calculó el porcentaje de especies endémicas pancubanas y regionales en cada zona, con respecto al número de especies presentes en ellas.

Para el estudio de vegetación se siguió el método de transecto lineal, anotándose el tipo de suelo, posición que ocupa respecto a la línea de costa y composición florística según (Delgado 1999) y para la fauna los transectos se recorrieron a paso lento en los horarios de 9:00 a 12:00 horas y de 14:00 a 17:00 hr, utilizando el censo visual por transecto, las observaciones se realizaron siguiendo el método de censo de (Rand 1964). De todos los individuos observados se tomaron, el nombre de la especie.

Se toman como base las observaciones y mediciones realizadas durante los trabajos de campo, así como datos de archivo de eventos meteorológicos que han ocasionado daños en los últimos cinco años en el área, estableciendo tres categorías de peligro de penetración del mar: rojo (peligro alto), verde (peligro: medio) y amarillo (peligro bajo), según (Fonticoba et al., 2005).

Todos estos datos fueron procesados en un SIG (Ilwis3.2), obteniendo como producto final mapas con la distribución de las especies de reptiles, teniendo en cuenta riqueza y endemismo y un mapa de peligro por penetración del mar para diferentes períodos de recurrencia en la zona de estudio.

## Resultados

En la Península de Guanahacabibes se han registrado 34 especies de reptiles, agrupadas en 12 familias, 19 endémicas cubanas y siete endémicas regionales (dos especies: *Anolis quadriocellifer* y *Tropidophis xanthogaster* y cinco subespecies: *Leiocephalus carinatus zayasi*, *Leiocephalus stic-*



Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio

tigaster stictigaster, Leiocephalus macropus koopmani, Ameiva auberi auberi, Antillophis andreae peninsulae). La mayoría de estas especies endémicas tienen preferencia de hábitat por la formación boscosa central y el litoral de costa rocosa. La riqueza actual de la Península (Tabla 1), representa 22.7% del total de especies y subespecies de reptiles en Cuba.

Especies	RBPG oeste	RBPG este	Áreas de la Península		FNG Cabo Comentes
			FNG Cabo de San Antonio	FNG El Veral	
Chelonia mydas(Ch.m)	X		X		
Caretta caretta(Car.car)	X		X		
Trachemys decussata(Tra.d)		X			
Croceodylus acutus			X		
Ameiva auberi(Am.aub)	X	X	X	X	X
Diploglossus delasagra*(Dip.de)	X		X		X
Tarentola americana(Tar.a)		X			
Sphaerodactylus notatus(Sph.n)	X			X	
Sphaerodactylus elegans(Sph.e)	X		X	X	
Leiocephalus carinatus(L.c)	X	X	X	X	X
Leiocephalus macropus*(L.m)	X	X	X	X	X
Leiocephalus stictigaster*(L.s)	X	X	X	X	X
Cychus mabila (Cy.m)	X	X		X	X
Anolis chamaeleomides*(Ch.ch)			X		
Anolis peccatus*(A.p)	X	X	X	X	X
Anolis sagrei(A.s)		X			X
Anolis quadriocellifer*(A.q)	X		X	X	
Anolis homolechis*(A.h)	X	X	X	X	X
Anolis angusticeps(A.ang)	X	X	X	X	
Anolis lateogularis*(A.l)	X	X	X	X	X
Anolis allogus*(A.allo)		X			
Anolis loynana*(A.loy)	X		X	X	X
Anolis alutaceus*(A.al)	X	X	X	X	
Anolis pomilus*(A.pu)		X			
Amphibaena cubana*(Amp.cu)		X			
Alsophis cantherigerus(Also.c)	X	X	X	X	X
Antillophis andreae*(Ant.an)	X	X	X	X	
Tetranorhynchus variabilis(Tre.v)		X			
Anhyton vittatum*(An.vi)		X		X	
Epicrates angulifer*(Ep.a)	X	X	X	X	X
Tropidophis melanurus(Tro.m)		X		X	
Tropidophis pardalis*(Tro.p)				X	
Tropidophis					
xanthogaster*(Tro.x)		X		X	
Tropidops humboldti(Ty.hum)		X			

Tabla 1: Especies de reptiles en las diferentes áreas de la Península de Guanahacabibes. \*especies endémicas

Del total de especies, 12 han sido vistas en solo una de las cinco localidades (tabla 1), las demás son especies de amplia distribución por el territorio. Los probables escenarios de penetración del mar, pronosticados por (Fonticoba et al. 2005), son de 250 m en las zonas bajas de la costa S (Figura 2). La causa principal de la penetración del mar en estas zonas de la Península de Guanahacabibes, es el oleaje que rompe en una profundidad crítica, esta es una característica propia de zonas de aguas profundas y pendiente abrupta.

De acuerdo con la inundación probable debida a la penetración del mar por la costa S, se afectarían severamente el hábitat de 27 especies de reptiles de la península que habitan en las formaciones vegetales más vulnerables y de hecho, Diploglossus delasagra después del paso del huracán Iván, no ha sido observada en ninguna de estas formaciones vegetales.

Las formaciones vegetales más afectadas por la penetración del mar fueron las siguientes:

- Complejo de vegetación de costa arenosa

Ocupa un área de 73,2 ha, que representa 10% del área total de la península y resulta muy vulnerable, dado a la cercanía a la línea de costa. Esta formación esta expuesta de forma directa a la penetración del mar, además el desarrollo radicular de las especies vegetales que la componen, sobre un suelo arenoso fácilmente erosionable, resulta frágil ante los arrastres del sustrato que provoca el agua en su movimiento, ocasionando el derribo y traslado de ellas. En esta formación, Cocco-loba uvifera y las plantas herbáceas, son las menos resistentes ante este fenómeno y Thrinax radiata es la más perdurable. De todas las formaciones vegetales que existen en el área de estudio, esta es la más vulnerable ante la penetración del mar.

- Manglar mixto.

Al igual que la formación anterior es también frágil, debido a la cercanía a la línea de costa. El área que abarca es de 63.5 ha (15%). Su posición hipsométrica, lo cual condiciona el cambio de las condiciones hidromórficas y de salinidad del sustrato, convierte esta unidad geomorfológica en una zona inundada al penetrar el agua de mar, imposibilitándose el intercambio de agua debido al efecto de barrera que impuso la construcción del vial, sellando los canales naturales sin un consecuente diseño de redes de alcantarillados. Ello provoca que la permanencia del agua de mar aumente los niveles de hidromorfía y salinidad en el suelo, por encima

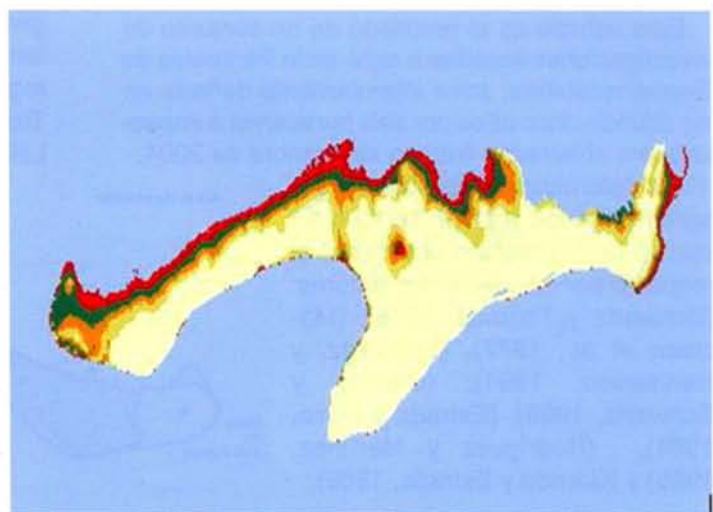


Figura 2. Probables escenarios de inundación de la Reserva de la Biosfera 313 Península de Guanahacabibes para el año 2015. La línea roja= intensidad muy alta, línea verde = intensidad media y línea amarilla = baja intensidad

del límite máximo de la tolerancia de las especies, provocando su muerte, principalmente las que están alrededor de las lagunas. Todas las especies que componen dicha formación son débiles ante estas condiciones impuestas, con excepción de *Conocarpus erecta* (Yana), que manifiesta una mejor respuesta tanto a la tolerancia como a su regeneración.

- Bosque medio de ciénaga

Ocupa 186.6 ha (45%). Resulta sensible, pero en menor medida que la formación anterior, pese a que está próxima a la línea de costa y en zona baja. Esto se debe a que su capacidad de recuperación ante las condiciones hidromórficas y de salinidad del sustrato que suele ser mayor, además el agua acumulada drena hacia el manglar, controlando su nivel y la salinidad del suelo. Todas las especies que componen dicha formación son susceptibles ante estas condiciones impuestas.

- Bosque bajo siempreverde micrófilo.

Formación que abarca 54.5 ha que representan 14% de la península. Es poco vulnerable ante la penetración del mar, por encontrarse más alejada de la línea de costa y el agua de mar no llega con mucha facilidad. Además cuando llueve el agua corre por la pendiente existente en el relieve hacia la zona donde se encuentran el bosque de ciénaga y el manglar, controlando así el nivel de salinidad en el suelo. Todas las especies que componen dicha formación son frágiles ante penetración del mar.

Los lagartos fueron los más representativos de los reptiles. Se comprobó que la riqueza de especies de la comunidad y la riqueza de especies endémicas, se afectaron en menor diversidad por el efecto de inundaciones, sin embargo se pueden perder cuatro especies exclusivas por este efecto, en las formaciones vegetales de costa arenosa y manglar mixto (Tabla 2).

La localidad estudiada que alberga mayor riqueza de especies es la RBPG este (Figura 3).

Las especies endémicas se encuentran distribuidas en diferentes tipos de microhábitats de acuerdo con sus similitudes morfológicas (Figura 4).

Especies	Áreas de la Península				
	RBPG oeste	RBPG este	FNG Cabo San Antonio	FNG El Veral	FNG Cabo Comentes
<i>Chelonia mydas</i> (Ch.m)	X		X		
<i>Caretta caretta</i> (Car.car)	X		X		
<i>Trachemys decussata</i> (Tra.d)		X			
<i>Crocodylus acutus</i>			X		
<i>Ameiva auberti</i> (Am.aub)	X	X	X	X	X
<i>Diploglossus delacaza</i> *(Dip.de)	X		X		X
<i>Tarentola americana</i> (Tare.a)		X			
<i>Sphaerodactylus notatus</i> (Sph.n)	X				
<i>Sphaerodactylus elegans</i> (Sph.e)	X		X	X	
<i>Leiocephalus carinatus</i> (L.c)	X	X	X	X	X
<i>Leiocephalus macropus</i> *(L.m)	X	X	X	X	X
<i>Leiocephalus stictigaster</i> *(L.s)	X	X	X	X	X
<i>Cyclura nubila</i> (Cyn)	X	X		X	X
<i>Anolis chamaeleoides</i> *(Ch.ch)			X		
<i>Anolis porcatus</i> *(A.p)	X	X	X	X	X
<i>Anolis sagrei</i> (A.s)		X			X
<i>Anolis quadriocellifer</i> *(A.q)	X		X	X	
<i>Anolis homolechis</i> *(A.h)	X	X	X	X	X
<i>Anolis angusticeps</i> (A.ang)	X	X	X	X	
<i>Anolis luteogularis</i> *(A.l)	X	X	X	X	X
<i>Anolis allogus</i> *(A.allo)		X			
<i>Anolis loysiana</i> *(A.loy)	X		X	X	X
<i>Anolis alutaceus</i> *(A.al)	X	X	X	X	
<i>Anolis punctatus</i> *(A.pu)		X			
<i>Amphibaena cubana</i> *(Amp.cu)		X			
<i>Alsophis cantherigerus</i> (Also.c)	X	X	X	X	X
<i>Antillophis andreae</i> *(Ant.an)	X	X	X	X	
<i>Tetranotus vanabdis</i> (Tre.v)		X			
<i>Anhyton vittatum</i> *(An.vi)		X		X	
<i>Epicrates angulifer</i> *(Ep.a)	X	X	X	X	X
<i>Tropidophis melanurus</i> (Tro.m)		X		X	
<i>Tropidophis pardalis</i> *(Tro.p)				X	
<i>Tropidophis xanthogaster</i> *(Tro.x)		X		X	
<i>Typhlops humilis</i> (Ty.hum)		X			

Tabla 2: Especies de lagartos que habitan en las formaciones vegetales más afectadas por la penetración del mar

El huracán Iván ocasionó grandes cambios en la geomorfología de las playas. La extensión de la franja arenosa creció de 9 a 15 m y hasta más de 100 m en algunas de ellas (La Barca 840 44' 34'' Lat N, 210 51' 45'' Long W y El Holandés 840 49' 0'' Lat N, 210 48' 47'' Long W). Este fenómeno, unido a los movimientos de arena que se produjeron –extracciones y/o deposiciones de arena, también puso a la luz nuevas playas.

Las áreas costeras de franjas arenosas, constituyen sitios importantes para la anidación de las tortugas marinas y producto de la acumulación de

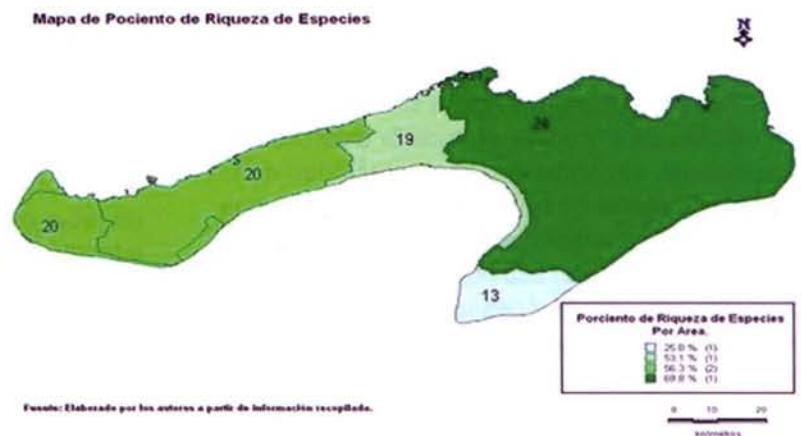
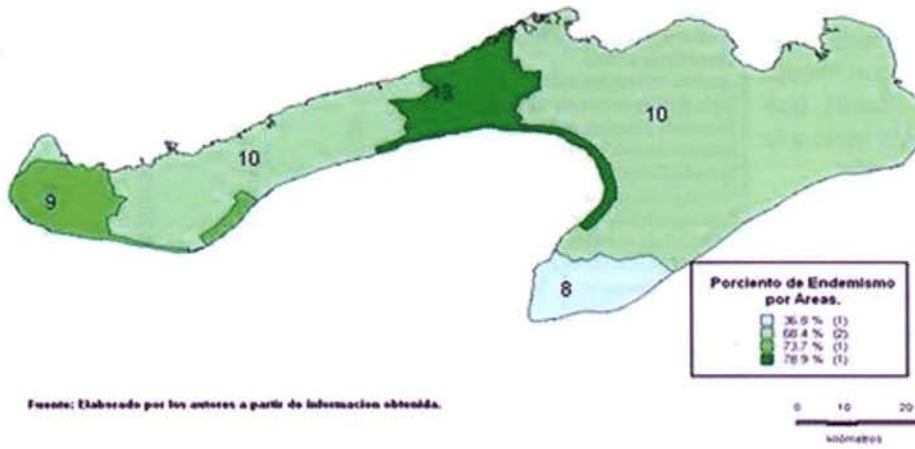


Figura 3. Porcentaje de riqueza de reptiles en la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes

## Mapa de Porciento de Endemismo



Fuente: Elaborado por los autores a partir de información obtenida.

arena en las playas y el arrastre de esta, por el huracán Iván, se produjo un deterioro del ecosistema, así como, cambios en las dinámicas de las poblaciones.

## Discusión

Los reptiles constituyen un grupo zoológico importante como indicadores ecogeográficos, por sus capacidades de desplazamiento que son muy limitadas en relación con otros vertebrados (Rodríguez, 1999).

Dos subespecies endémicas de este territorio, *Ameiva auberi auberi* y *Leiocephalus stictigaster stictigaster* tienen preferencia de hábitat sobre el suelo arenoso de las maniguas costeras y en las playas arenosas de la costa S, que son las formaciones vegetales más afectadas por la penetración del mar (Lemus 2008). Por ello la supervivencia de las referidas especies se lograría desplazándose hacia otros territorios.

Otras especies como: *Diploglossus delasagra*, *Anolis loysiana*, *Anolis alutaceus*, *Amphisbaena cubana*, *Arrhyton vittatum* y *Anolis chamaeleonides*, son difíciles de encontrar en toda la extensión de la península, sin embargo, son detectadas en la formación vegetal de bosque siempre verde, que resulta poco vulnerable por encontrarse más alejadas de la costa, por ello no se descarta que sea altamente probable que desaparezcan de algunas de las pocas localidades en las que se han registrado.

La mayor riqueza específica en la RBPG este, puede estar relacionada con la mayor diversidad de hábitats y por ende mayor supervivencia de las

especies que se asocian, según (Triantis et al. 2003), la diversidad del hábitat es el principal determinante de la riqueza de la especie, y además esta es la región de mayor área.

Las características geográficas de la isla propician un alto grado de endemismo de los reptiles. El género *Anolis* presenta un grado de especiación de más de 40 especies de lagartos de este género son exclusivas de nuestro archipiélago, (Rodríguez,

1999), por lo que tuvimos en cuenta la ubicación de las especies endémicas de la Reserva (figura 4). La causa de que la Reservación Natural El Veral, sea el área de mayor número de especies endémicas podría ser atribuida a que en ella se encuentran los bosques más conservados de la Península, (Delgado, 1999).

Los hábitats asociados al litoral son los más impactados por la penetración del mar, ocasionando el deterioro del ecosistema, así como, cambios en las dinámicas de las poblaciones de reptiles. Sin embargo muchas de las especies en estas zonas no son endémicas locales por lo que no se esperarían extinciones.

La nidificación de las diferentes especies de tortugas marinas fue menor después del paso del huracán en comparación con el año anterior y el éxito disminuyó 25% según datos de Cobian (2004). Resultando un año de "baja anidación" provocada por las sobreelevaciones del nivel del mar por períodos prolongados y en consecuencia, la pérdida de muchos de los nidos, además que otros no pudieron ser analizados porque eclosionaron muy tarde en la temporada, y el porcentaje de recuperación de marcas de pasadas temporadas fue bajo. La elevada filopatría de las tortugas las hace muy vulnerables a este tipo de fenómenos a los cuales se adaptan difícilmente.

Debido a que el aumento del nivel del mar es un proceso progresivo y que los huracanes son fenómenos catastróficos y su frecuencia está aumentando, las especies de mayor plasticidad ecológica y distribución geográfica no restringida a la Península de Guanahacabibes, tendrían la oportunidad de ir ocupando, paulatinamente, territorios más se-



guros, aunque desaparecieran del actual. Las especies exclusivas que pueden perder su hábitat identificador son: *Anolis pumilus*, *Diploglossus delasagra*, *Leiocephalus stictigaster* y *Anolis alutaceus*.

Según modelaciones matemáticas las extensas penetraciones del mar, con grandes volúmenes de agua incorporada provocan un desbalance de la salinidad y la muerte de los manglares y otra vegetación acompañante, así como la y modificación del hábitat de los reptiles.

## Bibliografía

Delgado F(1999): Estructura y diversidad de los bosques semidecuidos de la Reserva de Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba. Tesis en opción al grado académico de Máster en Ecología y Sistemática Aplicada. Mención Ecología, Cuba, 78p.

Cobian, D.; Ibarra, M.; Díaz, R. y Azanza, J. (2004): Informe 7 años de trabajo final del Parque Nacional Guanahacabibes. Inédito.

Estrada, A. R. and Novo Rodríguez, J. 1984a. Reptiles y aves de Cayo Inés de Soto, Archipiélago de Los Colorados, Pinar del Río, Cuba. Misc. Zool. 23:1.

Fonticoba Alea, O.; Suárez Sánchez, O.; Moreno González, Odalys C.; Aguado Valdés, Nedy. (2005). Peligro de Penetración del mar en la costa sur de la Península de Guanahacabibes. Pinar del Río, Cuba. p 8 -28.

Garrido, O. y A. Schwartz (1968): Anfibios, Reptiles y Aves de la Península de Guanahacabibes. Cuba. Poeyana, 53: 1-68.

Garrido, O. H. and Estrada, A. R. 1989. Nueva especie del complejo *Anolis alutaceus* (Lacertilia: Iguanidae) para Cuba. Rev. Biol. 3(1):57-66.

Inchaustegui, S y Arias, I. (1986): Insularidad, *Anolis*, Ecología y Evolución. Ciencia y Sociedad, Vol. XI, No. 2, Abril- Junio, 85-106.Cuba.

IPCC (2001): Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Tercer Informe de Evaluación. La base científica. Resumen para responsables de política y resumen interno. PNUMA/OMM.

Lemus, Y. (2008): Tesis en opción al Título Académico de Master en "Gestión Ambiental". La evaluación del riesgo por penetración del mar en el sector La bajada- Punta Caimán como fundamento

para la gestión ambiental en ecosistemas costeros.

Lopetegui, C.M., A. Sánchez, H. Naranjo, P. Ruiz, & F. Delgado. 1999. Caracterización climática y bioclimática de la Península de Guanahacabibes. Memorias del Taller Internacional TROPICO'99. Instituto de Meteorología. CITMA. Ciudad de La Habana.

Mac Arthur, J., Wilson, EO. (1967). The Theory of island biogeography. Princenton N.J.: University Press.

Pérez, A. y A. Tamarit (2002): Estado actual de las poblaciones de *Anolis quadriocellifer*. AVANCES. Vol. 4. No. 1.

Rodríguez Schettino, L. and Martínez Reyes, M. 1985. Composición por especies de la familia Iguanidae en la Península de Guanahacabibes. In Segunda y Tercera Jornadas Científicas del Instituto de Zoología y de la Sección de Zoología de la Sociedad Cubana de Ciencias Biológicas, La Habana (Instituto de Zoología, La Habana), Resúmenes, pp. 24-25.

Rodríguez Schettino, L.: The Iguanid Lizards of Cuba, pp. 104-380. University Press of Florida, Gainesville .1999.

Rodríguez Schettino, L. y K. de Queiroz (2002): *Anolis sagrei sagrei* (Cuban Brown lizard; Chino; Torito). Habitat use and thermal biology. Herpetol. Rev. 33(4):305.

Rodríguez Schettino, L. y V. Rivalta González (2003): Lista de especies. En Anfibios y Reptiles de Cuba (L. Rodríguez Schettino, ed.), UPC Print, Vasa, Finlandia, pp. 162-165.

Schwartz, A. and Garrido, O. H. 1968a. An undescribed subspecies of *Leiocephalus raviceps* Cope (Sauria: Iguanidae) from Western Cuba. Proc. Biol. Soc. Washington 81:23-30.

Schwartz, A. and Thomas, R. 1975. A check list of West Indian amphibians and reptiles. Carnegie Mus. Nat. Hist. Special Publ. 1:1-216.

Schwartz, A y R. Henderson (1991): Amphibians and Reptiles from the West Indies: Descriptions, Distributions, and Natural history. Univ. Florida Press, Gainesville.

Triantis, K. A., Mylonas, M., Lika, K. and Vardinoyannis, K. 2003. A model for the species area-habitat relationship. - Journal of Biogeography 30: 19-27.

# Beidou, el sistema de navegación Chino

Pascual Bolufer  
Físico. IQS, Univ. Ramón Llull

El 9 de octubre 2011 fue lanzado el 8º satélite de Beidou-2 con el cohete Changzheng-3A desde el cosmódromo Xichang. En 2012 serán 10, y en 2020 35.

El gigante chino no quiere ser menos que los demás. Hay el GPS americano, el Glonass ruso, el Galileo Europa y el IRNSS de la India. En fun-

cionamiento el GPS, usado por todo el mundo, y desde octubre 2011 el GLONASS ruso. China necesita Beidou-2 para entrar en el suculento mercado económico de la navegación y mejorar la seguridad nacional. Peng Guangqian, analista militar, reconoce en China Daily, que en casos de guerra confiar en sistemas de navegación ajenos es imposible.

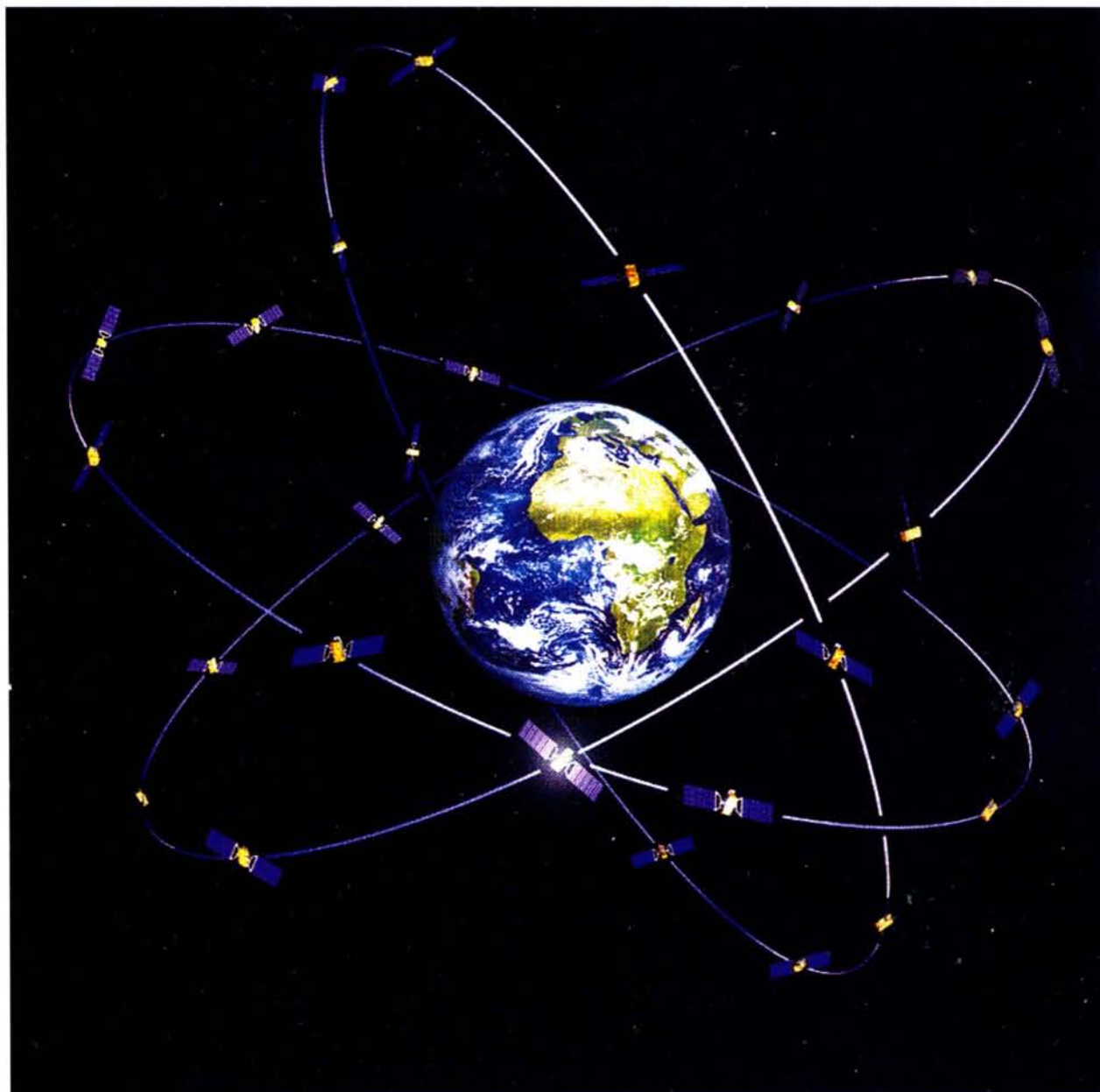


Foto 1. Sistema de 3 satélites en 3 planos orbitales, distanciados entre sí 120º en el plano ecuatorial

El Proyecto Beidou-2 se articulará a través de 5 satélites geoestacionarios y otros 30 en órbita media, que cubrirán toda la esfera terrestre. Para adquirir tecnología espacial, China participa en el Proyecto Galileo desde el 9 de octubre de 2004, cuando era vicepresidenta de la Comisión Europea Loyola de Palacio. China aportó a Galileo 200 millones de euros. Galileo cuesta 3200 millones.

Los comienzos fueron en el 2000, con Beidou-1 con 3 satélites en órbita geoestacionaria, a 35786 kms de altitud, un 4º satélite de reserva y una cobertura limitada a China y las naciones adyacentes: dos satélites lanzados en el año 2000 y un 3º en 2003. Situados a GEO 59ºE, GEO 80ºE y GEO 110.5ºE.

El ingeniero diseñador es Sun Jiadong. Beidou significa La Osa Mayor celeste, constelación que usamos para encontrar la estrella polar, en la prolongación del eje terrestre. La zona de cobertura es: Longitud 70ºE hasta 140º E, y en Latitud desde 5ºN hasta 55ºN. No abarca ni el hemisferio sur, ni las regiones polares.

Como Beidou-1 no resolvía los problemas chinos, decidieron en 2006 seguir dos pasos de ampliación: Beidou 1(año 2000, una precisión de posición de 10m, en tiempo-reloj 0.2 nanosegundos, y en precisión de velocidad de 0.2m/seg). y Beidou 2 (2020) con cobertura global del planeta. En febrero 2007 se lanzó, como reserva, el 4º, último satélite de Beidou-1. En abril 2007 se lanzó el primer satélite de Beidou-2.

## Beidou-1, cálculo de posición

Se envía una señal al satélite desde un usuario-Terminal remoto. 2- Cada satélite geoestacionario recibe la señal. 3- Cada satélite radia al Centro terrestre de Control el momento exacto en que la señal fue recibida. 4- El Centro terrestre de Control calcula la Longitud, Latitud y Altitud del Terminal remoto del usuario. 5- El Centro de Control envía a los satélites la posición 3D del Terminal remoto. 6- Los satélites comunican al usuario-Terminal remoto la posición calculada.

La frecuencia Beidou recibida en tierra se diferencia levemente de la frecuencia difundida del usuario,

debido al movimiento del satélite respecto del receptor (Efecto Doppler). El receptor- usuario puede determinar su localización a un lado u otro del satélite, y además el momento exacto de la emisión de las señales. Midiendo las distancias a los 3 satélites Beidou se puede conocer la posición del receptor terrestre, o aéreo. Con un 4º satélite de Beidou-1, que ya está en órbita, se puede conocer la altitud respecto del nivel del mar.

La precisión de la posición depende de la exactitud del tiempo recibido. Solo los relojes atómicos a bordo proveen la precisión requerida, del orden de nanosegundos.

Los relojes atómicos de los 3 satélites están sincronizados. El receptor terrestre, con su reloj interno, compara el tiempo de la señal recibida, con el momento de la emisión, de forma que mide el tiempo de vuelo, y de ahí deduce la distancia.

Cada medida de la distancia coloca al receptor en una esfera de radio, de la distancia medida. Las distancias a los 3 satélites forman esferas, que se cortan en un punto: la posición del receptor terrestre.

En el caso de un receptor móvil, un avión, el punto se va desplazando. Las señales de radio experimentan una refracción en las capas F1 y F2 de la ionosfera, un retardo.

Para anular este error, causado por la ionosfera, el usuario compara las distancias a los 3 satélites. También se emplean los filtros Kalman para la estimación de posición, tiempo y velocidad.

Las señales Beidou son vulnerables a las interferencias, debido a su potencia relativamente baja.



Foto 2. Un satélite de navegación en órbita baja con 8 paneles solares (Sistema Galileo)

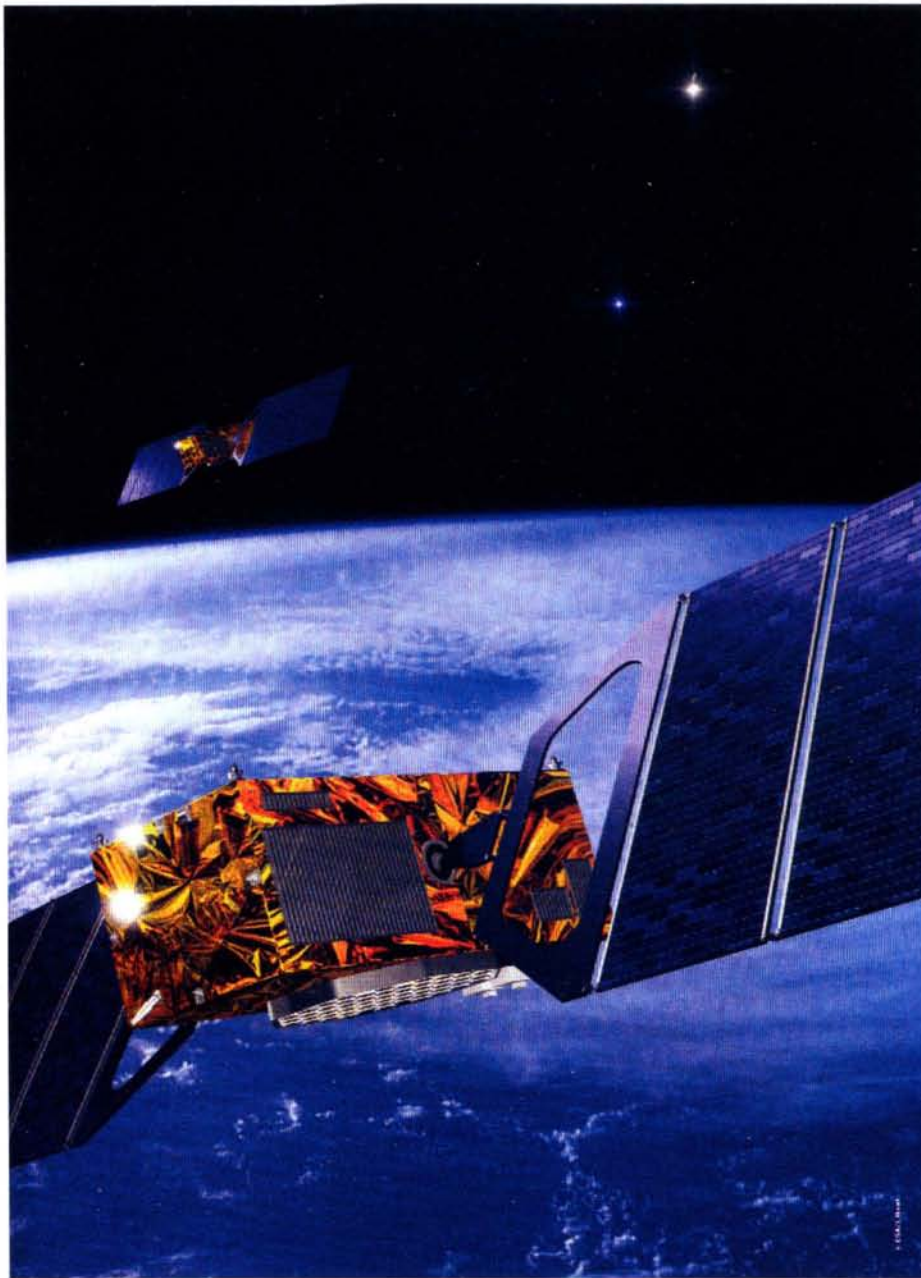


Foto 3. Satélite Galileo en órbita baja

La precisión de la medición (distancia) depende de la exactitud de las señales de tiempo: (1) Tiempo en que el mensaje fue transmitido. (2) información exacta orbital, el tiempo de efemérides, y (3) el buen funcionamiento de la constelación Beidou. Los 3 satélites visibles forman un triángulo, que permite conocer la posición en el mapa.

Pero un pequeño error del reloj atómico multiplicado por la enorme velocidad de la luz, la velocidad en que se propagan las señales del satélite, induce a un error considerable de la posición. Por ej. un microsegundo corresponde a un error de 300m. La solución es un reloj atómico de muy alto precio.

Pero los fabricantes desean crear receptores chinos de navegación que sean económicos. Una opción válida es estudiar cómo interseccionan las varias esferas operativas de Beidou.

Por lo visto la intersección de 3 esferas es fácil. Si se añade un 4º satélite, como ocurre en Beidou-2, esta 4ª esfera no coincidirá con el punto de intersección de las 3 esferas, esa distancia del 4º satélite se puede usar, para computar el error del reloj. El usuario no necesita un reloj de alto precio. Cada satélite al emitir, crea una esfera, la intersección de las 3 esferas de los satélites señalan la posición.

### **Beidou-1: 3 segmentos: Espacial, Control y Usuario**

El segmento espacial consta de 3 planos-órbita circular, inclinados 55º respecto del ecuador terrestre, espaciados, en ascensión recta, 151.5º en el plano ecuatorial, y un 4º satélite de reserva. No cubre la zona de gran latitud y polar, pues los satélites allí no están a la vista, se hallan bajo el horizonte. La altitud de los satélites es de 35786 kms. Los 3 satélites no están a la vista toda jornada.

El segmento de Control es un edificio en China meridional, más cercano al Ecuador, para ordenadores y antenas, en donde el Jefe de Servicio y su personal vigilan el correcto funcionamiento de los parámetros de las órbitas y de los relojes de Beidou-1. Los 3 relojes deben estar sincronizados, con diferencias no mayores de unos nanosegundos.

El segmento de usuarios, civiles y militares, centenares de millares, se extiende por toda China, equipados con receptores fijos y portátiles, sinto-



Foto 4. Piloto de avión con dos tabletas de posición GPS

nizados con las frecuencias que usa Beidou-1, y equipados con relojes muy estables, con oscilador de cristal. Los 3 satélites emiten con la misma frecuencia portadora, pero codificadas para cada satélite; al desmodular se puede identificar de qué satélite proceden. La señal del satélite ha viajado a la velocidad de la luz durante un tiempo  $T$ , y conocemos la posición del satélite, el usuario se encuentra en la superficie de una esfera centrada en la posición del satélite. El usuario se halla en la intersección, o cerca, de las esferas de los dos satélites restantes.

Cuando la intersección de las 3 esferas no es un punto, sino un pequeño triángulo, la causa será un fallo en las señales de tiempo, y se efectúa la corrección. La refracción ionosférica afecta de un modo desigual a los 3 satélites, y genera retrasos, pseudodistancias. Si en vez de la intersección de 3 esferas, utilizamos más satélites, la precisión aumentará.

Esto ha motivado el Proyecto Beidou-2 con 30 satélites en órbita media y 5 geoestacionarios, con al menos 6 satélites siempre a la vista. Beidou-2 usará 4 frecuencias entre 1.268 GHz y 1.561 GHz, por tanto el retraso causado por la refracción ionosférica será diferente en cada uno de los 4 ca-

nales, lo cual permite calcular la distancia real satélites - usuario.

La pantalla del ordenador indica en el mapa la posición. Si el usuario es móvil, también conoce sus cambios de posición. El receptor posee 3 canales, para sintonizar con los 3 satélites.

La precisión lograda, según la la Agencia Xinhua en 2007, es de 50 cms, mejor que la del GPS, pero si usamos terminales calibrados, la precisión es de unos 15m. Una flota de vehículos puede tener un receptor Beidou en cada uno de ellos, y desde un centro de control es posible conocer la ubicación de cada vehículo en un momento dado.

En la edición de nuevos mapas, Beidou se ha hecho indispensable. El navegante marino ya no necesita observar las estrellas, o el faro marino, le basta Beidou, con él conoce su velocidad y su rumbo.

## El reloj atómico

Es el componente más importante de Beidou-1, con un error de solo 1 nanosegundo/día. Utiliza una frecuencia de resonancia atómica, para alimentar a su contador de nanosegundos, y cumple con el TAI, (Tiempo Atómico Internacional). Del TAI surge otra escala de tiempo, el UTC, Tiempo Universal Coordinado y el TU, Tiempo Universal para las observaciones astronómicas. Su precisión se basa en el Reloj Atómico de Cesio, logrado en 1955.

Un segundo corresponde a 9.192.631.770 ciclos de la radiación asociada a la transición hiperfina desde el estado de reposo del isótopo de cesio-133. El contador debe contar esos ciclos. La precisión equivale al error de 1 segundo en 30.000 años. Este reloj se basa en la óptica, en vez de las transiciones de las microondas.

El usuario chino necesita un reloj relativamente barato. Es posible. Existe el radio-reloj, que se ajusta automáticamente a la hora atómica por medio de señales de radio oficiales, recibidas por un receptor de radio. Se venden radio-relojes erróneamente como Relojes atómicos. Las señales de



Foto 5. Tabletas de posición GPS

radio que reciben provienen de relojes atómicos propiamente dichos, son un equipo relativamente barato.

Las emisiones oficiales de la hora son muy precisas, pero hay que tener en cuenta el retraso en la señal de aproximadamente 1 milisegundo por cada 300km de distancia entre el transmisor y el receptor. Hoy día hay muy pocos países en el mundo donde la hora precisa, procedente de relojes atómicos no esté disponible. El reloj atómico se usa para generar frecuencias standard del Loran-C, transmisores Alfa de navegación y para la interferometría de larga línea de base en radioastronomía. Por supuesto, los demás sistemas de navegación: GPS, Glonass, Galileo, etc, se basan también en el tiempo atómico. Para el Beidou-2 es posible substituir al reloj de cesio por el de aluminio, de mayor precisión.

Pero en el Sistema Internacional de Unidades se sigue contando únicamente con el reloj de cesio, a la hora de definir el Segundo. Interesa recordar que el tiempo GPS y sus relojes atómicos no concuerdan con la rotación terrestre ni con el Tiempo Universal Coordinado. En octubre 2001 la diferencia GPS con el Tiempo Atómico Internacional es de 19 segundos.

## Beidou-2

Evitará las limitaciones de Beidou-1, no es una extensión del Beidou-1, con cobertura global, 27 satélites en órbita media (Altitud 21500 km), 3 en órbita geoestacionaria inclinada, 55°, y 5 geoestacionarios. Con 2 Servicios, el libre para uso civil

(precisión 10m) y el de alta precisión militar. La sincronización de relojes será de 10ns. La precisión al medir velocidades será de 0.2m/s. Usará 4 frecuencias, para mitigar errores ionosféricos de refracción: 1561 GHz, 1589 GHz, 1207 GHz y 1268 GHz. A finales de 2012 Beidou-2 tendrá ya 10 satélites en órbita. En 2020 tiene que estar terminado. Los satélites de navegación son carísimos, pero sus aplicaciones compensan. Así lo entienden todos los países.

## La noción de tiempo

Los satélites de navegación han cambiado nuestra costumbre histórica de medir el tiempo: la duración del día terrestre, en función de la posición del sol y las estrellas. Si la referencia es el sol, el mismo meridiano pasa frente a nuestra estrella cada 24 horas. Si tomamos como referencia las estrellas, el día dura 23 h, 56min.y 4 seg.

Los 3 minutos y 56 segundos se deben a que en ese plazo de tiempo la Tierra ha avanzado en su órbita, y debe girar algo más que un día sideral, para completar un día solar. Ahora dependemos de la constancia del reloj de Cesio, y hemos abandonado al Sol y las estrellas. Si la Tierra oscila en su velocidad de rotación ya no tiene interés.

## Referencias

David,G. Beidou satellite navigation system to cover whole world in 2020. Eng. Chinamill. 2010.  
Hamid,M. Global Positioning System. Halverson 2010.

Lambeck,K .The Earth's variable rotation. University Press 1980.

Martínez,L. Cartografía. Dossat 2000.

Riverhead,K. A guide to Global Positioning System. Timeline,2010.

Russell,M. The precision revolution. Warfare 2010.

Sullivan D.B. Time and Frecuency measurement. IEEE, 2001.

# 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: pagina de inicio-pagina 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. **Irà 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)

# La elaboración del mapa de protección frente a la contaminación lumínica en Cataluña

## *The elaboration of the map against the light pollution in Catalonia*

Carme Olivella Pedregal

Dirección general de Calidad Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente.

Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalidad de Cataluña. España

### Resumen

La contaminación lumínica, consistente en la iluminación innecesaria del cielo nocturno, ha sido uno de los últimos vectores en incorporarse a la protección del medio ambiente. En Cataluña, una de las medidas previstas fue la elaboración de un mapa de protección frente a la contaminación lumínica. Todos los municipios de Cataluña recibieron dos copias en papel de su mapa de zonificación. Además, podían solicitar la propuesta en formato digital. Se clasificaron los municipios en urbanos y rurales de acuerdo a la población, y se estudió el tipo de respuesta. Casi la mitad de municipios urbanos presentaron una modificación, siendo muy menor el porcentaje de municipios rurales. La mayor parte de las modificaciones utilizaron el papel. La solicitud de la propuesta en formato digital no favoreció la presentación de modificaciones en este formato. En los municipios urbanos el formato CAD (diseño asistido por ordenador fue el más utilizado), mientras que en los rurales hubo más diversidad. El formato SIG (sistema de información geográfica) solo fue el más utilizado en los municipios rurales que habían solicitado la propuesta en formato digital.

**Palabras clave:** contaminación lumínica, formato digital, SIG, CAD, mapa, zonificación

### Abstract

*The light pollution, consisting of the unnecessary lighting of the night sky, has been one of the last vectors in joining to the protection of the environment. In Catalonia, one of the foreseen measures was the production of a protection map against to the light pollution. All the municipalities of Catalonia*

*received two copies in paper of their zoning. In addition, they could request the zoning map in digital format. The municipalities were qualified in urban and rural according to their population, and the type of response was studied. Almost the half of urban municipalities presented a modification. This percentage decreased dramatically in rural municipalities. Most of the modifications used paper. The request of the zoning map in digital format did not facilitate the presentation of modifications in this format. In the urban municipalities the format CAD (computer-aided design was most used), whereas in the rural ones there was more diversity. The format SIG (system of geographical information) only was the most used format in the rural municipalities had requested the zoning map in digital format.*

**Keywords:** light pollution, digital format, GIS, CAD, zoning

### Introducción

En el campo de la protección del medio ambiente, el vector contaminación lumínica ha sido uno de los últimos en incorporarse. Las consecuencias de la iluminación nocturna en la vida de los animales y plantas han sido ampliamente descritas en la bibliografía (Rich, C. et Longcore, T., 2006). La luz nocturna hace que se produzcan cambios en los ritmos biológicos de los animales y plantas que afectan tanto al crecimiento como a su reproducción. Por otra parte, enviar luz al cielo nocturno iluminándolo innecesariamente es un derroche energético injustificable. Las medidas técnicas y legales que se toman para disminuir la contaminación lumínica son también medidas de ahorro energético.

En el estado español se han aprobado diversas normativas en relación a la contaminación lumí-



nica, tanto por parte del Gobierno Central, como de los parlamentos autonómicos (Real Decreto 1890/2008, Ley 6/2001 de Cataluña, Ley 3/2005 de las Islas Baleares, Ley 10/2005 de Navarra).

En el caso de Cataluña, desde 1996 su parlamento se ha pronunciado diversas veces sobre la necesidad de llevar a cabo medidas contra la contaminación lumínica. Finalmente, en el año 2001 aprobó la ley de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, y en el 2005 el reglamento que la desarrolla.

## La elaboración de la propuesta de mapa

Entre las medidas que se incluyen en la ley catalana se establece la división de Cataluña en 4 zonas de protección según su vulnerabilidad a la iluminación del cielo nocturno:

- Zona E1 de máxima protección, correspondiente al ámbito del Plan de Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000

- Zona E2 de protección alta correspondiente al resto de suelo no urbanizable

- Zona E3 de protección moderada correspondiente al suelo urbano o urbanizable

- Zona E4, de protección menor, en aquellas áreas donde exista una actividad nocturna importante ya sea comercial, de ocio o industrial. Aquí también se incluyen los grandes viales urbanos.

Se asigna al Departamento de Medio Ambiente y Vivienda la responsabilidad de elaborar y enviar a cada municipio una propuesta de mapa de protección frente a la contaminación lumínica. A lo largo del año 2006 todos los municipios recibieron su propuesta de zonificación, y disponían de un plazo de 2 años para la presentación de modificaciones.

La cartografía utilizada para la elaboración del mapa fue la siguiente.

1. Plan de Espacios de Interés Natural de Cataluña escala 1:50.000. Fecha de actualización 12/2003.

2. Espacios Naturales de Protección Especial de Cataluña escala 1:50.000. Fecha de actualización 12/2003

3. Red Natura 2000 escala 1:50.000. Fecha de actualización 7/2004

4. Consorcio del Observatorio Astronómico del Montsec escala 1:50.000. Fecha de actualización 12/2005

5. Planeamiento urbanístico de Cataluña, escala 1:5.000 con las siguientes fechas de actualización:

- i. Barcelona, 2001

- ii. Lérida, 11/2001

- iii. Gerona, 12/2002

- iv. Campo de Tarragona, 5/2003

- v. Tierras del Ebro, 7/2003

El sistema de referencia utilizado fue el European Datum 1950 con el elipsoide de Hayford de 1924 y el Datum de Postdam (Torre de Helmert). La exactitud posicional x, y es de  $\pm 10$  m (3).

El 19 de diciembre de 2007, el consejero de Medio Ambiente y Vivienda aprobó una primera versión del mapa.

Durante los años 2008 y 2009 se continuó recibiendo propuestas de modificación, aunque en un número muy inferior a los años anteriores. Con todas ellas se ha elaborado una segunda versión del mapa que se encuentra disponible para su consulta on-line (Web del Departamento de Territorio y Sostenibilidad, que es quien en la actualidad tiene las competencias de Medio Ambiente) y desde donde se puede descargar la zonificación

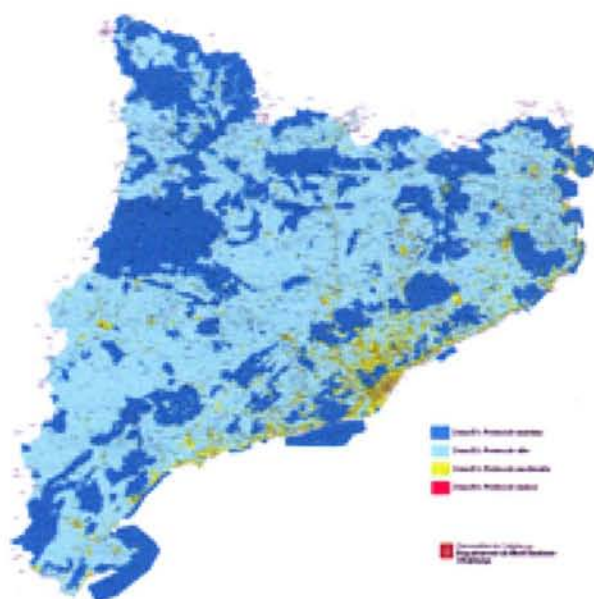


Figura 1. Mapa de la protección frente a la contaminación lumínica de Cataluña

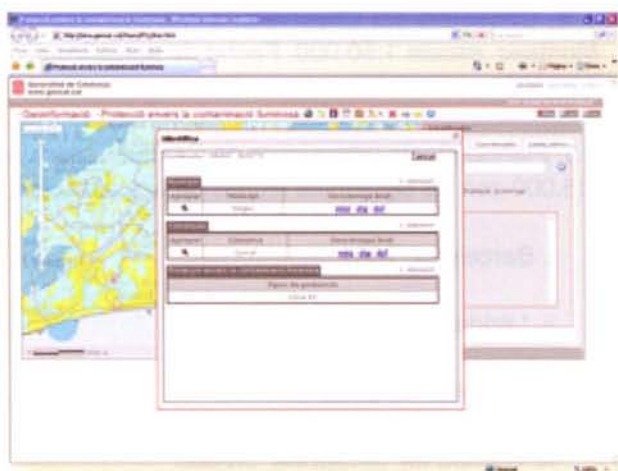


Figura 2. Acceso a la visualización y descarga de los ficheros de zonificación municipales y comarcales del mapa de protección frente a la contaminación lumínica

de cada municipio en tres formatos diferentes: \*mmz (Miramon), \*dxf (archivo de intercambio de CAD) y \*shp (ArcGis).

Propuestas Enviadas	946	%
Respuestas Recibidas	346	37(*)
Presentación Modificación	199	57(**)
Solamente Solicitud Propuesta FD	101	30(**)
Envío Aceptación Explícita	46	13(**)
Total de solicitudes en FD	180	

Tabla 1. Relación de respuestas de los municipios al envío de la propuesta de zonificación municipal frente a la contaminación lumínica.

(\*) Porcentaje obtenido sobre el total de propuestas enviadas  
 (\*\*) Porcentaje obtenido sobre el total de respuestas recibidas

## La participación municipal

Todos los municipios de Cataluña recibieron dos copias del mapa de zonificación frente a la contaminación lumínica de su municipio. El 36% de ellos se interesaron por la propuesta de mapa, ya sea presentando modificaciones al mismo, ya sea solicitando la propuesta de mapa en formato digital (FD) o enviando un documento expresando la aceptación de la propuesta.

También hubo municipios que solicitaron la propuesta en formato digital y después presentaron una propuesta de formato digital., aunque la mayoría de municipios que solicitaron la propuesta en formato digital (180) no presentaron ninguna propuesta de modificación (101).

Municipios	No.	Propuesta	% (*)
Total	946	199	21%
Urbanos	80	39	49%
Rurales	866	160	18%

Tabla 2. Formatos utilizados por los municipios en la presentación de modificaciones.  
 (\*) Porcentajes sobre el número de propuestas enviadas  
 (\*\*) Porcentaje sobre el número de modificaciones recibidas

Formato Modificación			
Papel	%	Digital	% (**)
155	81%	44	19%
28	72%	11	28%
127	79%	33	20%

Muchas de las modificaciones presentadas (171) hacían referencia a cambios en la clasificación del suelo realizadas con posterioridad a la fecha de actualización de las bases cartográficas del planeamiento utilizadas y fueron aceptadas. El resto (28) fueron denegadas porque se referían a la delimitación de zonas E3 de protección moderada en suelos no urbanizables o de zonas E4 de protección menor en áreas cuyo uso nocturno no lo justificaba suficientemente.

También se ofreció a los ayuntamientos la posibilidad de recibir la propuesta de mapa en formato digital, conjuntamente con el acceso gratuito a al sistema de información geográfica Miramon©.

La mayoría de los municipios utilizaron para la presentación de sus propuestas de modificación cartografía propia en papel o indicaciones gráficas de las modificaciones en una de las dos copias del mapa que se les envió, tal y como se puede ver en la tabla 2. Tan sólo un 19% utilizaron el formato digital.

## La utilización del formato digital en las modificaciones

Se quiso saber si la presentación de propuestas de modificación y la utilización del formato digital estaban relacionadas con el tamaño del municipio. Para ello se clasificó a los municipios en rurales o urbanos, estableciendo como valor límite el de 15.000 habitantes, de acuerdo con el estudio hecho por la Fundació del Món Rural (GEM, 2007), que utilizó una metodología propia inspirada en l'Institut Nacional de l'Stadistique i des Études Économiques (INSEE), y los datos de movilidad para el trabajo del año 2001, elaboradas por el Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)

En la tabla 2, se puede ver cómo la presentación de una modificación es superior en los municipios urbanos, que en los rurales. La explicación podría estar en que los municipios pequeños modifican con menos frecuencia su planeamiento urbanístico.

Respecto de los formatos digitales utilizados por los municipios para la presentación de propuestas, en la tabla 3 se puede ver que los formatos de diseño asistido por ordenador (CAD) fueron los más utilizados. Los formatos de sistemas de información geográfica (SIG) fueron mucho más utilizados en los municipios rurales que en los urbanos. Se podría suponer que la implantación tan mayoritaria que tienen los formatos CAD en las grandes oficinas técnicas dificulta la adopción de otros formatos más adecuados para la gestión ambiental como los SIG. El formato PDF fue el más utilizado en los municipios rurales. El formato WEB, consistente en la remisión a la información cartográfica publicada en Internet por el municipio, sólo fue utilizado en un número muy bajo por municipios rurales.

Otro aspecto que se quiso analizar fue si la solicitud de la propuesta en formato digital favorecería su utilización por parte de los municipios para la

presentación de las propuestas de modificación. En la comparación de las tablas 3 y 4 se puede ver cómo menos de la mitad de los municipios que solicitaron la propuesta en formato digital, la utilizaron posteriormente para la presentación de la modificación. La mayoría de los municipios que habían solicitado la propuesta en formato digital no presentaron ninguna propuesta y, los que lo hicieron utilizaron mayoritariamente el formato papel.

Respecto del tipo de formato digital elegido por los municipios que solicitaron la propuesta en formato digital y posteriormente presentaron su propuesta también en formato digital, el formato CAD continuó siendo el mayoritario, aunque porcentualmente el uso del formato SIG se incrementó sensiblemente. Este incremento es mayor en los municipios rurales donde llega a ser el mayoritario, pese a la diversidad de formatos utilizados. El formato PDF fue mucho más utilizado por los municipios rurales que los urbanos y el formato WEB no fue utilizado por ninguno de ellos. El uso tan mayoritario del formato CAD por parte de los municipios urbanos puede estar relacionado, tal y como ya se ha dicho antes, con su amplia implantación en las oficinas técnicas de los grandes municipios grandes, de tal manera que se hace muy difícil implantar un formato nuevo, aunque éste sea más adecuado para las propuestas de zonificación territorial.

## Conclusiones

El proceso de elaboración del mapa de protección frente a la contaminación lumínica, que comprende un periodo desde el año 2006 a 2009, interesó al 36% de los municipios catalanes. La mayoría de ellos (57%) presentaron propuestas de modificación, siendo más importante el porcentaje en los municipios urbanos (49%) que en los rurales (18%).

Se ofreció a los municipios la posibilidad de solicitar la propuesta de mapa en formato digital. Un porcentaje importante de ellos (30%) la solicitaron y no formularon ninguna propuesta de modificación.

Los que presentaron propuestas de modificación utilizaron mayorita-

Municipios	No.	Formato Digital Modificación			
		SIG	CAD	PDF	WEB
Total	44	10	18	14	2
Urbanos	11	2	8	1	0
Rurales	33	8	10	13	2

Tabla 3. Formatos digitales utilizados por los municipios para la presentación de modificaciones

Municipios	Present.	Formato Modif.		Formato Digital Modificación			
		Papel	Digital	SIG	CAD	PDF	WEB
Total	66	44	22	7	9	6	0
Urbanos	17	11	6	1	4	1	0
Rurales	49	33	16	6	5	5	0

Tabla 4. Formatos utilizados por los municipios que habían solicitado la propuesta en formato digital para la presentación de modificaciones



Figura 3. Un ejemplo de mapa de zonificación municipal, la ciudad de Barcelona, dónde se delimitan las cuatro zonas de protección frente a la contaminación lumínica

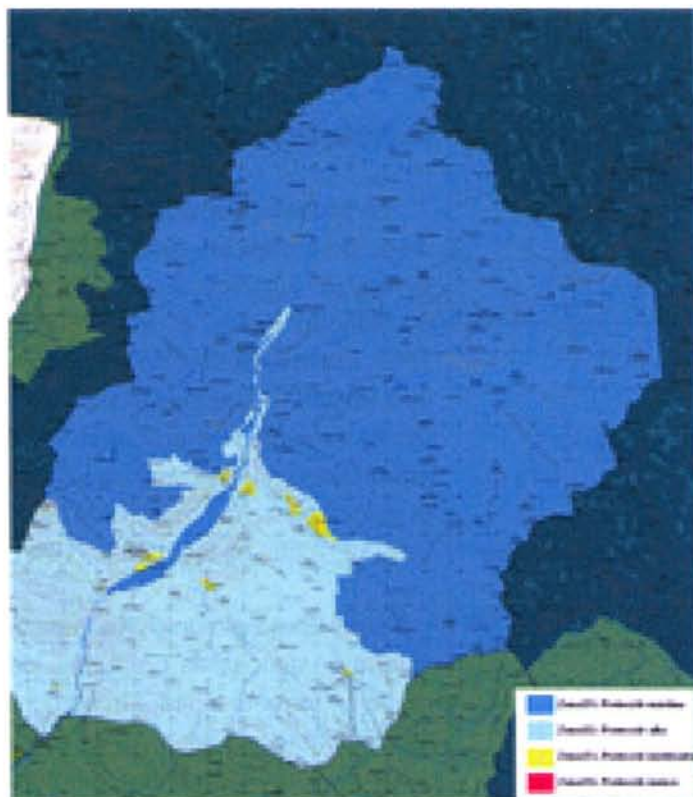


Figura 4. Un ejemplo de mapa de zonificación frente a la contaminación lumínica de un municipio rural, la Pobla de Segur junto al Parque Nacional de Aigües Tortes i Sant Maurici, zona E1 de protección máxima. Se observan zonas discontinuas E3 de protección moderada que se corresponden con los diferentes núcleos de población. No hay ninguna zona E4 de protección menor

riamente el formato papel, siendo el porcentaje mayor en los municipios rurales que urbanos. Los formatos digitales utilizados por los municipios fueron variados, siendo el más utilizado el formato CAD, sobretudo por los municipios urbanos, seguido del PDF, el más utilizado por los rurales.

La posibilidad de recibir la propuesta en formato digital no favoreció la utilización de éste por los municipios. Sin embargo su utilización fue superior en los municipios rurales que lo habían solicitado que en los urbanos. Los formatos digitales utilizados en la presentación de las propuestas de modificación fueron variados, aunque el formato SIG en los municipios rurales fue el mayoritario.

## Referencias

1. Rich, C. et Longcore, T., (editors) 2006: Ecological Consequences of Artificial Night Lighting.. Island Press. Washington.458 pp
2. Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno (Cataluña)
3. Ley 3/2005 de 20 de abril, de protección del medio nocturno de las Islas Baleares
4. Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno. (Navarra)
5. Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07
6. <http://www20.gencat.cat/portal/site/ptop>
7. Gabinet d'Estudis Multidisciplinars, 2007: Zones rurals en declivi: detecció, diagnòstic i planejaments per al desenvolupament. Fundació del Món Rural de Catalunya. Treballs i documentació.
8. Miramon (SIG): [www.creaf.uab.es/miramon/](http://www.creaf.uab.es/miramon/)

# Aplicación de SIGS para la evaluación de la erosión y degradación específica durante un evento anómalo de precipitación del día 19 al 23 de enero de 2004 en la cuenca media del río Paraíba – noreste del Brasil

## *GIS analysis for erosion and land degradation assessment during an anomalous rainfall event occurred in January the 19th and the 23rd of 2004 in the middle Paraíba river basin*

Valéria Raquel Porto Lima  
Becaria MAE. Universidad de Sevilla. España

Rafael Cámara-Artigas  
Profo Titular de la Universidad de Sevilla. España

---

### Resumen

El objetivo del artículo es evaluar con el apoyo de técnicas de Sistemas de Información Geográfica – SIG, la degradación de suelo por erosión laminar y regueros durante el evento de precipitación anómala que tuvo lugar entre los días 19 a 23 de Enero de 2004, en el tramo medio de la cuenca de río Paraíba, ubicado en el semiárido del Noreste de Brasil.

Para estudiar los procesos erosivos existen métodos directos, basados en la investigación en campo con la recogida de material erosionado para análisis de laboratorio, e indirectos con búsqueda bibliográfica y modelos numéricos para el análisis del grado de erosión del suelo.

Adoptamos como metodología para investigar la erosión en la cuenca media del río Paraíba el modelo numérico desarrollado por Wischmeier y Smith (1965, 1978), la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) y Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada (MUSLE), apoyado en un modelo digital de terreno de 90x90 metros, con el cual es posible prospectar y evaluar el volumen de pérdida del suelo exportado fuera de la cuenca. La aplicación de este modelo con los SIGS Idrisi, Kilimanjaro y ArcGIS 9.3, propició la elaboración de una cartografía temática de las pérdidas de suelo para la gestión del territorio.

**Palabras Clave:** Erosión, Sistema Información Geográfica, Cuenca hidrográfica, USLE, MUSLE.

### Abstract

*The aim of this paper is to evaluate, by a Geographic Information system- GIS, soil degradation due to laminar erosion and rills during the anomalous rainfall event between January the 19th and the 23rd of 2004. This occurred in the mid Paraíba river basin in the semi-arid northeastern Brazil.*

*Both direct and indirect methods can be applied to study the erosion processes being the former based on field research and collecting of eroded material for laboratory analysis and the latter, mainly literature search and numerical models.*

*Our approach is based on the model developed by Wischmeier and Smith (1965, 1978) Equation Universal Soil Loss (USLE) and Equation Universal Soil Loss property (MUSLE), supported by a DTM of 90x90 meters, which allow to prospect and evaluate the volume of soil loss exported from the middle basin of Paraíba river. This model ran on GIS Idrisi, Kilimanjaro and ArcGIS 9.3, led to the development of thematic mapping of soil loss able to be applied on land management.*

**Keywords:** erosion, Geographic Information System, basin, USLE (Universal Soil Loss Equation), MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation).

## Introducción

En enero de 2004, los vientos alisios del noreste fueron más intensos que los vientos alisios del sudeste, proyectando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) al sector norte del noreste de Brasil. Tuvo lugar también un transporte anómalo de la humedad procedente de la Amazonia y el Océano Atlántico en la baja troposfera. Esta situación termodinámica, permitió una intensificación en la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), permitiendo una mayor penetración de los frentes fríos provenientes del sudeste de Brasil para permanecer más al norte del noreste de Brasil (vaguada en altura de aire frío). La gran cuantía de las lluvias tuvo como consecuencia la destrucción de carreteras, embalses, puentes, tierras de cultivo, y activó focos de erosión, causando el agravamiento de la degradación ambiental en el Estado del Paraíba en general y en la cuenca del Río Paraíba en particular.

Los procesos erosivos observados en la cuenca media del río Paraíba, fueron acelerados por las precipitaciones anómalas ocurridas entre los días 19 hasta 23 de enero de 2004, donde la intensidad de las precipitaciones, como demostraron las investigaciones hechas por Alves (2006), Araujo (2009), y Brito y Braga (2005), entre otros, tuvieron un comportamiento climatológico intenso y raro en esta región de clima semiárido.

La cuenca del río Paraíba se encuentra situada entre las latitudes  $6^{\circ}51'31''$  y  $8^{\circ}26'21''$ S y las longitudes  $34^{\circ}48'35''$  y  $37^{\circ}2'15''$ W, con una superficie de 20.071,83 Km<sup>2</sup>. La cuenca media tiene un área de 3.760.65 Km<sup>2</sup>, limitada al Este por una Depresión Periférica, presenta un clima semiárido con precipitaciones medias anuales entre 350 e 500 mm.

El objetivo del artículo es evaluar con el apoyo de técnicas de Sistemas de Información Geográfica – SIG, la degradación de suelo por erosión laminar y regueros durante el evento de precipitación anómala entre los días 19 a 23 de Enero de 2004.

Para la realización de este estudio hemos seguido las aportaciones de aplicación de SIGs de la USLE y MUSLE J. I. Fadón (1991, 1992) en las cuencas de los ríos Sabaneta y Nigua que se desarrollaron como una evaluación de estas cuencas en el marco de sendos proyectos de Cooperación Técnica al Desarrollo de la AECl en República Dominicana entre los años 1991 y 1994.; y de la

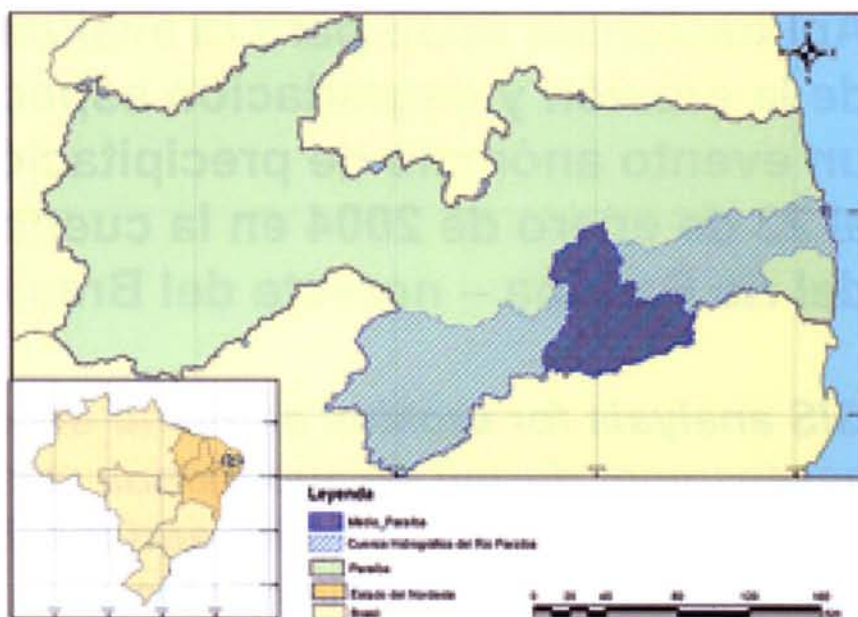


Figura 1: mapa de localización de la Cuenca Hidrográfica del Río Paraíba. Indicación en destaque del tramo medio del río Paraíba

USLE de M. Rodríguez (2007) a la Vega de Granada en España.

### Procedimientos metodológicos

Las fuentes cartográficas e imágenes de satélite, fueron recopiladas del banco de datos de informaciones geográficas de la Agencia Executiva de Gestión del Agua del Estado de Paraíba - AESA y del Servicio Geológico do Brasil – CPRM.

Como fuentes cartográficas básicas se ha utilizado:

\_ Modelo Digital de Elevaciones (MDE) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Figura 2) obtenida en <http://www.landcover.org/index.shtml>;

\_ Imagen del satélite Landsat 5, sensor TM, composición de bandas da imagen (R-4, G-3, B-2);

\_ Mapa digitalizado de unidades geológicas;

\_ Mapa digitalizado de uso de suelos;

\_ Mapa digitalizado de suelos.

A partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), fueron elaboradas las capas raster que representan y agrupan distintas características. El primer paso para trabajar con el MDE de SRTM de la cuenca media del río Paraíba, fue la conversión del sistema de coordenadas geográficas de WGS84 a UTM Sudamerican Datum 1969 de la zona 24S. Las imágenes en formato raster y vectorial, han sido trabajadas en un SIG en el software ArcGIS 9.2, y aplicando el módulo ArcHydro 1.3 para el análisis hidrográfico y hidrológico, para la clasificación de la red de drenaje y jerárquica de la cuenca y

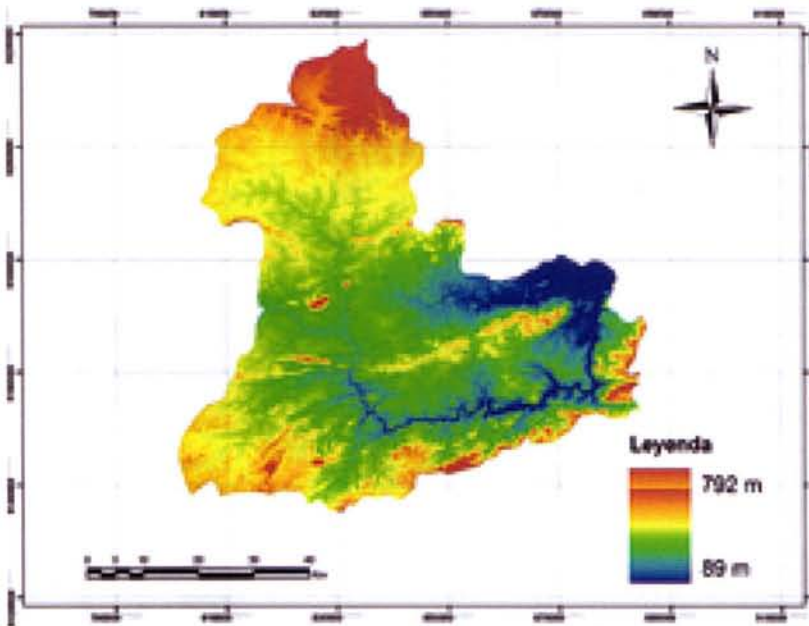


Figura 2: Mapa de Modelo Digital de Elevaciones

análisis de la variación espacial de la precipitación. Se ha hecho el uso del software Idrisi Kilimanjaro para las operaciones de cálculo de algoritmos matemáticos y sobreposición entre las capas obtenidas

Para el análisis de las pérdidas de suelos por erosión laminar y de regueros fueron utilizadas la U.S.L.E. y M.U.S.L.E, a pesar de presentar limitaciones, tiene la ventaja de ser una ecuación muy conocida y estudiada, permitiendo la medición de la pérdida de suelos. La expresión abajo representa su aplicación (Wischmeir, 1978):

$$A = R.K.L.S.C.P \text{ (Toneladas/ha. año) (USLE)}$$

$$Y = 11.8 (Q qp)^{0.56} K L S C P \text{ (Toneladas) (MUSLE)}$$

### Obtención de cartografía de aplicación de la U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation)

**Factor R:** El índice de erosión pluvial expresa la capacidad que la lluvia tiene en erosionar una determinada área durante un periodo de tiempo. El factor puede ser calculado por la expresión matemática conocida como Índice Modificado de Fournier –IMF (Fournier, 1960). La adaptación de este índice hecha por Arnoldus (1978), considera no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la precipitación de los demás meses del año.

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_i}$$

Donde:  $P_i^2$ , es la precipitación mensual; y  $P_t$ , es la precipitación anual.

Para calcular el factor R, fueron recopilados datos de las precipitaciones medias mensuales entre los años 2003 a 2010 de las 7 estaciones meteorológicas pluviométricas localizadas en la cuenca media. Los datos de lluvia fueron interpolados mediante IDW (power 2) utilizando el módulo de geostatística de Arcgis 9.2

**Factor K (T\*ha/MJ):** La erosionalidad evalúa la resistencia del suelo al arranque de partículas y su transporte, determinando las tasas de erosión. Este factor puede ser obtenido a partir de una ecuación de regresión que relaciona K con

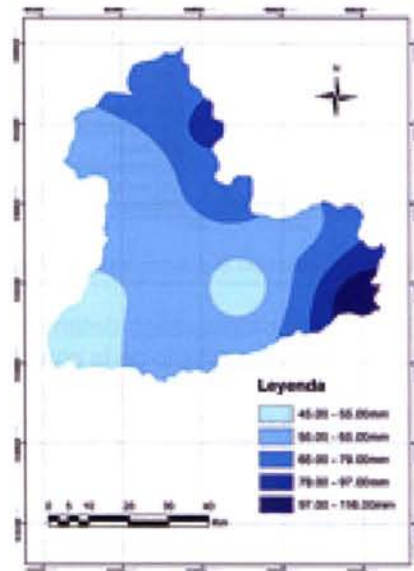


Figura 3: Factor R de la U.S.L.E, para la cuenca media del río Paraíba

parámetros que determinan algunas propiedades físicas del suelo como textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad usando la ecuación de erodabilidad de suelo de Wischmeier & Smith (1978), con la siguiente ecuación:

$$K = 10^{-6} \cdot 2.71 \cdot M^{1.4} (12 - a) + 4.2(b-2) + 3.23(c-3)$$

Hemos utilizado en este trabajo los valores obtenidos basados en investigaciones de campo realizadas por Marques (1997 et al), y Silva (1981) expresadas en la tabla 1 y a partir del mapa de suelos (Figura 4) de la cuenca hemos obtenido el mapa de K para ésta (Figura 5).

Valores de K	
<b>Suelos Pardos Litólicos</b>	<b>0,25</b>
<b>Suelos Pardos no Cálcidos</b>	<b>0,30</b>
<b>Suelos Litossolos</b>	<b>0,35</b>
<b>Suelos Podzolicos</b>	<b>0,20</b>
<b>Suelos Planossolos</b>	<b>0,39</b>
<b>Suelos Alomórficos</b>	<b>0,28</b>

Tabla 1: clasificación de los valores de K para los suelos de la cuenca media de río Paraíba (Marques, 1997 et al.) (Silva, 1981)

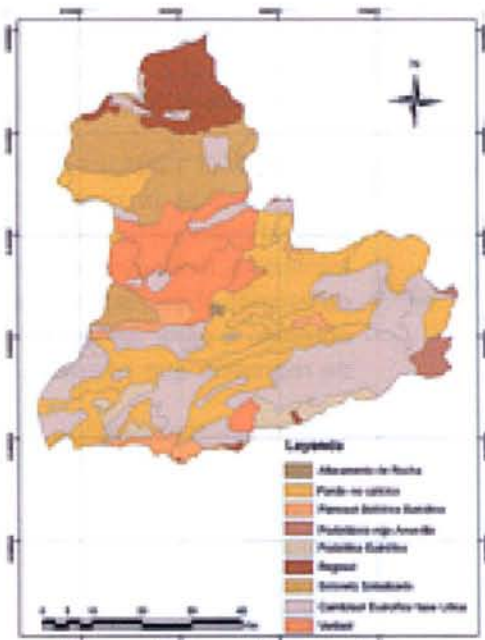


Figura 4: Mapa de suelos de la cuenca media del río Paraíba

**Factor LS:** el factor topográfico determina la intensidad de la erosión resultado de la composición de grado de inclinación y la longitud de la pendiente. El factor de la pendiente S representa la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo obtenidas en un campo de longitud de pendiente del terreno que es el factor L. Para autores como Entrena (2007), el factor LS es considerado el más importante porque afecta más a la variación de la erosión en bruto que cualquier otro factor, excepto por el factor del manejo del suelo. Para determinación del factor LS, se ha aplicado la ecuación:

$$LS = \left( \frac{L}{22.13} \right)^2 (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2)$$

L=Longitud de ladera expresada en metros

S= pendiente del terreno expresada en forma de tanto por ciento

m=constante que depende de K de la pendiente y que presenta la siguiente distribución;

$$m = \begin{cases} 0.2 & \text{si } S > 1\% \\ 0.3 & \text{si } 1\% \leq S \leq 3\% \\ 0.4 & \text{si } 3\% < S < 5\% \\ 0.5 & \text{si } S \geq 5\% \end{cases}$$

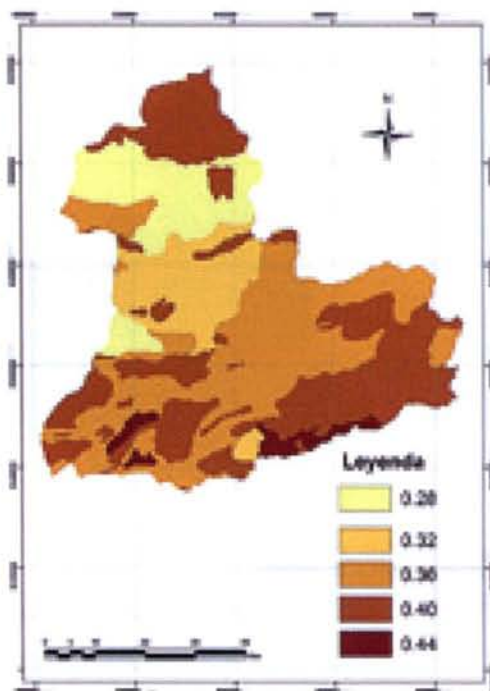


Figura 5: Resultados del factor K

A través del MDE se obtuvo el mapa de pendientes y se generaron cuatro capas en función de los rangos de pendiente establecidos para (m), dándole los valores de (L) a la ecuación de LS que se corresponden con la Tabla 2. Las cuatro capas obtenidas se superpusieron a través del módulo OVERLAY de Idrisi obteniendo como resultado el mapa de LS.

Intervalos de pendiente	Longitud de la pendiente (m)
0 – 1%	80
1 – 3%	100
3 – 5%	125
5 – 20%	125
<20%	125

Tabla 2: Escala de valores topográficos a partir de pendientes (%) y longitudes de pendientes (mts), elaborado por Wischmeier y Smith (1978)

**Factor C:** este factor indica la protección que la cobertura vegetal presta al suelo. Este factor se define como la relación entre el valor medio de pérdidas de suelo, en un campo cultivado o con vegetación, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía. Para determinar el valor de C para cada tipo y densidad de cobertura del suelo de la cuenca, se ha considerando el mapa de uso de suelos (cobertura vegetal) (Figura 7) asignado para cada una de las diferentes tipos de coberturas herbáceas, forestales y prácticas de cultivos agrícolas valores de índices de la tabla de valores de C de Wischmeier (1978), obteniendo los valores que le corresponden para la cuenca media del Paraíba (Figura 8).



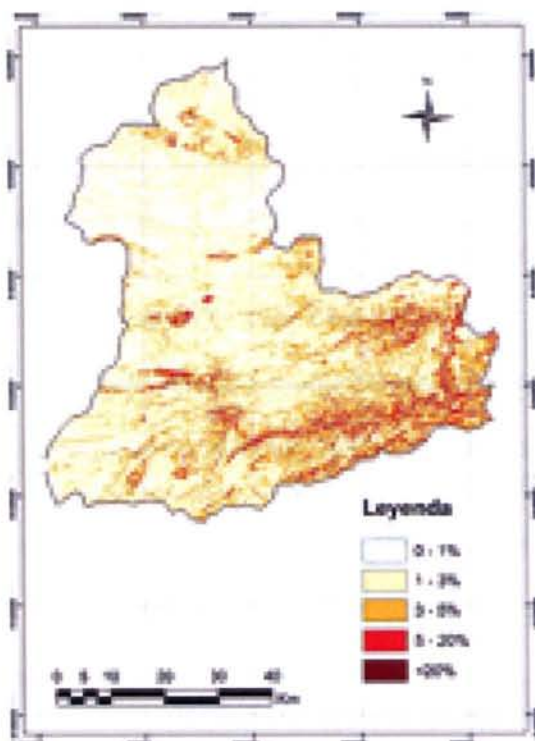


Figura 6: Mapa de los valores de factor LS para la cuenca media del río Paraíba

**Factor P:** para la el área de estudio, el valor asignado a este factor en el presente modelo fue de 1. El valor de P=1 no representa ninguna practica de protección en el uso de la tierra.

Para la obtención la cartografía del valor de A de la USLE de pérdida de suelo por erosión laminar y de regueros (Figura 9) se han utilizado las capas raster obtenidas según lo descrito anteriormente (capas de R, K, de L, S, y de C) que corresponde a todos los factores descritos en el método USLE (Tabla 4) que muestra la mayor superficie (68%)

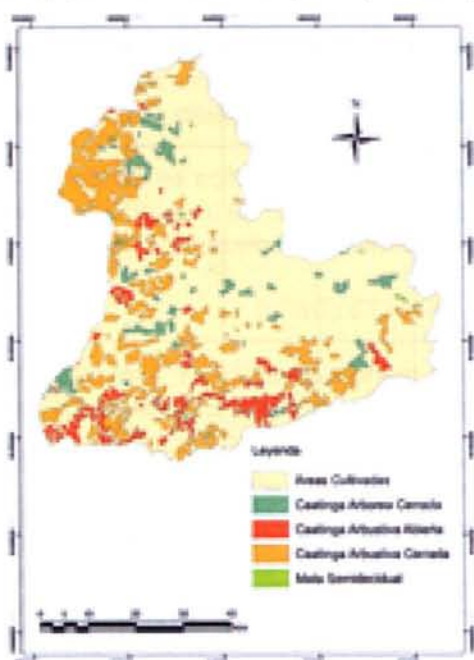


Figura 7: Uso del suelo (cobertura Vegetal)

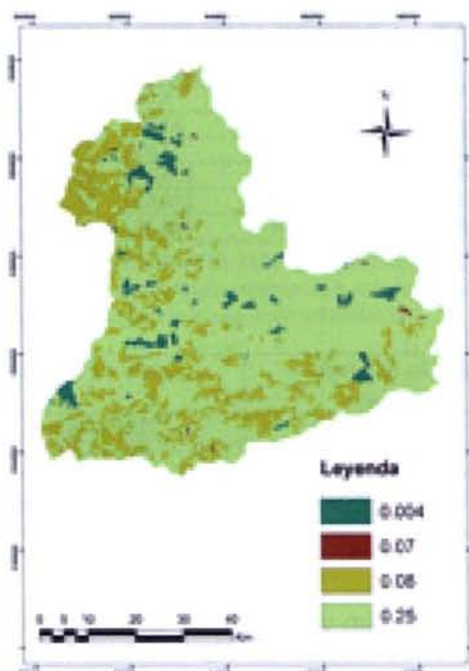


Figura 8: Representación del factor C

para valores de 5 T/ha año, los más bajos y los valores más altos de 400,48 T/ha año para sólo el 0,24 % de la superficie de la cuenca. El valor medio de A para la cuenca es 67,23 T/ha año.

Los valores del grado de erosión hídrica establecidos por la Food and Agriculture Organization (FAO, 1967) (tabla 5) sitúan a un 6,37% de la superficie de la cuenca afectada por una erosión alta a muy alta.

Las pérdidas potenciales del suelo calculadas con la U.S.L.E. para la cuenca media del río Para-

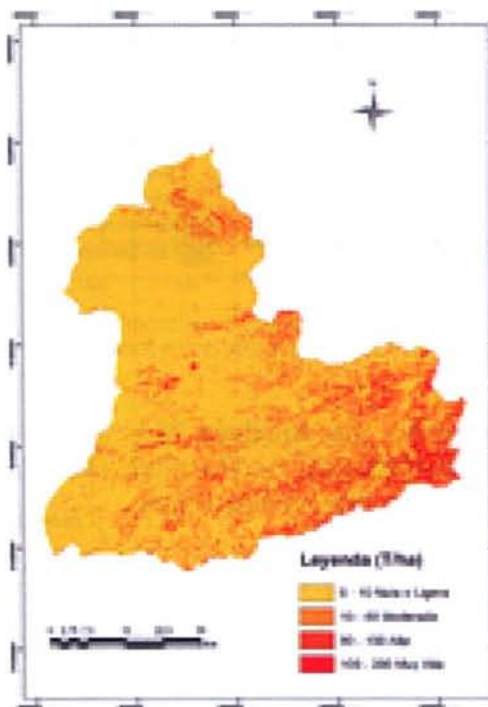


Figura 9: mapa de pérdida real de suelos en la cuenca media de río Paraíba

Superficie (Ha)	% superficie	Valor medio de A (T/ha año)	Perdidas suelo (T/año)	Perdidas de suelo (%)
256.757,65	68,18	5,00	1.018.764,35	19,00
85.094,58	22,60	31,28	1.867.536,08	34,83
16.004,36	4,25	77,04	1.138.999,75	21,24
6.043,09	1,60	150,15	800.341,02	14,93
1.056,31	0,28	250,61	257.936,79	4,81
896,64	0,24	400,48	278.817,39	5,20

Tabla 3: Valores de pérdida de suelos real para la cuenca media del río Paraíba- Porcentajes expresan la contribución superficial de pérdidas de suelo al conjunto de la cuenca

Pérdida de Suelo – (T/ha)	Grado de erosión
<10	Nula o ligera
10-50	Moderada
50-100	Alta
>200	Muy Alta

Tabla 4: Clasificación del grado de erosión hídrica (FAO, 1967)

iba, presenta un valor total de 336,15 T/ ha año. Este valor de erosión laminar potencial nos indica que la erosión real corresponde a un 20,57%, de la potencial.

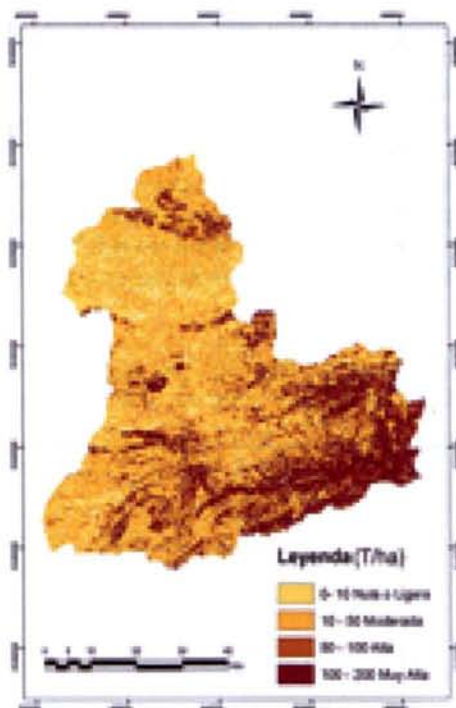


Figura 10: mapa de erosión de suelo potencial para la cuenca media del río Paraíba

## Aplicación del modelo M.U.S.L.E a la cuenca media de río Paraíba. Desplazamientos de los sedimentos

La M.U.S.L.E. (Modified Universal Soil Loss Equation), tiene el objetivo de estimar la cantidad en toneladas de sedimentos desplazados durante una tormenta de determinada intensidad. Estos datos son obtenidos con

Enero 2004	Precipitación media de la cuenca en mm	Q Hm³	Q m³/ha	Y (T)	Y(T/ha)
19	35,23	97,01	2,57	50.694,00	0,134
20	45,21	107,16	2,84	70.050,00	0,186
21	38,65	24,90	0,66	8.821,00	0,023
22	18,47	160,52	4,26	97.772,00	0,259
23	14,21	206,53	5,49	125.920,00	0,334

Tabla 5: valores de Y emitidos durante las tormentas de enero de 2004 con los valores promedios de precipitación por m2 de cada día para la cuenca

la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Y = 11.8 (Q qp)^{0.56} K L S C P$$

Donde:

Y, son los sedimentos en toneladas emitidos por una tormenta;

Q, el volumen de escorrentía en m³;

qp, el caudal instantáneo máximo en m³/s

Los valores de (Q), volumen de escorrentía, se calcula mediante:

$$Q = (P_t - P_o)^2 / (P_t + 4P_o), \text{ donde:}$$

$P_t$  es la precipitación total de la tormenta

$P_o = 0,2 (25.400 - 245 N)/N$ , precipitación a partir de la cual se produce escorrentía.

Para el cálculo de  $P_o$  se utiliza (N), el Número de Curva o Número Hidrológico del Soil Conservation Service (S.C.S.) de los Estados Unidos de América, que según Weischmeier (1978) busca establecer una clasificación de los llamados complejos hidrológicos suelo - vegetación a los que se asigna una capacidad de infiltración. El valor de N para la cuenca media del Paraíba es 57,26, dando un valor de  $P_o$  de 39,71mm.

Los valores de (qp), caudal instantáneo máximo, fue utilizado el hidrograma triangular del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos de América. Estos datos aplicados al modelo M.U.S.L.E. han establecido como resultado los valores de Y (Tabla 6), teniendo en cuenta las tormentas de 19 a 23 de enero de 2004, que dan un valor total de Y de 265.257 T, y un valor promedio de 0,936 T/ha para la cuenca.

La degradación específica se determina considerando con el cálculo de Y es el 75% de aporte total de sedimento desplazado:

$$Y' = 100 Y / 75 (T/año).$$

De esta manera el valor de  $Y'$  será 353.676 T. El concepto de Degradación Específica (DE) se de-

fine por el peso de tierra transportado fuera de la cuenca por unidad de superficie y se representa con la ecuación:

$$DE = Y/S \text{ (T/ha .año)},$$

que para el caso de la cuenca media del Paraíba y la tormenta de Enero de 2004 es 1,24 T/ha. La Pérdida Real (PR) que tuvo lugar en la cuenca determinadas por la M.U.S.L.E., se obtiene comparando los valores de DE con los valores obtenidos por la U.S.L.E para A, (erosión hídrica en regueros y laminar real):

$$PR = 100 (DE) / A,$$

que da un valor de 1,8%, que es el porcentaje de suelo movilizado en la cuenca por erosión laminar y por regueros que es movilizado fuera de la cuenca a través del río Paraíba.

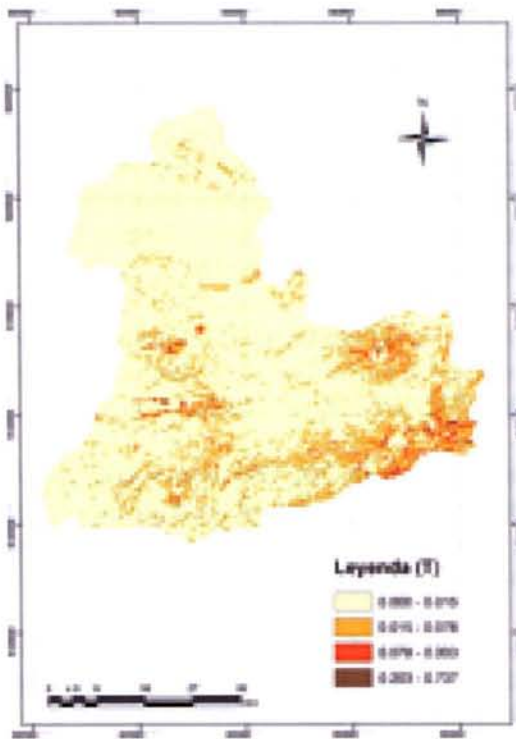


Figura 11: mapa de la M.U.S.L.E. para la cuenca media del río Paraíba

## Discusión

En la cuenca media del río Paraíba la figura 12, refleja la escorrentía producida por las precipitaciones que tuvieron lugar entre los día 19 a 23 de enero de 2004. Las mayores precipitaciones se concentraron el día 22 al Noroeste y Este de la cuenca hidrográfica.

Los índices que corresponden al factor C, muestran que los mayores valores de uso y manejo del suelo corresponden a áreas de cultivo, lo cual es

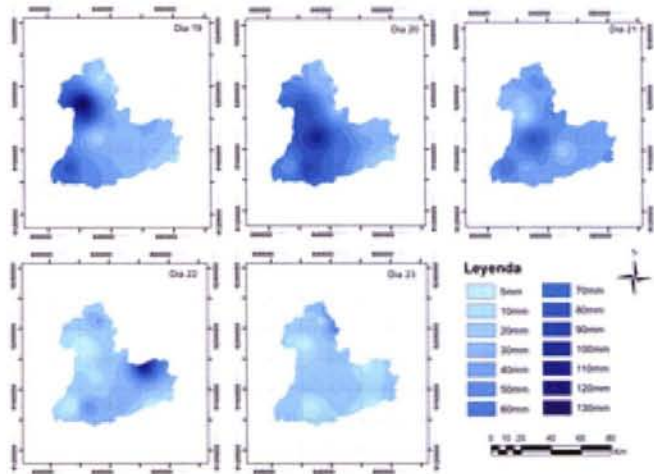


Figura 12. Escorrentía producida por las precipitaciones extraordinarias de los días 19 a 23 de enero de 2004 en la cuenca media del río Paraíba

lógico cuando las prácticas de manejo por los agricultores pueden traer más riesgo de erosión si no hay prácticas de protección de suelos. Los Estados Unidos de América (EE.UU.) (Wischmeier y Smith, 1978), han establecido los niveles de tolerancia de pérdida de suelo en el orden de 4,5 a 11,5 T/ha año (valor de A) para las regiones tropicales. Luego el valor de A para la cuenca del río Paraíba sobre pasa en exceso esta cifra, aunque solo el 6,37% de la cuenca se encuentra en esta situación. A nivel local, las tolerancias de pérdida de suelos establecida por Oliveira (2008), para el estado de Paraíba, a través de uso de cuatro diferentes métodos, son ellos: I- (Bertoni y Lombardi Neto, 1975), II- (Bertol y Almeida, 2000), III- (Bertol y Almeida, 2000); y el IV corresponde a modificación de Bertol y Almeida (2000). Los valores por cada método son: 5,41 a 13,86 (para el método I), 4,01 a 12,36 (para el método II) de 3,94 a 12,35 (para el método III) y 2,82 a 10,64 (para el método IV), expresado en t ha<sup>-1</sup> año. Para los cuatro métodos los valores de A de la cuenca media del río Paraíba sobre pasan los valores de tolerancia

Los sectores con mayor vulnerabilidad a la erosión, demuestran que el uso de suelo está siendo realizado de forma inadecuada y/o puede corresponder a aéreas con escasez de cobertura vegetal y pendiente muy acentuadas. De hecho, analizando los mapas de uso de los suelos (figura 7) y el MDE (Figura 2) los procesos de erosión laminar en la cuenca del río Paraíba están más acentuados en sitios donde hay mayores pendientes y los usos del suelo corresponden a aéreas de cultivo, donde el suelo se encuentra desprotegido.

El resultado alcanzado al aplicar la M.U.S.L.E en la cuenca media del río Paraíba, presenta un valor de Degradación Específica (DE) de 14.306 t/ha.

La Pérdida Real (PR) igual a 103.44 toneladas de suelos erosionados durante la tormenta ocurrida entre los días 19 al 23 de Enero de 2004. Este valor representa según la clasificación de la FAO (1967), un grado de erosión alta. Los impactos de degradación del suelo producidos por el evento anómalo de precipitación de 2004, tienen un periodo de retorno de 28,69 años (Figura 13). Hay que esperar por lo tanto, que si bien el valor de erosión real calculado por la USLE es alto, el riesgo de pérdida de suelos en la cuenca es pequeño, un 2% de la erosión real cada 30 años, aproximadamente. En esta situación de medio semiárido tropical, juega un papel muy importante la cobertura de vegetación de la caatinga (arbórea y/o arbustiva), más o menos antropizada, pero que es importante su mantenimiento para la conservación del suelo, especialmente sobre los relieves de inselbergs característicos de la cuenca media del Paraíba.

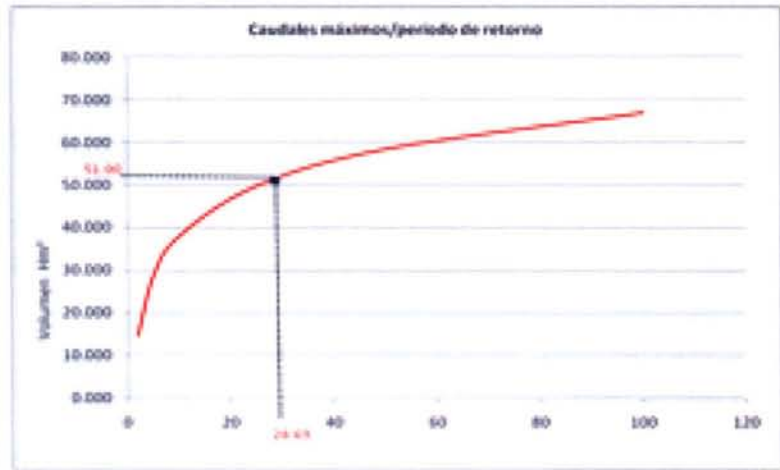


Figura 13. Periodo de retorno del evento del 19-23 de enero de 2004

## Bibliografía

Araújo, L. E.; Neto, J. M. M.; Sousa, F. S. S. (2009), Classificação da precipitação anual e da quadra da bacia do rio Paraíba Utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science. V.4, n3. [www.agro.unitau/ambi-agua](http://www.agro.unitau/ambi-agua)

Alves, J.M.B.; Campos, J.N.B.; Ferreira, F. F.; Stuard, T. M. C. (2006). As chuvas de Janeiro de 2004 no Nordeste do Brasil, suas Características Atmosféricas e seus Impactos nos Recursos Hídricos da Região. <http://www.barramentos.ufc.br/>

Chow, V. T. (1954). The log-probability law and its engineering applications. Proc. Am. Soc. Civ. Eng.80:1-25.

Bertol, I.; Almeida, J.A. (2000). Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24. p. 657-668.

Brito, J. I. B & Braga, C. C. (2005) Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia. Vol. 28, p. 27 a 32.

Entrena, M. R. (2007) Potencialidad de las Técnicas Sig para la Gestión Medioambiental: Aplicación al Estudio de la Erosión. Revista electrónica de medioambiente, ISSN 1886-3329, N°3 <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2391152>

Fadon, J. I. (1991) La Ordenación Agrohidrológica de la Cuenca Alimentadora del Embalse de Saba-

netá. Aplicación de una Metodología para la Planificación de Cuencas. Proyecto de Desarrollo Rural Integral de Sabaneta – Los Gajitos. Agencia Española de Cooperación Internacional-UNPHU Santo Domingo. República Dominicana. 37 págs.

Fadon, J. I. (1992) Proyecto de ordenación agrohidrológica de la cuenca del río Nigua. Documento de Planificación Física. Agencia Española de Cooperación Internacional-UNPHU. Santo Domingo. República Dominicana. 44 págs.

FAO-PNUMA-UNESCO (1981) Clasificación provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO, PNUMA y UNESCO. Roma

Jimenez, A. M. (2006), Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGis. Ed. Ra-Ma. Universidad Autónoma de Madrid.

López Cadenas, F.; Mintegui; J.A. (1986) Hidrología de Superficie. Tomo I. Ed.Fund.Conde Salazar. ETSI. Montes. Madrid.

Oliveira, F. P.; Silva, I. F.; Silva, N. L. M. (2008). Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. Revista De Biología E Ciências Da Terra. Volume 8 - Número 2 - 2º Semestre 2008.

Rodríguez, M. (2007) Potencialidad de las técnicas SIG para La gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión. M+A revista electrónica de medio ambiente. n°3

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

## Séptimas Jornadas Internacionales gvSIG.5

Existen soluciones libres robustas, maduras y de calidad. La utilización de Software Libre proporciona independencia tecnológica a la par que favorece el desarrollo de una industria TIC con capacidad para orientar su modelo de negocio a la prestación de servicios. Ofrece mayor garantía a unos clientes que en todo momento tendrán capacidad de poder ser ellos quienes controlen las tecnologías que utilizan y no que suceda al revés, como cuando pones el corazón de tus Sistemas de Información en manos de productos privativos que no sabes realmente que hacen ni como lo hacen y con múltiples ventanas por las que se cuelan virus y se producen agujeros de seguridad.

No estamos desvelando ninguna verdad ignota con estas afirmaciones. Cada vez son más los estudios y los hechos objetivos que las avalan. Cada vez son más las Soluciones Libres que se utilizan y se consolidan, constatando que ofrecen ventajas y nuevas posibilidades.

Sin embargo, siendo esto así, aún quedan muchos espacios donde la libertad no ha conseguido entrar. Espacios que siguen siendo exclusividad de los productos privativos y sobre todo de aquellos que puedan resultar más caros y que van acompañados de la firma de una gran transnacional.

Visualizamos por una parte a pymes TIC ofreciendo servicios profesionales basados en la integración de tecnologías libres, y de otra, a las grandes transnacionales del sector que siguen imponiendo sus soluciones privativas en ciertos espacios, que por supuesto son aquellos espacios que

resultan más atractivos en cuanto a lo económico.

Y es que estaremos errados en nuestro análisis si pensamos que sólo los criterios técnico-científicos son los que van a equilibrar la balanza hacia un sitio u otro. Los criterios científicos son fundamentales, no lo dudamos, pero no son los únicos. En gvSIG insistimos en que Ciencia, Economía y Política son disciplinas relacionadas entre sí y que no se pueden entender en su completitud si las vemos de manera aislada.

No queremos que existan ciertos espacios inaccesibles para todo aquel que no responda al binomio: Transnacional – Soluciones privativas. Queremos crear los escenarios donde todas las opciones existentes puedan ser realmente evaluadas, de manera, que los que demandan soluciones profesionales puedan optar por la que consideren más interesante atendiendo al análisis efectuado.

Para conseguir este objetivo debemos seguir trabajando, debemos seguir desmontando mitos como los que identifican de manera única colaboración y voluntarismo. El software libre se basa en un modelo de colaboración, posible por su naturaleza de conocimiento compartido, sobre el que existe una amplia y diversa cantidad de empresas con capacidad para ofrecer servicios profesionales de calidad que se ajusten a las necesidades existentes.

Debemos seguir construyendo y consolidando una imagen de calidad y profesionalidad ligada a las soluciones libres y por supuesto, seguir combatiendo equívocos. Porque no nos engañemos, en esos espacios de los grandes pro-

yectos, se siguen oyendo los tópicos de que el Software Libre no tiene calidad y que detrás del Software Libre no hay empresas que lo mantengan.

### **Tópico 1: El Software Libre no tiene calidad**

Atendiendo a la calidad tenemos dos tipos de Software: Software bueno y Software malo. Y de ellos los puedes encontrar tanto en los libres como en los privativos. Con una pequeña particularidad. En el caso del Software Libre puedes detectar realmente la calidad y modificarla si lo deseas gracias a su naturaleza abierta.

### **Tópico 2: Detrás del Software Libre no hay empresas**

Empresas hay y muchas, pero eso sí, funcionando con un modelo de negocio diferente. Con un modelo basado en la prestación de servicios profesionales donde toda inversión se destina a generar riqueza y no en un modelo donde la venta de producto sigue siendo la parte fundamental del negocio convirtiendo parte de la inversión en gasto.

Son muchas las empresas que ofrecen estos servicios y si queremos una prueba, en el sector de la Geomática no tenemos más que comprobar la numerosa lista de empresas socias y colaboradoras de la Asociación gvSIG.

Son equívocos, que no resisten un mínimo análisis, pero que siguen siendo efectivos en determinados espacios donde las pautas que rigen son otras muy diferentes a las que pueda evidenciar la rigurosidad técnico-científico.

# Cartografía Digital de los ecosistemas costeros para la planificación y gestión de las Áreas Protegidas de Cuba

## *Digital Cartography of the coastal ecosystems for planning and management of the protected areas and the vegetal covering of the Prioritized Areas of Cuba*

*Israel Tamarit Herrán, Lourdes Díaz Pérez, Miguel Ribot Guzmán, Fabian Piedra Castro, Belkys Molina Hernández, Danai Fernández Pérez, Sayuri Mendes Corso y María de las Mercedes Toledo Rodríguez  
Instituto de Geografía Tropical, Vicedirección de Geomática. Cuba*

---

### Resumen

El presente trabajo surgió como respuesta al Centro Nacional de Áreas Protegidas, ante la necesidad de una herramienta para el manejo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Partiendo de las imágenes espaciales del satélite Landsat 7 ETM+ y previo procesamiento digital de las imágenes se obtuvo la línea de costa de Cuba y sus cayos, lo que significa contar con una información más actualizada que la correspondiente en los mapas topográficos.

La información extraída estuvo relacionada con elementos naturales del paisaje, tales como la cobertura vegetal de las áreas protegidas de significación nacional y con aspectos de carácter socioeconómico, como los viales, embalses y asentamientos humanos.

Para la implementación en un Sistema de Información Geográfica (SIG), posterior a la digitalización se realizó la topología con la base de datos suministrada por el cliente para cada una de las capas obtenidas y podrá utilizarse en dependencias de la Agencia de Medio Ambiente.

### Abstract

*The present paper is an answer to the request of the National Centre of Protected Area, facing the necessity of a tool for the management of the National System of Protected Area. From a digital processing of the space images of the Landsat 7*

*ETM+ satellite was obtained the coast line of Cuba and its keys, which means to have more updated information than the corresponding in the topographical maps.*

*The extracted information was related to natural elements of the landscape, such as the vegetable cover of the protected areas of national significance and with aspects of socioeconomic character, as roads, water reservoirs and human settlement.*

*For the implementation in a Geographic Information System (GIS), after the digitizing the maps was carried out the topology with the database given by the client for each one of the obtained layers and it will be available in the Environmental Agency dependences.*

### Introducción

La preservación y el cuidado del medio ambiente han devenido en una preocupación constante por parte de hombres de ciencias, organizaciones creadas para este fin y mandatarios de todas las naciones. Prueba de esto son las numerosas conferencias celebradas por las Naciones Unidas donde se han establecidos principios con vistas a proteger las riquezas naturales de la humanidad.

Como parte integrante de las acciones realizadas para dar cumplimiento a este reto que tiene la humanidad desde hace muchos años, es que las Áreas Protegidas (AP) han constituido, una de las formas más difundidas de preservación del medio. Su resultado fundamental será la creación y confección de mapas en formato digital (cartografía

básica digital) para la planificación y gestión de las Áreas Protegidas de Cuba, elaborada a partir de las imágenes multispectrales Landsat de formato Fast-L7A del U.S.

Department of the Interior y del Geological Survey con fecha entre noviembre de 1999 y junio del 2001. Abarca todas las áreas protegidas de significación nacional, incluidas naturales y seminaturales, con límites definidos, protección legal y manejo especial. El CNAP fue la entidad responsable de suministrar toda la información referente a las áreas protegidas.

## Objetivos

### Objetivo general:

Elaborar la cartografía digital de los ecosistemas costeros y terrestres para la planificación y gestión de las áreas protegidas de Cuba a escala 1: 100 000 a partir de las imágenes espaciales del Landsat 7.

### Objetivos específicos:

Elaborar la Metodología de la Cartografía Digital de los ecosistemas costeros de Cuba, para la planificación y gestión de las AP y de la cobertura de las áreas priorizadas.

Elaborar, en formato digital el mapa de la cobertura vegetal de las áreas protegidas terrestres y costeras en diversas capas que permitan su utilización independiente e integral.

Elaborar las capas digitales de elementos naturales y socioeconómicos en función de las posibilidades reales que brindan las imágenes que puedan ser utilizadas en los procesos de planificación y gestión.

Elevar la capacitación científico-técnica en herramientas de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica del colectivo de trabajo del proyecto.

## Materiales y métodos

### Materiales

Los materiales fundamentales empleados, con los que fue posible realizar el trabajo, fueron los siguientes: 15 Imágenes Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) que cubren el territorio nacional, Ortoimagen Landsat 5 del Caribe del año 1990 y mapas topográficos a escala 1: 50 000 de la República de Cuba con cubrimiento de todo el país, en formato ecw y tab, georreferenciados sobre plataforma MapInfo, todos facilitados por el

CNAP, adquiridos de la Empresa GEOCUBA Investigación y Consultoría, en septiembre del 2003 y que fueron solamente empleados como material de apoyo.

### Características técnicas:

El LANDSAT 7 es el satélite operacional más reciente del programa LANDSAT. El último satélite fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus).

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Esta imagen contiene una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros y cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 metros.

Fue utilizado para el tratamiento digital de las imágenes el software ENVI 4,1 muy versátil, completo y avanzado para aplicaciones relacionadas con las ciencias de la Tierra. El AutoCAD Map 2004, software utilizado para la vectorización del contenido temático. El MapInfo 7.8 utilizado como salida de toda la información para ser insertado en un SIG.

## Métodos

Considerando que la teledetección es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, basados en tres elementos fundamentales: Sensor, objeto observado y el flujo de energía que interactúa con ambos; cuenta con una serie de aplicaciones que devienen en ventajas frente a otros medios de observación más convencionales; entre las que tenemos:

Es posible obtener imágenes repetitivas de la mayor parte del planeta debido a las características orbitales del satélite, lo que permite realizar seguimientos a determinados fenómenos que en ocasiones se desarrollan con gran rapidez.

Otro muy importante aspecto es la información que brinda sobre regiones no visibles del espectro lo que posibilita la utilización de la información del infrarrojo medio y térmico para por ejemplo detectar distribución de temperaturas, incendios forestales, etc.

Un papel preponderante dentro de la interpretación de las imágenes es la resolución espacial que

ésta posee, mostrando el grado de detalle que ofrece y su estrecha relación con la escala de trabajo y la precisión de la interpretación. Designándose con este término al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen denominada pixel.

La resolución espectral, está dada por el número y la anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, mientras más cantidad de bandas tenga será más idónea y cuanto más estrecha mayor será la exactitud de la información recogida por este.

Los tipos de interpretación que puede realizarse a partir de una imagen de satélite son varios, el que nos ocupa, la cartografía temática, pudo realizarse mediante la clasificación visual y digital de las imágenes agrupadas en categorías homogéneas.

El tratamiento digital de las imágenes facilita la realización de una evaluación más real del paisaje. El efecto de la resolución espectral juega también un importante papel, ya que la posibilidad de observar un fenómeno u objeto en distintas bandas del espectro aumenta la capacidad de reconocerlo.

En la clasificación digital para la corrección geométrica de la imagen se establecen puntos de control en ésta que aseguran el ajuste con el mapa, localizados preferentemente en intersecciones de carreteras y caminos, ferrocarriles, donde no estén sujetos a cambios muy dinámicos y distribuidos de manera uniforme en el área.

En el trabajo de procesamiento de imágenes se hace necesario el conocimiento de algunas cuestiones que son indispensables para poder lograr un aprovechamiento óptimo de toda la información que puede obtenerse de un área. Entre ellas se consideraron:

a) Resolución espacial

La resolución espacial de 20/30 metros se utiliza para realizar la interpretación de diferentes elementos entre los cuales podemos señalar:

- Localización de aeropuertos
- Centros de ciudades
- Suburbios
- Centros comerciales
- Complejos deportivos
- Grandes fábricas
- Extensos bosques
- Grandes campos cultivados
- Hacer una clasificación generalizada de la cobertura de los suelos

b) Bandas espectrales

Banda	Longitud de onda	Color	Aplicación
2	0,52-0,60	Green (verde)	Facilita: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capturar la reflectancia máxima de la vegetación (clorofila) y estudiar el vigor de la misma</li> <li>▪ La identificación de elementos hechos por el hombre (Ej. ciudades)</li> </ul>
3	0,63-0,69	Red (rojo)	Facilita: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La detección de la banda de absorción de la clorofila y por lo tanto puede utilizarse en la detección de especies</li> <li>▪ La identificación de elementos hechos por el hombre (Ej. ciudades).</li> <li>▪ Se visualiza bien la red de drenaje secundaria (bosques de galerías que aparecen en colores oscuros)</li> </ul>
4	0,76-0,90	IR cercano	Facilita: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Su utilización en estudios de humedad del suelo</li> <li>▪ La delimitación de cuerpos de agua.</li> <li>▪ Mapeo de la vegetación</li> <li>▪ Mapeo de la vegetación vigor/salud</li> <li>▪ Diferenciación de la vegetación por especies</li> <li>▪ Esta es una banda de reflectancia máxima de la vegetación.</li> <li>▪ Buena resolución en la red de drenaje</li> </ul>
5	1,55-1,75	IR medio	Facilita: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La mayor información geomorfológica</li> <li>▪ La detección de la humedad en la vegetación y el suelo.</li> <li>▪ Delineación de las fronteras tierra/agua.</li> </ul>

Tabla 1. Bandas utilizadas en el descifrado  
Fuente: Elaborada por los autores a partir de Emilio Chuvieco (1996)

Para la investigación en general se emplearon algunos métodos tradicionales como lo son el análisis bibliográfico o documental para tener una idea del desarrollo y alcance de la temática, también se usaron algunos métodos o procedimientos particulares de las ciencias cartográficas, en especial para el procesamiento de las imágenes, la lectura de mapas, simbología, cartografía automatizada, entre otros.



El procesamiento de las imágenes comprendió la interpretación visual de las imágenes y el tratamiento digital de las mismas.

Con relación a la interpretación visual fue importante tener en cuenta el efecto de la resolución espacial en este análisis, para la interpretación de las áreas de cubierta vegetal ya que mientras mayor sea la resolución mejor podrá definirse el píxel y definir una cubierta dada.

La clasificación visual nos auxilió en áreas de igual respuesta espectral pero diferente significado temático mediante la textura (depende de las propiedades espaciales del objeto), tono y color.

Existen variadas técnicas para el mejoramiento visual de las imágenes de ellas se utilizó el ajuste de contraste para adaptar la resolución radiométrica a la capacidad del monitor de visualización.

Para realizar el realce del contraste optamos por la opción de expansión lineal en la cual se distribuyen de manera lineal en el histograma el nivel de visualización de 0 a 255 y nos permite observar una imagen con mayor nitidez y mucho mejor contrastada.

También fue utilizada la composición en color, donde fueron aplicados a cada uno de los tres colores primarios a una banda distinta de la imagen, permitiendo visualizar simultáneamente imágenes de distintas regiones del espectro lo que permite delimitar visualmente las diferentes cubiertas.

Como aplicación en nuestro trabajo se utilizó la combinación en falso color de aplicar los cañones de color rojo, verde y azul sobre las bandas correspondientes al infrarrojo cercano, rojo y verde respectivamente lo que facilitó la cartografía de las cubiertas vegetales, los cuerpos de agua, los asentamientos humanos, etc.

Otra de las técnicas fue la utilización de filtros para el realce visual de las imágenes separando en componentes de interés que suavizan o refuerzan contrastes espaciales. En nuestro caso se utilizó el filtro de paso alto donde se acentúan digitalmente los contrastes espaciales entre píxeles vecinos.

También se empleó para la elaboración de la línea de costa un tipo de filtro no lineal para la detección de bordes, en una ventana de 3x3 píxeles. Dentro del tratamiento digital de imágenes se realizó la clasificación digital cuyo resultado es la obtención de una cartografía digital que sirva para

hacer una caracterización de una imagen la clasificación específica en un territorio concreto.

En nuestro trabajo se utilizó la clasificación no supervisada encaminada a definir las clases, donde la interpretación juega un rol fundamental. Esta clasificación se basa en la selección de variables: bandas espectrales, píxeles que componen la imagen y encontrar grupos de píxeles con niveles digitales similares para homologarla con algunas de las clases que componen nuestra leyenda.

## Elaboración de la metodología para la cartografía digital

Con vistas a materializar el objetivo fundamental de esta investigación, que se reitera que es la elaboración de la cartografía digital a escala 1:100 000, de los ecosistemas costeros y terrestres a partir de las imágenes espaciales LandSat, se hizo necesario establecer las etapas de trabajo, que fueron las siguientes:

1. Búsqueda y selección de la información y los materiales de trabajo.
2. Establecimiento de los puestos de trabajo y preparación científico-técnica del personal.
3. Diseño del esquema de trabajo.
4. Interpretación visual e las imágenes.
5. Interpretación digital de las imágenes (Generación de información temática).
6. Creación de diferentes capas según el objetivo.
7. Topología.
8. Asociación de bases de datos.

Con vistas a lograr un trabajo con la calidad requerida en cuanto al procesamiento digital de imágenes y una uniformidad en la representación del contenido general y/o temático de éstos se ha elaborado una metodología que sirve de guía no sólo para el trabajo de los compañeros que participan en el proyecto, sino también con vista a la realización de diversos trabajos que puedan derivarse posteriormente.

Es por ello, que la Metodología de la Cartografía Digital de los Ecosistemas Costeros para la planificación y gestión de las Áreas Protegidas y de la cobertura vegetal de las áreas priorizadas, constituyó un resultado de importancia del trabajo.

A continuación se detallan cada uno de las tareas fundamentales tomadas en cuenta para su creación:

### Búsqueda y selección de la información y los materiales de trabajo

Como se explicó en la sección de materiales este trabajo fue elaborado a partir de imágenes Landsat con información de los años 1999-2001, donde se explican sus características técnicas.

### Establecimiento de los puestos de trabajo y preparación científico-técnica del personal

El personal técnico lo componen compañeros con diversos grados científicos y experiencia de trabajo entre 2 y 20 años, las tareas han sido asignadas en consecuencia a la categoría y experiencia de cada uno en cuanto a las siguientes actividades:

Amplia experiencia en el manejo de las herramientas y materiales disponibles.

Excelente habilidad manual para el manejo de las herramientas y los software necesarios.

Conocimiento razonable de las normas y especificaciones establecidas.

Experiencia en lectura e interpretación de mapas topográficos.

Manejo de escalas cartográficas.

Para darle comienzo al trabajo planificado primeramente se capacitó al personal participante en la utilización y posibilidades que ofrecen los softwares ENVI y AutoCAD Map, mediante un curso-taller que se organizó en el año 2003 en la propia Vice-dirección de Geomática.

Cada estación de trabajo está conformada por:

Equipo compatible con microprocesador Pentium 4 a 2.8 MHZ, tarjeta de video con 64 MHZ y 256 y 512 de memoria RAM respectivamente.

IMPLEMENTACIÓN	Organización	Caracterización	Desarrollo	Automatización de la base de datos
	Determinación de los objetivos	Recopilación y preparación de la información	Preparación de zonas de entrenamiento	Creación y automatización de la base de datos
	Manejo de la información	Creación y actualización de la base cartográfica	Selección de un área piloto Definición de las clases para la cobertura vegetal	

Tabla 2. Pasos para la Implementación del esquema de trabajo  
Fuente: Elaborada por los autores

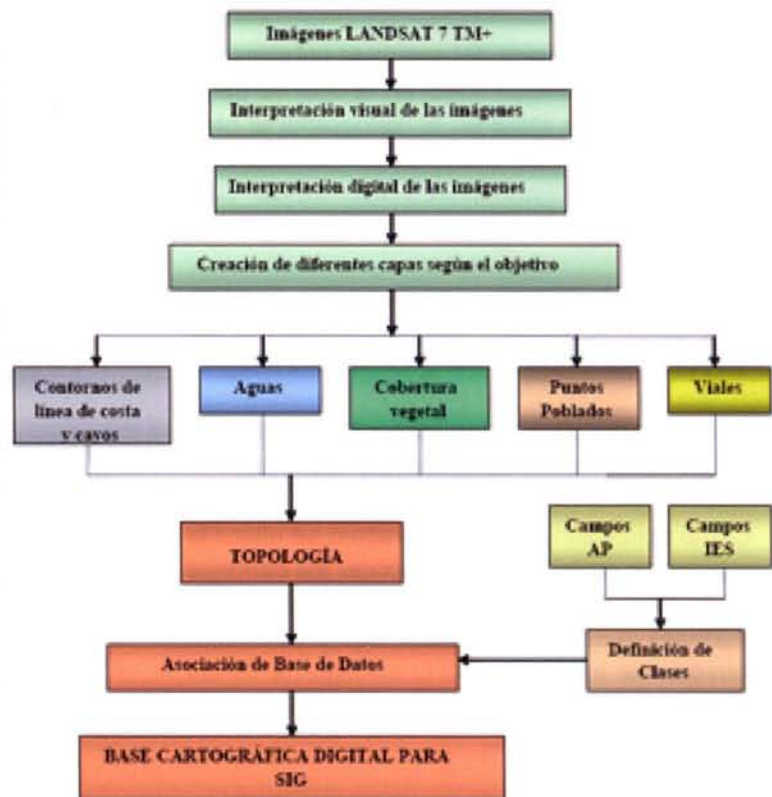


Figura 1. Esquema del desarrollo de la Metodología de la Cartografía Digital

### Interpretación visual de las imágenes

Las imágenes recibidas para la elaboración de este trabajo carecían de las transformaciones precisas para su interpretación, por lo que se hizo necesario realizar la georreferenciación de éstas.

El trabajo comenzó con la georreferenciación de las 15 imágenes LANDSAT 7 TM mediante el software ENVI 4.1, según los parámetros establecidos

para la proyección cónica conforme de Lambert calculada en dos zonas Cuba-N y Cuba-S usando el elipsoide de referencia de Clark (I) del año 1866.

En cada zona la proyección conserva las longitudes en los dos paralelos dados en equidistancia ( $\phi 1$  y  $\phi 2$ ) cuyos valores son los siguientes:

Para Cuba-Norte  $\phi 1 = 21^\circ 42'$ ;  $\phi 2 = 23^\circ 00'$

Para Cuba-Sur  $\phi 1 = 20^\circ 08'$ ;  $\phi 2 = 21^\circ 18'$

Los puntos centrales de la proyección, elegidos para los dos sistemas de coordenadas, sirven también de origen a los sistemas de coordenadas rectangulares planas. Los orígenes de los sistemas de coordenadas tienen los siguientes valores:

CUBA-NORTE	CUBA-SUR
$\phi 0 = 22^\circ 21'$	$\phi 0 = 20^\circ 43'$
$\lambda 0 = 81^\circ 00'$	$\lambda 0 = 76^\circ 50'$
$X0 = 500\ 000\ m$	$X0 = 500\ 000\ m$
$Y0 = 280\ 296,016\ m$	$Y0 = 229\ 126,939\ m$

El proceso de georreferenciación se realizó primeramente para las 6 bandas de 30 m, es decir para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, tomándose puntos de fácil identificación en el terreno (intersecciones de carreteras, ríos, etc.) a partir de una base topográfica a escala 1: 50 000 en el software MapInfo 7.8, por cada imagen se tomaron como mínimos cuarenta puntos de control distribuidos de manera uniforme por toda el área, haciendo coincidir cada uno de ellos con su correspondiente en la imagen, para posteriormente reducir su número a 16, lográndose un error medio cuadrático por imagen menor a 0.4 mm, con lo cual se obtuvo una precisión óptima para el trabajo que se pretendía realizar.



Posteriormente se rectificaron las imágenes por el método polinomio con interpolación bilineal, cada una en la proyección correspondiente. Se confeccionaron dos mosaicos con las imágenes, uno para Cuba Norte y otro para Cuba Sur las que se hicieron coincidir con la proyección en cada caso. Para evitar desplazamientos la imagen de Cuba Sur se transformó para Cuba Norte de manera que ambos quedaran referidos al mismo sistema.

Se realizó el barrido óptico de la imagen y georreferenciación del mapa topográfico a escala 1: 50 000 y de otros mapas temáticos de la zona de estudio para usar como guía en la identificación de los tipos de coberturas en la imagen.

El tratamiento digital de imágenes puede ser dividido en tres etapas independientes: preprocesamiento, realce y clasificación. En lo que se refiere a las técnicas de clasificación, estas pueden ser divididas en: clasificación supervisada (por pixel) y clasificación no supervisada (por regiones).

Se realizó el recorte de las imágenes para la delimitación de la zona de interés, tanto en la ortomágen del LANDSAT 5 como en la LANDSAT 7 ETM.

En el menú principal de ENVI se selecciona Basic tool>Resize Data> selección de la imagen>select spatial subset>enmarcándose el área deseada, posteriormente se salva.

### Interpretación digital de imágenes

Para lograr la interpretación digital de imágenes es necesario el empleo de técnicas de procesamiento digital de las mismas, además de permitir analizar una escena en diferentes regiones del espectro electromagnético, también posibilitan la integración de varios tipos de datos, debidamente registrados.



Figura 2. Imágenes recortadas

El procesamiento digital de imágenes (PDI), para fines de la teledetección, está constituido por un conjunto de técnicas que permiten la consecución de diferentes objetivos.

Este conjunto de técnicas puede ser dividido en cuatro grandes grupos:

*Técnicas de restauración de la imagen*

Estas técnicas compensan los errores de los datos, ruidos y distorsiones geométricas aparecidas durante los procesos de barrido, de transmisión y de registro de la información proveniente de los objetos de la superficie. Su objetivo es hacer aparecer la imagen de modo similar a la escena original.

*Técnicas de mejoramiento o realce de la imagen*

Abarcan un conjunto de procedimientos para mejorar la interpretación visual de los objetos en la imagen. También son útiles en la toma de muestras de píxeles para confeccionar clases espectrales en las clasificaciones multispectrales supervisadas.

El mejoramiento de la imagen se realiza después de la corrección geométrica, puesto que las técnicas de realce modifican los valores originales de los ND (niveles digitales).

Entre las técnicas de mejoramiento de la imagen están las siguientes: mejoramiento del contraste, destaque de bordes, seudocolor y composición de color.

En el trabajo se realizó la selección de las combinaciones de banda más adecuada y realce de los bordes (estiramiento del histograma) de los elementos observados que incluyen mejoras de contrastes, luminosidad, variación tonal de la imagen, aplicación de filtros y componentes principales.

Para la digitalización de la línea de costa y de los elementos de la hidrografía se utilizó la banda 4 del LANDSAT (infrarrojo cercano) que es la más adecuada para la realización de esta operación, debido a que se emplea para determinar la cantidad de biomasa presente en un área, enfatiza el contraste de zonas de agua-tierra, suelo-vegetación.

Se aplicó un filtro espacial, pasa alto en la banda 4 para realzar los

bordes de los elementos de la hidrografía y la línea de costa, en el menú principal se selecciona filtro>convolution and morphology tool>convolutions>high pass>Quick apply, se selecciona la banda en este caso la 4 y se genera una nueva imagen con diferentes valores de píxeles, en este caso se seleccionó la convolución bidimensional que es el proceso de definir donde se evalúa la vecindad ponderada del píxel.



Fig. 3. Ejemplo de Filtro espacial, pasa alto en la banda 4

También se realizó el límite tierra-agua por medio del software ENVI 4.1 con lo que se pudo corroborar la exactitud de la línea de costa, cargando la banda 4, donde se establecieron los rangos que diferencien el límite agua - tierra, de 0 a 22 para el mar y de 22 a 46-60 para el límite de tierra, a partir de estos datos se reclasifica en dos rangos quedando como resultante el límite tierra-agua. Posteriormente se realizó una clasificación de los tipos de costa en gabinete.

*Técnicas de transformación de la imagen*

Agrupar un conjunto de procedimientos que persiguen la combinación de las bandas individuales de los sensores multispectrales, para la creación de imágenes en que se facilite la discriminación de determinados aspectos de interés para el analista. La aplicación de estas técnicas no genera nueva información, sino que modifica la existente en las imágenes, para resaltar lo que se desea, mediante operaciones de suma, multiplicación o división entre los valores de los ND de los píxeles de las imágenes involucradas en las transformaciones.

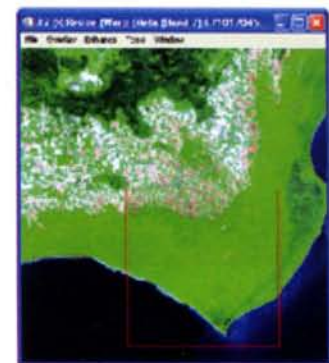
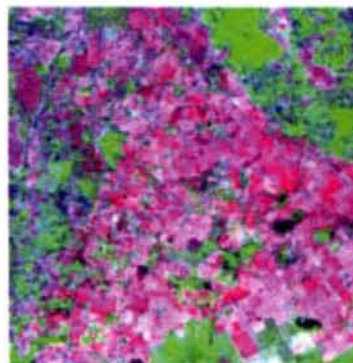


Figura 4 Combinación 742 con filtrado lineal 2% Combinación 742

Son técnicas que permiten agrupar los píxeles de una imagen en función de sus ND, haciéndoles corresponder un determinado tipo de cobertura del suelo (vegetación, rocas, agua, etc.), con el objetivo de elaborar nuevas imágenes, que son convertidas en mapas.

a. Clasificación no supervisada

Por las condiciones con que contábamos para la realización de este trabajo sólo se utilizó la clasificación no supervisada.

Se utilizan algoritmos de clasificación automática multivariante como el clustering. Este consta de N pasos siendo N el número total de individuos a clasificar. En cada paso se identifican los dos individuos más próximos, se hace una clase con ellos y se sustituyen por el centroide de la clase resultante. De este modo cada paso analiza un individuo menos que el anterior ya que los individuos van siendo sustituidos por clases. El proceso se detiene cuando se ha alcanzado un número de clases igual al número de clases que había sido establecido a priori.

Se realizó la selección de coberturas de suelo a tener en cuenta para la realización de la Clasificación NO Supervisada con fines orientativos y de identificación de cubiertas.

Comenzamos con la confección de los patrones de entrenamiento que en ENVI 4.1 se realizan utilizando una herramienta conocida como ROI (región de interés) donde la selección del patrón puede tener varias muestras que pertenezcan a una misma clase por tener diferentes respuestas espectrales, ya que pueden estar influenciadas por la litología, el tipo de suelo de la zona y otras características del medio.

Como paso preliminar se seleccionó un área piloto y se realizó una clasificación no supervisada en la Isla de la Juventud.

En un inicio realizamos una clasificación no supervisada por dos métodos diferentes (K-mean, Iso-data), los cuales no arrojaron la diferenciación de las clases esperada. Esta clasificación por tratarse de áreas extensas y por el por ciento de nubes en algunas imágenes no nos dio los resultados esperados, ya que resultó en extremo engorroso definir una determinada clase temática de cada cobertura para su clasificación debido a que pueden existir clases asociadas a más de una clase temática.

No se pudo realizar el trabajo de campo planificado producto de los problemas de logística y transporte, por lo cual intentamos suplir parte de esta etapa con la utilización de criterios de expertos (Capote y Rossi, especialistas del Instituto de

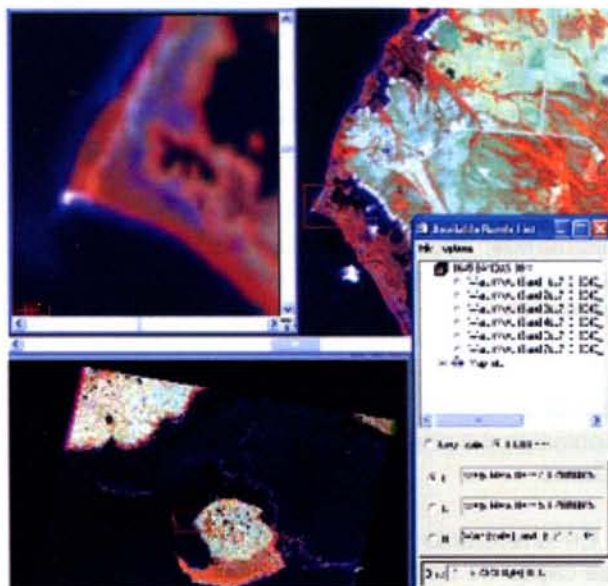


Figura 5. Ejemplo de selección de una combinación de bandas como por ejemplo la 4-5-3

Ecología y Sistemática) y diferentes mapas temáticos que nos confirmaran la existencia de las clases o patrones de entrenamiento a utilizar que fueran lo más reales posibles. Finalmente se creó y obtuvo el mapa por la clasificación del CENAP.

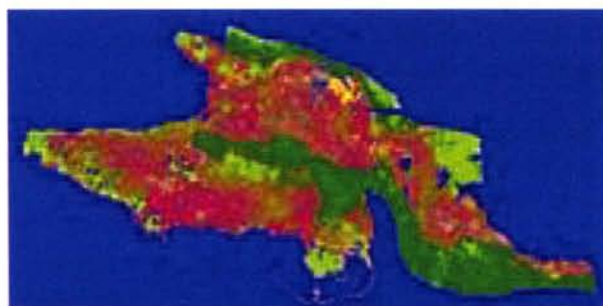


Figura 6. Ejemplo de la clasificación no supervisada realizada en la Ciénaga de Zapata

De este modo se fue confeccionando la clasificación de cobertura vegetal de los suelos para las Áreas Protegidas de significación nacional de Cuba.

### Creación de diferentes capas según el objetivo

A partir de estas imágenes procesadas y con el empleo del AcadOverlay 2000 se cargaron en la plataforma AutocadMap 2004, las imágenes de las diferentes combinaciones de bandas para la digitalización vectorial de los elementos, permitiéndonos representar cartográficamente elementos tales como la línea de costa en forma de polilíneas.

La digitalización se realizó en el orden establecido. Se comenzó la digitalización de la línea de costa por el centro de la imagen correspondiente, de manera que no existieran desplazamientos por encima de los valores permisibles para la escala 1: 100 000. Cada elemento se digitalizó en capas independientes quedando del siguiente modo: Una capa denominada línea de costa, la cual incluye la línea del litoral de la isla mayor conjuntamente con

el municipio especial Isla de la Juventud, otra con el nombre de cayos, dentro de la cual se ubicaron los cayos, islotes e islas enmarcadas dentro de los límites del territorio nacional, y las capas ríos, lagunas y embalses.

Para la red vial igualmente se crearon capas por elementos: autopistas y carreteras; y ferrocarril, también digitalizadas por el centro del eje de cada elemento.

En los puntos poblados se agrupó según la imagen el área correspondiente a cada asentamiento poblacional a partir de los datos entregados por el cliente.

En lo referente a la cobertura vegetal se crearon las capas de acuerdo a la clasificación entregada por el cliente CENAP y el IES, ya que al no poder realizar los viajes de campo planificados existían muchas áreas donde el contenido nuboso, no permitía su clasificación y en esos casos se apeló a la experiencia de muchos colaboradores que si habían efectuado expediciones a muchas de estas áreas a desarrollar disímiles trabajos.

### **Confección de la topología como base cartográfica para SIG**

En nuestro trabajo se utilizó la topología de redes para los elementos lineales y de polígonos para las áreas de cobertura vegetal.

A partir de la salva creada se comenzó a confeccionar la topología para cada capa. Primeramente se le realizó una limpieza a la digitalización de los elementos con el objetivo de mejorar la calidad de los datos y su exactitud. Haciendo empleo de la herramienta Drawing CleanUp (limpieza del dibujo) del menú Map+Tools en AutoCAD Map, podemos eliminar estos errores de manera manual o automática.

Se comenzó a trabajar por los elementos lineales como línea de costa, ríos, carreteras y autopistas, trazándose la línea justo por el centro de los elementos representados. A los elementos topográficos lineales se le realizó topología de redes (una vez asociada la base de datos alfanumérica).

Posteriormente se creó la topología de polígono para los elementos areales, una vez comprobado que los polígonos se encontraban debidamente cerrados.

### **Creación de las bases de datos asociadas a cada elemento**

Cada atributo espacial (punto, línea y polígono) tendrá asociada sus correspondientes datos alfanuméricos.

Para establecer el enlace de los registros de la Base de Datos con elementos u objetos del dibujo o mapa, debe definirse un vínculo (Link), esto se logra creando una Plantilla de vínculo (Link Template). Esta plantilla de vínculo guarda información del ambiente, catálogo y esquema de la Base de datos asociada, así como los valores de las columnas claves usadas para definir el vínculo. La plantilla creada se guarda en un fichero con extensión .udl, que servirá para acceder a la base de datos en otros dibujos.

Para la confección de la base de datos asociados a estos mapas temáticos se utilizaron dos vías fundamentales:

-La asociación de campos ya creados en otras bases de datos por el CENAP y IES como el campo Código para la capa temática asentamiento y el campo Formación CNAP para la capa temática de cobertura vegetal.

- Mediante la interpretación de los mapas topográficos del año 1989, de la ortoimagen de 1990 y las imágenes de satélite del año 1999 y 2000 del Landsat 7 ETM+

### *Confección de la leyenda*

Se confeccionó una leyenda para cada una de las salidas cartográficas según la temática, la cual se mostrará dentro de cada mapa.

### **Resultados obtenidos**

Entre las capas de información que se elaboraron, se pudieron delimitar e identificar los diferentes biotopos que componen las áreas protegidas costeras del territorio nacional, ello constituirá un instrumento de gran utilidad en todos los trabajos de planificación y gestión de los mencionados territorios. Estos biotopos se determinaron a partir de un trabajo de interpretación de las imágenes y de la investigación de las condiciones existentes en las áreas de estudio en cuanto a constitución geológica, relieve, suelos, clima y diversidad biológica.

Se obtuvo la línea de costa de Cuba y de todos los cayos del archipiélago cubano, a partir de las imágenes espaciales. Esta línea de costa constituye una información más actualizada que su correspondiente en los mapas topográficos de Cuba, realizados desde hace varias décadas.

Otra cuestión de importancia fue la posibilidad de extraer variada información de las imágenes, sobre todo la relacionada con elementos naturales del paisaje, tales como áreas de vegetación, ríos o con aspectos de carácter socioeconómico, como

las carreteras, embalses, asentamientos humanos y el uso del suelo, entre otros (ver fig 7). Con vistas a facilitar la implementación en un Sistema de Información Geográfica (SIG), después de digitalizada la información, se conformó la topología y se insertó la base de datos suministrada por el cliente.

### Conclusiones

a. Este trabajo constituye un intento más realizado por nuestro Instituto en la utilización de la Percepción Remota para la captura de la información sobre la cobertura vegetal y la interpretación de elementos de la hidrografía, la red vial y los puntos poblados a escala 1: 100 000 para todo el territorio nacional a partir de imágenes del satélite LANDSAT-7 ETM+ y además constituirá la primera base cartográfica digital que tendrá la AMA, como herramienta para la gestión y manejo como componente de la planificación regional y del ordenamiento ambiental, imprescindibles para lograr el desarrollo sostenible.

b. Se comprobó que a partir de la interpretación visual y la combinación de diferentes bandas espectrales de imágenes satelitales (ej. LANDSAT-7 ETM+), es posible extraer información para elaborar capas temáticas como la hidrografía, las redes viales, los puntos poblados, y otros.

c. En el proceso de descifrado se comprobó la necesidad de la verificación in situ de algunas áreas, a pesar de haber contado además, con la ortoimagen para todo el territorio, ya que la misma también presentaba zonas nubosas.

d. Después de un análisis minucioso de los mapas topográficos y según criterios de expertos se elaboraron las clases (patrones de entrenamiento) para el descifrado de la cobertura vegetal

del suelo de un área piloto, municipio especial Isla de la Juventud.

e. Se logró descifrar la cobertura vegetal del suelo, según lo determinado por el CNAP, combi-nándolo con la clasificación establecida por los Dres. Capote y Berazaín.

### Referencias

1. Alonso, I. y Herrero, E.: (2001) "El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+Satélite Landsat. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia. Diversidad de Valladolid
2. Bastart Ortiz, José Ángel, Ricardo Nápoles, Nancy Esther "Tipos y formaciones vegetales de Cuba".
3. Bosque Sendra, J. (1997): Sistemas de Información Geográfica, Madrid, Ediciones Rialp, 2a edición corregida, 451 p.
4. Burrough, Peter A., Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey. Clarendon Press, Oxford, U.K., 1986.
5. Colwell, R.N., Manual of Remote Sensing, Vol I. American Society of Photogrammetry, Falls Churs, USA, 1987.
6. Chuvieco, E. (1996): Fundamentos de Teledetección espacial, 3ª Edición, (4ª reimpresión del año 2000), Madrid, Rialp.
7. Tomlinson, R.F., DF. Marble and H. W. Calkins, Computer handling of Spatial Data. Unesco Press, Paris, France, 1976

---

---

## BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN MAPPING

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 1 año al precio de 120 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 .....

# SIG\_Salud: Sistema de Información Geográfica para la salud pública

## SIG\_Salud: A Geographic information system for public health

Lilianne Martínez Ledea  
Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba

Adrián Gracia Águila  
Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba

### Resumen

SIG\_Salud es una aplicación diseñada con el objetivo de permitir la representación geoespacial de la información asociada a las instituciones de salud pública de Venezuela. Proporciona servicios de acceso a la información geográfica, para su consulta, análisis y visualización, mediante una interfaz de usuario sencilla y de fácil manejo que pueda ser utilizada por usuarios no especializados en tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además de brindar mecanismos de edición de mapas, creación de gráficos y personalización de funcionalidades por roles de usuarios.

**Palabras Clave:** SIG, instituciones de salud, edición de mapas.

### Abstract

*SIG\_Salud is an application designed with the objective of enabling the geospatial representation of information from different public health institutions in Venezuela. Provides access to geographic information for review, analysis and visualization, through a simple user interface that can be used by unskilled users in technology of Geographic Information Systems. It also provides mechanisms for map editing, graphics creation and customization of features by user roles.*

**KeyWords:** GIS, health institutions, map editing.

### Introducción

Un sistema de información geográfica (SIG) es una constelación de equipo y programas de computación que integra mapas y gráficos con una base de datos sobre un espacio geográfico definido (Garson, 1992). Puede definirse también como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestres, construido principalmente para satisfacer la necesidad de información y ubicación geográfica del mundo. Estos deben ser capaces de ubicar un objeto de-

terminado en el espacio; de encontrar donde está un cuerpo con respecto a otro; de brindar información sobre su perímetro, área y volumen; de encontrar el camino mínimo de un punto a otro, así como la generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas (Bravo, 2000). Es decir, un Sistema de Información Geográfica no es más que la integración de software y hardware que permiten almacenar, analizar, manejar y visualizar la información referenciada geográficamente.

El empleo de los SIG en el campo de la salud es



Figura 1: Logotipo SIG\_Salud

relativamente reciente. Aunque anteriormente se habían utilizado en otras áreas como el transporte, el turismo, correo postal, así como el monitoreo de fenómenos climáticos y geológico; actualmente se emplean en casi todas las ramas de la ciencia y la técnica.

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a que los programas de salud sean cada vez más efectivos al proporcionarle las ventajas que ofrece el uso de los SIG para optimizar las localizaciones de aspectos de interés, así como de la gestión de emergencias y unido a esta la asignación de recursos.

### Trabajos anteriores

Estudios han arrojado que este tipo de sistemas se han utilizados en la salud en diversos temas. A



partir de la década del noventa, se observaron avances en la elaboración de SIG para el trabajo de campo de salud y la aplicación de técnicas de estadística espacial (Iñiguez, 2003). Ejemplo de lo anterior lo constituye el empleo de un SIG en Brasil para controlar algunas enfermedades contagiosas como la malaria. Por otro lado, en Cuba el empleo de los SIG en el campo de la salud ha representado un considerable aporte a la gestión de todos los datos y estadísticas relacionadas con esta área, tales como mortalidad, recursos y servicios, entre otros. El Sistema de Información Geográfica para la Gestión de la Estadística de Salud de Cuba (SIG-ESAC) (Fernández, 2006), es una herramienta clave en la representación cartográfica de las estadísticas de diversos aspectos de la salud en el país. Por su parte Venezuela ha hecho uso de los SIG en la estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico (Barrera, 2000). Se debe hacer mención también de SIGepi, un software para las investigaciones epidemiológicas desarrollado por el Área de Análisis de Salud y Sistemas de Información (AIS) perteneciente a la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Es de suma importancia además, comentar el trabajo que realiza la Unidad de Análisis y Estadísticas de Salud (HDM/HA) de la OPS, impulsando el desarrollo y empleo de los SIG en este campo a través de la línea de cooperación sobre aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica en Salud Pública (SIG-SP).

## Herramientas y tecnologías usadas

SIG\_Salud es una aplicación web que tiene en cuenta niveles de usuario, de manera que cada cual puede acceder solo a la información que le es permitida. Para su construcción se utilizaron herramientas y tecnologías libres. La aplicación se desarrolló sobre el sistema operativo GNU/Linux en su distribución Ubuntu v9.10, distribución que posee una gran colección de aplicaciones prácticas y sencillas que permiten configurar todo el sistema, a través de una interfaz gráfica útil para usuarios que se inician en Linux.

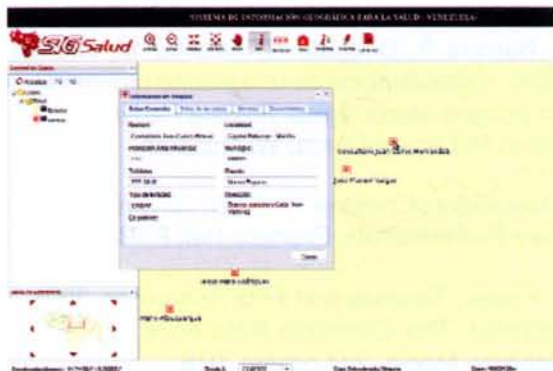


Figura 2: Resultados obtenidos al consultar los datos de un hospital determinado

Se define RUP como la metodología más adecuada a utilizar por ser robusta, esto es lo que le permite soportar el desarrollo de grandes proyec-

tos, permitiendo además la generación de toda la documentación asociada al mismo en cada una de sus fases.

El desarrollo del sistema se ha sustentado sobre tecnología web, a través del lenguaje de programación del lado del servidor PHP (Cosentino, 2002) y del lado del cliente Javascript (Powell, 2004), además de hacer uso de los frameworks Cartoweb (Cartoweb, 2008) y ExtJs (ExtJS Team, 2009). Cartoweb al ser un framework implementado sobre plugins, permite crear algunos plugins específicos para SIGSalud, permitiendo además que exista una buena organización del código al tener en cada uno de ellos una función específica, esto hace que se haga mucho más fácil la reutilización de estas funciones en otros proyectos. Por otro lado al emplear el framework ExtJS se logra un equilibrio entre el Cliente y el Servidor al distribuir la carga de procesamiento, lo que permite que el servidor pueda atender más peticiones al mismo tiempo al tener menor carga.



Figura 3: Cálculo de superficie de una región

SIGSalud se apoya en la plataforma GeneSIG, desarrollada en la Universidad de las Ciencias Informáticas que sirve de base para la creación de aplicaciones SIG.

El gestor de base de datos elegido fue PostgreSQL, pues permite el soporte para datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica mediante la extensión PostGIS, conjuntamente con la gestión de objetos geográficos. Este aspecto es fundamental dadas las características de la aplicación desarrollada.

## Resultados y discusión

La solución que se ofrece en este trabajo representa una solución para tener un control sobre las distintas instalaciones de salud que dirige el Ministerio del Poder Popular para la Salud de Venezuela, así como manejar la información geográfica asociada a las mismas. Este ministerio tiene como misión establecer la rectoría del Sistema Público Nacional de Salud, a través del diseño, implementación y supervisión de las políticas y estrategias que contribuyan al fortalecimiento e integración de los diversos entes prestatarios del servicio y atención en salud con la finalidad de mejorar la calidad de vida y salud de la población.

SIG\_Salud (véase figura 1), es un producto encaminado a realizar la representación y análisis geoespacial de información geográfica asociada a instalaciones de salud garantizando poder contar con información confiable de las instalaciones de salud. Permite además identificar áreas y poblaciones con mayores necesidades insatisfechas de salud, de manera que permita encaminar hacia esos grupos prioritarios sus intervenciones, lo que permitirá la toma de decisiones de forma rápida y efectiva.

Entre las principales funcionalidades que brinda la aplicación se encuentran las siguientes:

a. Realizar navegación: Permite al usuario navegar a través del mapa de referencia mediante el uso de funcionalidades Zoom, así como mover el mapa o centrar una región específica previamente seleccionada.

b. Crear mapa temático: Permite crear un mapa temático entrando los valores asociados a los Criterios de búsqueda regionales (áreas y poblaciones críticas o prioritarias) y a los Criterios de búsqueda estadística.

c. Crear gráficos: Representación de la información mediante el gráfico seleccionado por el usuario (líneas, barras, áreas, pastel, dispersión, cajas)

d. Ver datos: El usuario puede consultar toda la información que está asociada a las diferentes instalaciones de salud que se encuentran en la base de datos, (véase figura 2).

e. Medir distancia: Con esta funcionalidad se quiere que el usuario pueda calcular la distancia entre dos o más puntos a partir del trazado de los mismos con el ratón y visualizar el valor de la distancia entre los dos últimos vértices dibujados y la distancia acumulada (del primer al último vértice) en un panel lateral, además de poder modificar la unidad de distancia si lo desea.

f. Calcular superficie: Permite calcular el área y perímetro de una región a partir del trazado de la misma con el ratón sobre el mapa, se visualizan los valores del área y perímetro en un panel lateral, además de poder modificar la unidad del área si lo desea, (véase figura 3).

g. Visualizar mapa de referencia: Permite mostrar u ocultar la ventana del mapa de referencia en dependencia del estado en que se encuentre la misma.

h. Exportar mapa: Se quiere que el usuario pueda exportar un mapa o una vista de éste a un fichero en formato pdf para su posterior impresión. El usuario puede definir la región que desea imprimir.

## Conclusiones

En el presente documento se ha presentado una propuesta para aumentar el control de la información geográfica asociada a las instalaciones de salud pública de la República de Venezuela, mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfica para la salud (SIG\_Salud).

SIG\_Salud fue desarrollado para aumentar la eficiencia y rapidez en la toma de decisiones y asignación de recursos en el tema de la salud, permitiendo tener un amplio conocimiento y control de aquellas áreas que necesitan una mayor atención en correspondencia con sus características particulares. Además de poder contribuir con el control epidemiológico permitiendo conocer no solo los lugares que se vean afectados por determinada enfermedad sino también cuál es el perímetro en que podría propagarse la misma, posibilitando la toma de medidas preventivas en ese sentido.

## Referencias Bibliográficas

Garson GD, arlenBiggs RS. 1992. Analytic mapping and geographic databases. Series: Quantitative applications in the Social Sciences. Sage University Papers. Sage Publications, Newbury Park. 89p.

Bravo, Javier Domínguez. 2000. "Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)".

Iñiguez Rojas Luis. 2003. Geografía y salud en América Latina: evolución y tendencias. Revista Cubana de Salud Pública vol.29 n.4, Ciudad de la Habana.

Fernández Núñez. 2006. SIG-ESAC: Sistema de Información Geográfica para la gestión de la estadística de salud de Cuba. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología vol.44 n.3, Ciudad de la Habana.

Barrera R, Delgado N, Jiménez M, Romero I. 2000. Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. Revista Panamericana de Salud Pública vol.8 n.4, Washington.

Cosentino, Christopher. 2002. Advanced PHP for Web Professionals, Prentice Hall PTR, 368.

Powell, Thomas and Fritz Schneider. 2004. JavaScript: The Complete Reference, McGraw-Hill Osborne Media, 2nd edition, 976.

CartoWeb. Advanced Geographical Information System for the Web. Documentation, 2008 Online: <http://www.cartoweb.org> The ExtJS Team. API Documentation, 2009. Online: <http://www.extjs.com/>.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

# cartografía digital



www.cnig.es



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN1000, 500, 200, 25),  
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),  
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),  
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,  
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS,  
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

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)