

# MAPPING

VOL. 22 • Nº 160 • JULIO - AGOSTO 2013 • ISSN: 1131-9100

## **ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LAGUNA «ALMARJAL» Cartagena (España)**

**MÉTODO DE ANÁLISIS  
DE LA DEGRADACIÓN TEMPORAL  
DE LA CALIDAD DE UNA BASE DE  
DATOS TEMÁTICA: aplicación al caso  
del mapa de usos y coberturas  
vegetales de Andalucía (España)**

**ARQUEOLOGÍA, SIG Y MODELOS  
PREDICTIVOS basados en redes  
neuronales artificiales**

**SISMICIDAD Y SISMOTECTÓNICA  
del SW de Iberia**

**ANÁLISIS MULTICRITERIO  
PARA LA LOCALIZACIÓN  
DE UNA PLANTA  
DE RECICLAJE DE VIDRIO  
en el entorno del Parque  
Nacional de Monfragüe,  
Extremadura (España)**

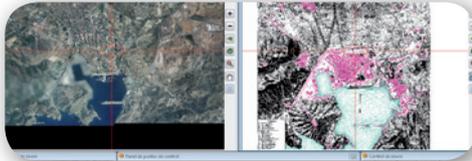
**VÍAS ROMANAS DEL NOROESTE HISPANO:  
génesis, trazado y una nueva metodología para su estudio**



# MAPPING

VOL.22 Nº160 JULIO AGOSTO 2013 ISSN 1131-9100

## Sumario



Pág. 04

**Análisis cartográfico de la evolución histórica de la laguna «Almarjal», Cartagena (España)**

*Josefina García León, Antonio García Martín, Manuel Torres Picazo, María José Corbalán Hernández*



Pág. 12

**Análisis multicriterio para la localización de una planta de reciclaje de vidrio en el entorno del Parque Nacional de Monfragüe, Extremadura (España)**

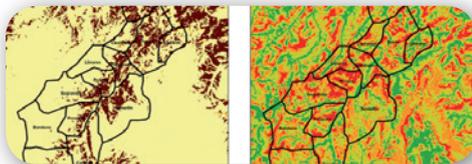
*David Lagar Timón, Manuel Pulido Fernández*



Pág. 20

**Método de análisis de la degradación temporal de la calidad de una base de datos temática: aplicación al caso del mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía (España)**

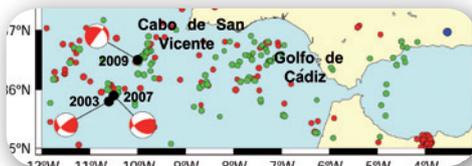
*Paula Gil de la Vega, Francisco Javier Ariza López, José Rodríguez Avi*



Pág. 30

**Arqueología, SIG y modelos predictivos basados en redes neuronales artificiales. Un caso de estudio**

*Jesús Fernández Fernández*



Pág. 38

**Sismicidad y Sismotectónica del SW de Iberia**

*Carmen Pro, Elisa Bufo, Agustín Udías, Mourad Bezzeghoud*



Pág. 48

**Vías romanas del Noroeste Hispano: génesis, trazado y una nueva metodología para su estudio**

*José Luis Vicente González*



Pág. 68

**Agenda y Noticias**





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

*El conocimiento de hoy  
es la base del mañana*

*La calidad de la geotecnología hecha revista*

# MAPPING

VOL.22 Nº160 JULIO-AGOSTO 2013 ISSN 1131-9100

## DISTRIBUCIÓN, SUSCRIPCIÓN Y VENTA

eGeoMapping S.L.  
C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera Central  
28005. Madrid. España  
Teléfono: 910067223  
info@mappinginteractivo.es  
www.mappinginteractivo.es

## MAQUETACIÓN

Altermedia Comunicación 2000 S.L.

## IMPRESIÓN

Xiana y Cuélebre S.L.

Los artículos publicados expresan sólo la opinión de los autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación.

Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen al archivo del autor o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos. Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen. Esta revista ha sido impresa en papel ecológico.



### FOTO DE PORTADA:

Geosítio Cabeza del Moro. GeoParque Villuercas Ibores Jara (Extremadura, España)  
Megalito Cancho Cabeza del Moro. Geosítio del GeoParque Villuercas Ibores Jara, en el Término Municipal de Berzocana (Extremadura, España). Litológicamente está constituido por potentes estratos de cuarcitas armóricas ordovícicas, materiales muy resistente a la erosión. Su orientación es con dirección hercínica NO-SE.  
Autora: Marta Criado Valdés

Depósito Legal: B-4.987-92

ISSN: 1131-9100

eISSN: 2340-6542

Los contenidos de la revista MAPPING aparecen en: CSIC/ICYT, Dialnet en España; y en Latindex

## PRESIDENTE

Benjamín Piña Patón

## DIRECTOR

Miguel Ángel Ruiz Tejada  
maruiz@geomapping.com

## REDACTORA JEFA

Marta Criado Valdés  
mcriado@geomapping.com

## CONSEJO DE REDACCIÓN

Julián Aguirre de Mata  
Profesor Titular de Escuela Universitaria. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

Manuel Alcázar Molina  
Profesor de Universidad. Universidad de Jaén

Marina A. Álvarez Alonso  
Profesor Titular de Universidad. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

Carlos Javier Broncano Mateos  
Jefe del Área de Fotogrametría y Teledetección  
del Departamento de Geodesia y Topografía  
(Escuela de Guerra del Ejército)

Joan Capdevila Subirana  
Director del Servicio Regional del Instituto  
Geográfico Nacional de España en Cataluña

Mercedes Farjas Abadía  
Catedrático de Escuela Universitaria. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

M<sup>a</sup> Teresa Fernández Pareja  
Profesor Titular de Escuela Universitaria. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

Florentino García González  
Abogado

Francisco Javier González Matesanz  
Subdirector General Adjunto de Geodesia y  
Cartografía. Instituto Geográfico Nacional de  
España

Luis Joyanes Aguilar  
Catedrático de Lenguajes y Sistemas Informáticos.  
Universidad Pontificia de Salamanca

Julio Mezcuza Rodríguez  
Jefe del Área de Proyectos Internacionales.  
Instituto Geográfico Nacional de España

Ricardo Rodríguez Cielo  
Profesor E.T.S.I. Telecomunicación. Universidad  
Politécnica de Madrid

Antonio Federico Rodríguez Pascual  
Jefe de Área de Infraestructura de Información  
Geográfica. Instituto Geográfico Nacional de  
España

Roberto Rodríguez-Solano Suárez  
Catedrático de Escuela Universitaria. E.U.I.T.  
Forestal. Universidad Politécnica de Madrid

Andrés Seco Meneses  
Profesor Titular de Universidad. E.T.S.I.  
Agrónomos. Universidad Pública de Navarra

Antonio Vázquez Hoehne  
Profesor Titular de Escuela Universitaria. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

## CONSEJO ASESOR

Maximiliano Arenas García  
Director Zona División Asuntos Ferroviarios.  
Acciona Infraestructuras

Miguel Bello Mora  
Director General de Elecnor Deimos

Santiago Borrero Mutis. Secretario General del  
Instituto Panamericano de Geografía e Historia  
(IPGH).

Andrés Díez Galilea  
Vicepresidente del Instituto Nacional de  
Ingeniería Técnica Española (INITE)

Ignacio Durán Boo  
Director del Centro Experto de SIG y Catastro.  
Informática El Corte Inglés

Mark A. Hunt Ortiz  
M.Sc., Dr. (Eur) Arqueólogo. Director Arqueo-Pro  
G.I. Atlas (HUM-694). Universidad de Sevilla

Ourania Mavrantza  
Dra. Ingeniera en Teledetección. Gerencia  
del Sistema de Gestión de Calidad. Catastro  
Nacional de Grecia (KTIMATOLOGIO S.A.)

Javier Peñafiel de Pedro  
Director Regional España y Portugal TOPCON  
POSITIONING SPAIN

Benjamín Piña Patón  
Director del Área de Fomento en Cantabria.  
Representante del Estado en el Consejo de  
Ordenación del Territorio y Urbanismo

Jesús Velasco Gómez  
Director de Escuela Universitaria. E.T.S.I.  
Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad  
Politécnica de Madrid

# Análisis cartográfico de la evolución histórica de la laguna «Almarjal», Cartagena (España)

## *Cartographic analysis of the historical evolution of "Almarjal" lagoon, Cartagena (Spain)*

Josefina García León<sup>(1)</sup>, Antonio García Martín<sup>(2)</sup>, Manuel Torres Picazo<sup>(3)</sup>,  
María José Corbalán Hernández<sup>(4)</sup>

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 4-10  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

### Resumen

Este trabajo se ocupa de la evolución de la topografía de la ciudad de Cartagena a lo largo de la historia, con especial énfasis en la del antiguo estero o mar interior, luego laguna (Almarjal), que se rellenó y pasó a convertirse en la zona urbana denominada el Ensanche. Se ha realizado un análisis de la cartografía histórica disponible, completándola con información de otras fuentes. Se han seleccionado cuatro planos de 1907 que han sido georreferenciados mediante gvSIG y a partir de los cuales es posible reconstruir con suficiente precisión los límites del antiguo estero. También se ha localizado un plano con curvas de nivel que ha permitido conocer la topografía del fondo de la laguna durante el siglo XIX y estimar la cantidad de material que fue necesario emplear para rellenarla.

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación «Carthago Nova: Topografía y urbanística de una urbe Mediterránea privilegiada» (HAR2011-29330) del Ministerio de Economía y Competitividad, financiado parcialmente con Fondos FEDER.

### Abstract

*This issue is based on the evolution of the Topography of Cartagena's city, along the history, with special emphasis on the ancient inlet or inner sea, later lagoon (Almarjal), that was refilled and passed to be an urban zone nominated El Ensanche. An analysis of the historic cartography available has been done, completing it with other information sources. Four levels from 1907 have been selected, that have been georeferenced by means of gvSIG and therefrom it is possible to reconstruct with enough precision, the limits of the old inlet. A chart with contour lines has been found, that has let us know the topography of the bottom of the lagoon during XIX Century and estimate the quantity of material employed to be refilled.*

*This paper is part of the research project "Carthago Nova: Surveying and urban planning of a privileged Mediterranean city" (HAR2011-29330) of the Ministry of Economy and Competitiveness, partially financed by ERDF funds.*

Palabras clave: Almarjal, georreferenciación, sistema de referencia, modelo digital de elevaciones (MDE).

Keywords: Almarjal, georeferenciation, reference system, digital model of elevations (MDE).

(1) Universidad Politécnica de Cartagena. [josefina.leon@upct.es](mailto:josefina.leon@upct.es)

(2) Universidad Politécnica de Cartagena. [antonio.gmartin@upct.es](mailto:antonio.gmartin@upct.es)

(3) Universidad Politécnica de Cartagena. [manuel.torres@upct.es](mailto:manuel.torres@upct.es)

(4) Arquitecta Técnica. [mariajosech@hotmail.es](mailto:mariajosech@hotmail.es)

Recepción: 15-04-2013  
Aprobación: 15-08-2013

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las referencias a la ciudad de Cartagena (Quart Hadast para los cartagineses, Cartagho Nova para los romanos, Carthago Spartaria en la época bizantina y Qartayannat al-Halfa en la árabe) son frecuentes en los textos antiguos. Su emplazamiento y su bahía, un magnífico puerto natural, han condicionado la existencia y el relevante papel de la ciudad a lo largo de la historia [SAR89]. El casco histórico se encuentra protegido por cinco colinas (Molinete, Monte Sacro, Monte de San José, Despeñaperros y Monte de la Concepción) que en origen formaban parte de una península sobre la que se situaba la ciudad. La bahía se comunicaba con un estero o mar interior que servía de defensa por la parte norte pero que, a la vez, limitaba su expansión y que ya menciona Polibio en su descripción de la ciudad [PO88].

El contorno del estero fue transformándose desde la antigüedad, en parte por la acción antrópica a través de vertidos intencionados para ganar nuevos espacios al mar, en parte por los aportes de sedimentos procedentes de la Rambla de Benipila [RAM10]. La construcción del Arsenal Militar en tiempos de Felipe V, comenzada por el ingeniero Feringán y terminado por Vodopich en 1782, fue uno de los avatares importantes en la historia de Cartagena, pero supuso también el desvío de la rambla y la transformación del estero en una zona pantanosa (el Almarjal) ya que confluían allí las escorrentías de numerosas ramblas y acequias y su fondo arcilloso mantenía las aguas estancadas [PER86]. La obra del Arsenal provocó también el efecto de incrementar los riesgos de inundación en la ciudad [CON03].

La transformación urbanística de mayor repercusión en la historia de Cartagena es la derivada del Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de la ciudad, de 1896 [SAR89]. En su texto se achaca a la construcción del Arsenal, que privó a la zona del Almarjal de su salida al mar, buena parte de los problemas de salubridad de la zona [RAM96]. La desecación y posterior urbanización de la zona del Almarjal, que no se completó hasta el siglo XX, es la intervención de mayor repercusión sobre la imagen urbana de Cartagena [MAR04] y permitió resolver el problema de la demanda de suelo, además de los provocados por el antiguo estero [EGE99].

La reconstrucción de la traza de la ciudad y del perfil de la costa en la bahía y el estero a lo largo de los siglos solo había podido hacerse de forma aproximada, a partir de las descripciones y de los planos publicados por distintos autores. La cartografía realizada para servir de base a la construcción de obras militares documenta la evolución de la ciudad a partir del siglo XVII [MAR04], pero se echa en falta información planimétrica y altimétrica

precisa y bien referenciada que recoja las distintas etapas por las que ha pasado la historia de la ciudad y permita su comparación [RAM10].

El objetivo de este trabajo es contribuir a completar la documentación cartográfica de la evolución de la topografía de la ciudad, especialmente de la que corresponde a la zona del antiguo mar interior, luego laguna, que se rellenó entre los siglos XIX y XX. Uno de los aspectos más relevantes del análisis es el consistente en estimar el volumen de agua que podía contener el Almarjal y en intentar identificar la procedencia y cuantía de los distintos tipos de materiales empleados en la operación de relleno. Adicionalmente se han estudiado y caracterizado las tipologías constructivas y el uso actual de las edificaciones que se levantan en la zona que ocupaba la laguna.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de la evolución de la topografía de Cartagena a lo largo de su historia ha requerido recopilar toda la información cartográfica existente, así como cualquier documento que pudiera arrojar luz sobre dicha evolución. Se ha trabajado con planos antiguos y con cartografía actual, que ha servido de referencia a aquellos. Los mapas geológico y geotécnico han sido muy útiles puesto que han permitido contrastar los resultados obtenidos.

Cartografía antigua:

- En el Archivo Municipal de Cartagena se pudo obtener información de la enciclopedia «Historia de Cartagena», en la que figuran los planos del ataque de Escipión a Cartagena y recreaciones de la ciudad en las épocas púnica y romana. [MAS85]
- Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena, de 1896. Incluye unos planos muy valiosos para empezar a comprender cómo era la topografía de la ciudad de Cartagena en los siglos XVI, XVII y XVIII y uno de la Bahía de Cartagena con curvas de nivel. [RAM96]
- El libro de Manuel Fernández-Villamarzo titulado «Estudios Gráfico-Históricos de Cartagena» del que se han podido extraer planos de la ciudad de Cartagena de la época púnico-romana, siglo XVI, siglo XVIII y siglo XIX. [FER07]
- El Instituto Cartográfico de Cataluña dispone en su web de un plano de la Bahía de Cartagena redactado en 1839 según las mediciones de Vicente Tofiño de San Miguel y William Henry Smyth. [WAL39]
- Del libro Selections from Polybius, de J.L. Strachan-Davidson y publicado en 1888, se obtiene el plano de la ciudad de Cartagena en la época griega. [PO88]

**Cartografía moderna:**

- Cartografía actual de Cartagena disponible en la web de la Sede Electrónica del Catastro (<http://www.se-decatastro.gob.es/>). Con información alfanumérica de cotas de puntos, manzanas, parcelas y construcciones.
- Web Proyecto NATMUR-08 (<http://www.murcianatural.carm.es/natmur08>) y web de CARTOMUR, Infraestructura de datos espaciales de referencia de la Región de Murcia (<http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/>). Entre otros muchos datos, están disponibles las ortofotos de la ciudad de Cartagena desde 1928 hasta 2009, la cartografía digital y el modelo digital de elevaciones (Proyecto NATMUR, 2008).

**Cartografía geológica y geotécnica:**

- Mapa de zonificación geotécnica [MAN07] de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Mapa Geológico de España, hoja 977 (Cartagena) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 2004).

Para documentar la evolución de la topografía de la ciudad se eligieron, de entre todos los disponibles, los planos de Fernández-Villamarzo correspondientes a la época púnico-romana (siglo III a. C.) y a los siglos XVI, XVIII y XIX [FER07]. Otros planos potencialmente interesantes tuvieron que ser descartados, bien por no disponer de

información suficiente para que se pudiera tomar como referencia, bien por contener errores planimétricos importantes que se habían puesto de manifiesto gracias a estudios posteriores, como el del mismo Fernández-Villamarzo sobre el plano de Strachan-Davidson. Los planos elegidos no incluyen sistema alguno de coordenadas ni información sobre su escala o su orientación y, a priori, era difícil saber si son precisos o no. Tampoco incluyen información altimétrica.

Para poder utilizar los planos junto con la cartografía actual, comparándolos y extrayendo información fidedigna sobre la topografía antigua de la ciudad, y solucionar los problemas que hemos mencionado, se decidió georreferenciarlos con gvSIG una vez digitalizados. De las dos opciones posibles se eligió georreferenciar con cartografía de referencia, ya que la mejor manera de hacerlo consiste en identificar una serie de puntos de apoyo que aparezcan bien diferenciados tanto en el plano como en la cartografía actual. Para ello se eligió la ortofoto más moderna de las disponibles, que es de 2009 y está georreferenciada en el sistema ED50, cargándola en gvSIG junto con el plano del siglo XIX. Aunque el proceso puede funcionar con sólo tres puntos de apoyo, se consideró necesario conseguir al menos seis, bien distribuidos por toda la superficie del plano.

Es importante señalar que, dadas las circunstancias y teniendo en cuenta que los elementos identificables en

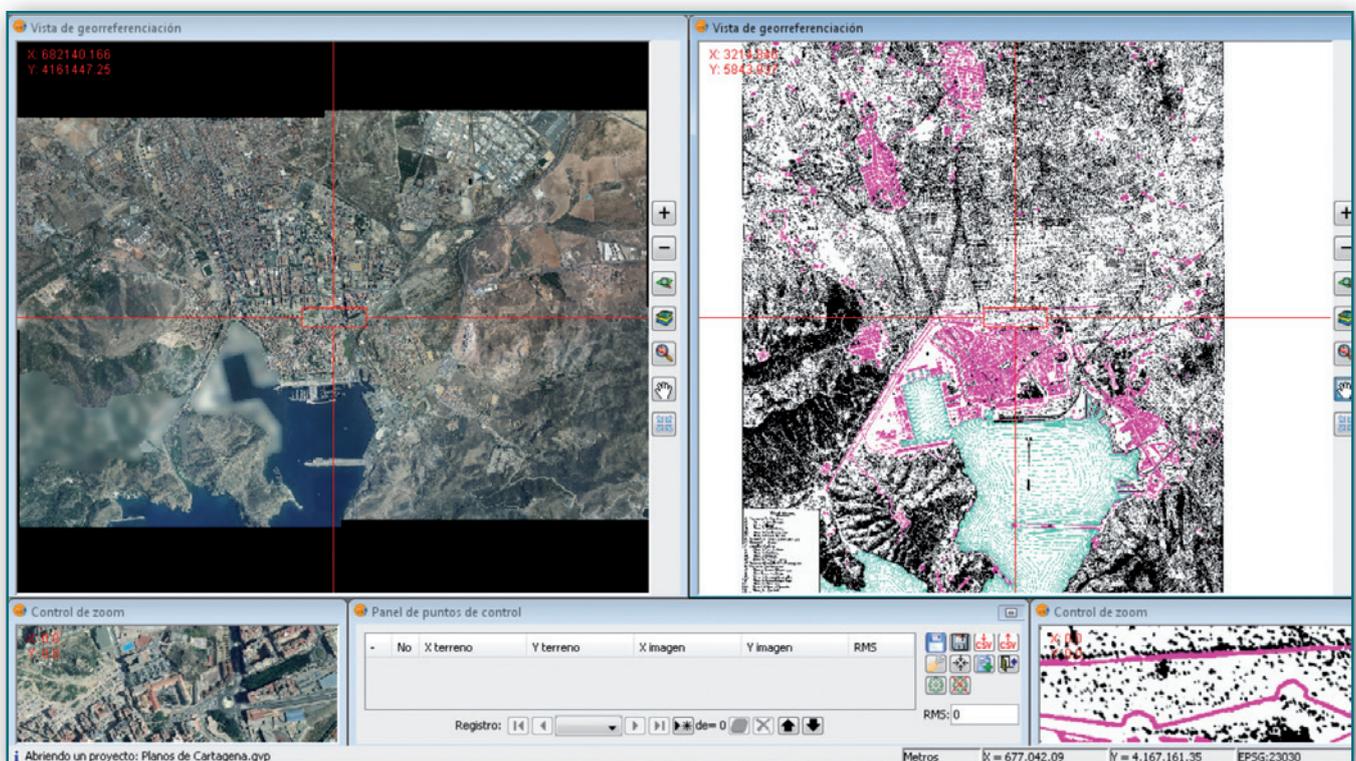


Figura 1. Georreferenciación del plano del siglo XIX

cada uno de los planos han ido modificándose a lo largo de la historia, la georreferenciación hubo de realizarse «hacia atrás», de forma que cada plano se georreferenciaba a partir del anterior y no todos ellos a partir de la ortofoto. En efecto, es muy difícil identificar elementos comunes y utilizables entre los planos que representan épocas más antiguas y la ortofoto, pero sí ha sido posible encontrar al menos seis puntos de apoyo entre cada par de planos consecutivos. De este modo, la ortofoto nos permitió georreferenciar el plano que representa la ciudad en el siglo XIX (Figura 1), éste se empleó para georreferenciar el correspondiente al siglo XVIII y así sucesivamente. En todos los casos se empleó un mínimo de seis puntos. La calidad de cada ajuste se pudo comprobar mediante los errores medios cuadráticos (RMS) y por superposición con la ortofoto de cada plano ya procesado.

Una vez georreferenciados los planos resulta fácil trasladar la situación antigua de la ciudad, la bahía y el estero a la cartografía actual determinando así cuál es la zona que ocupaba la laguna y el uso presente de ésta. Para comprobar los resultados se superpuso también la información correspondiente a la época púnico-romana sobre la cartografía geológica y geotécnica y se identificó el tipo de terreno correspondiente a los límites que hemos obtenido para la situación del Almarjal.

Puesto que los planos anteriores no disponen de información altimétrica, se georreferenció también el plano de avenamiento contenido en el Proyecto de Ensanche, que representa la topografía de la ciudad en el siglo XIX e incluye curvas de nivel [RAM96]. Este plano ha permitido

reconstruir la topografía del fondo de la laguna en la época previa al relleno definitivo del Almarjal y obtener un modelo digital de elevaciones inicial. La cartografía actual (Proyecto NATMUR, 2008) ha proporcionado la situación final y la comparación entre ambas ha servido para determinar las diferencias y estimar la cantidad de materiales de relleno que se necesitó emplear.

### 3. RESULTADOS

El plano del siglo XIX se georreferenció a partir de los únicos 6 puntos de apoyo que se pudo localizar. Se obtuvo un RMS de 0.178 píxeles que corresponde a 0.14m (el tamaño de píxel era de 0.83m). Los errores máximos obtenidos en los puntos de apoyo fueron de 9.76m para las X y de 5.15m para las Y. La superposición del plano georreferenciado y la ortofoto permitió comprobar el ajuste.

Para georreferenciar el plano del siglo XVIII, con ayuda del plano ya georreferenciado del siglo XIX, se localizaron 7 puntos de apoyo. El RMS obtenido fue de 2.026 píxeles. El plano del siglo XVI se georreferenció a partir del anterior mediante seis puntos de apoyo. Se obtuvo un RMS de 0.795 píxeles. El plano de la época púnico-romana se georreferenció mediante 6 puntos de apoyo, fundamentalmente accidentes geográficos ya que no cabía encontrar muchos elementos antrópicos comunes en dos planos que representan periodos de tiempo separados unos diecinueve siglos (Figura 2). El RMS fue de 2.403 píxeles.

La superposición del último plano con la cartografía actual muestra la situación originaria del estero y de su canal de desagüe (Figura 3). Puesto que cada plano se ha georreferenciado a partir del anterior los errores obtenidos se habrán ido acumulando, de manera que los mayores estarán en el último plano. Éste corresponde a la época más antigua (siglo III a. C.) y, por tanto, cabe esperar que la información que contiene sea menos precisa que la de otros posteriores, pues se basará más en descripciones que en mediciones topográficas. La traza de la bahía es precisa, tal como se aprecia al superponerla a la cartografía actual,

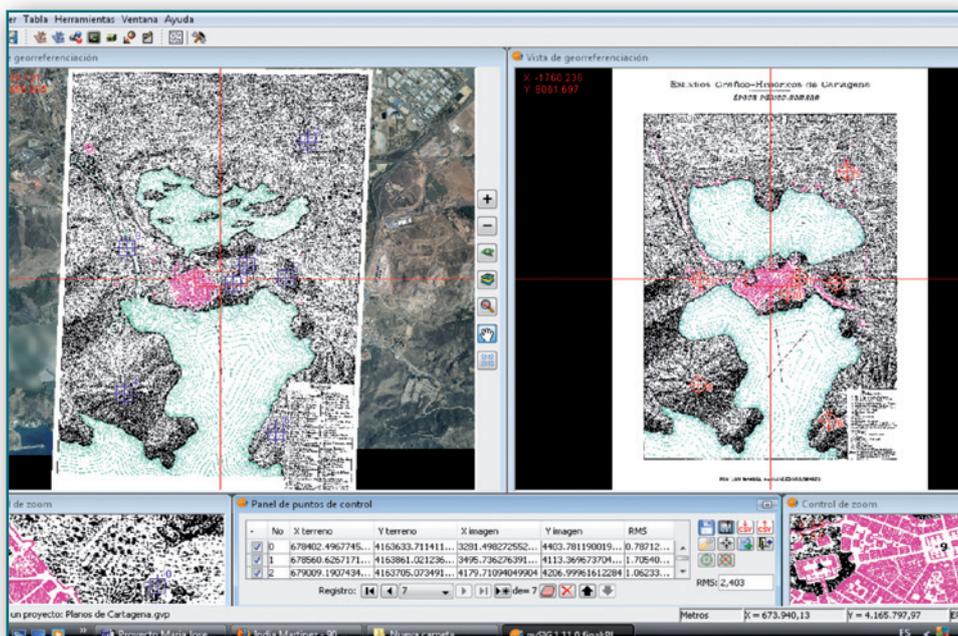


Figura 2. Georreferenciación del plano de la época púnico-romana

pero no podemos asegurar que lo sea también la del estero.

Para confirmar este punto se procedió a superponer el último de los planos con la cartografía geológica y geotécnica. El Mapa de zonificación geotécnica de la región [MAN07] permitió comprobar que la localización obtenida para el estero corresponde, casi al 100%, a arcillas blandas y fangos, lo que resulta coherente. La superposición con el mapa geológico (Figura 4) confirma que la superficie del Almarjal en la época púnico-romana coincide con la del lagoon que está marcada en dicho mapa (IGME, 2004). Se observa que de los 3 181 km<sup>2</sup> que tiene el área delimitada coinciden 1 946 km<sup>2</sup>, lo que supone más del 61% de la superficie. La información geológica no quiere decir que en épocas anteriores la laguna Almarjal ocupara la totalidad del área marcada.

Para realizar una estimación del volumen de material que hubo que aportar para rellenar el Almarjal se han empleado dos modelos digitales de elevaciones, uno correspondiente a finales del siglo XIX y otro actual. El del siglo XIX se ha creado a partir del plano de avenamiento que figura en el Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de la ciudad [RAM96] y que se muestra en la Figura 5. Es el único de los planos antiguos localizados que dispone de información altimétrica suficientemente precisa. La topografía del Almarjal en aquella época era diferente a la de la época púnico-romana, pues el antiguo mar interior ya se estaba colmatando desde antiguo, y nuestros cálculos se referirán, por tanto, sólo al material de relleno correspondiente al periodo transcurrido desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.

Para crear el MDE inicial se procedió a digitalizar las curvas de nivel del plano de avenamiento, cuya equidistancia es de 0.50m. A partir de ahí se realizó la rasterización de la capa vectorial y se generaron los valores intermedios por el método de splines.

El MDE actual se obtuvo descargando de la página web del proyecto NATMUR-08 (Proyecto NATMUR, 2008) dos modelos de alturas del terreno de las hojas 1:5.000, con un tamaño de píxel de 4x4m. Los modelos empleados fueron el 977 5-3 y el 977 6-3, que abarcan la zona de estudio y que se unieron en un único modelo.

Los dos MDE, siglo XIX y actual, se recortaron con la capa contorno que corresponde a los límites de la zona ocupada por el Almarjal en la época representada por el primero (Figura 6). El cálculo de volumen se hizo por diferencia de superficies entre ambos, empleando el MDE actual como superficie superior y el MDE del siglo XIX como superficie inferior.

La cubicación realizada con gvSIG dio como resultado un volumen de terraplén de 2 667 555 m<sup>3</sup> y un volumen de desmonte de 300 493m<sup>3</sup>.



Figura 3. Plano de la época púnico-romana sobre ortofoto



Figura 4. En rojo, límite del Almarjal en la época púnico-romana; en negro, límite del lagoon; en azul, superficie común

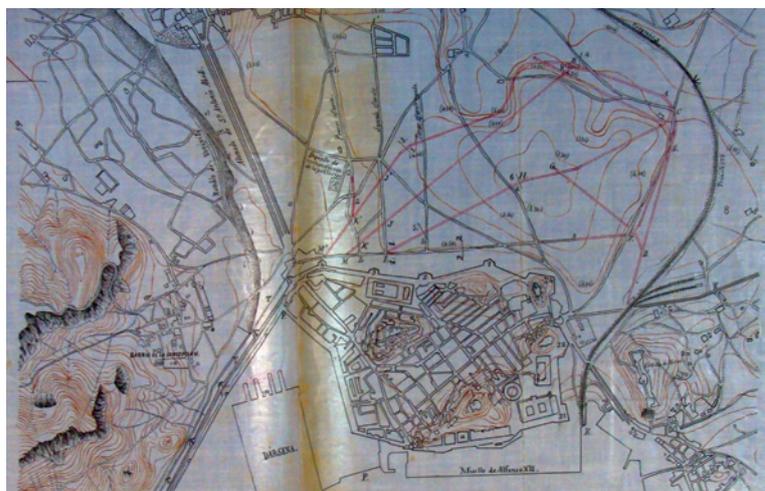


Figura 5. Plano de avenamiento del proyecto de Ensanche, reforma y saneamiento de Cartagena (Ramos, García y Oliver, 1896)

## 4. ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN GRÁFICA

Cartagena es una ciudad con multitud de restos arqueológicos y en la que la historia se hace presente gracias a los numerosos centros de interpretación que se han ido poniendo a disposición del público en los últimos años. Cualquier información que contribuya a un mejor conocimiento de la evolución histórica de la topografía de la zona que ocupa actualmente la ciudad es relevante y puede incorporarse a las de otros tipos (arqueológica, antropológica, histórica, etc.), completándolas y dándoles sentido. Los estudios que pretenden poner en valor este patrimonio deben abordarse desde una perspectiva multidisciplinar, que permita elegir con criterio entre todas las técnicas disponibles y aplicar las más adecuadas a cada caso.

La superposición de los planos georreferenciados con gvSIG con la situación actual ha permitido comprobar la calidad de la cartografía empleada, que fue realizada a principios del siglo XX. Los elementos que permanecen en la actualidad, como una buena parte de la línea de costa, las colinas y algunos elementos antrópicos, coinciden bien con su representación en los planos. Los errores obtenidos en el proceso de georreferenciación son razonables, dadas las circunstancias.

Se ha podido trasladar a un sistema de referencia actual la situación de los elementos geográficos desaparecidos, especialmente el estero y su comunicación con el mar. Dado que existían dudas sobre la precisión con la que se trazaron sus límites en los planos que se refieren a épocas más antiguas, se procedió a contrastarla con la información disponible en la cartografía geológica y geo-

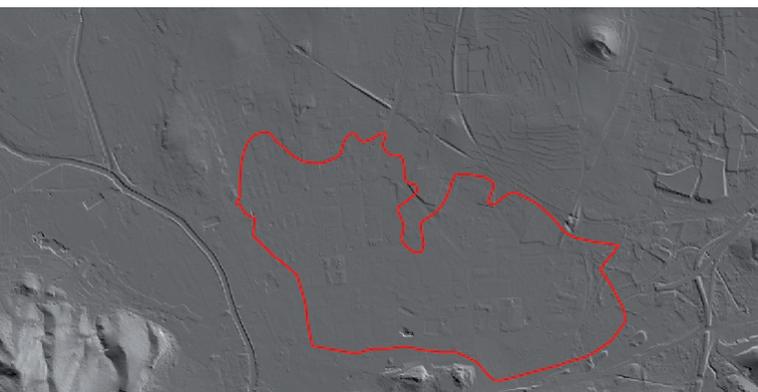


Figura 6. Relieve sombreado del MDE actual; en rojo, contorno del Almarjal en el plano de avenamiento del siglo XIX

técnica. La conclusión es que dicha información confirma que la situación del estero en los planos es correcta. Por

---

La superposición de los planos georreferenciados con gvSIG con la situación actual ha permitido comprobar la calidad de la cartografía empleada, que fue realizada a principios del siglo XX

---

tanto, la cartografía de Fernández-Villamarzo, una vez georreferenciada, puede emplearse como base para futuros trabajos de tipo histórico o para ubicar posibles restos arqueológicos relacionados con la actividad que pudo desarrollarse en torno al estero.

Se ha generado un modelo digital de elevaciones a partir de las curvas de nivel del plano de avenamiento de la ciudad perteneciente al Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento fechado en 1896 [RAM96]. Se ha obtenido un MDE actual de la cartografía digital disponible en Internet (Proyecto NATMUR, 2008). A partir de estos dos MDE se ha podido cuantificar la variación volumétrica en la zona del Almarjal desde el siglo XIX a la actualidad. Esta variación corresponde al relleno de la laguna que se proponía en el Proyecto de Ensanche y que, una vez completado en el siglo XX, permitió eliminar los problemas de salubridad generados por ella y aportó suelo urbanizable suficiente para el desarrollo de la ciudad. A lo largo de la historia se ha sustituido el Almarjal, que comprendía una superficie en planta de 2.024 km<sup>2</sup>, por una zona totalmente urbanizada que forma parte de la ciudad de Cartagena.

La realización de este trabajo es sólo el inicio de un camino apasionante. La integración de información de distintas fuentes permitirá determinar con gran precisión

---

La realización de este trabajo es sólo el inicio de un camino apasionante. La integración de información de distintas fuentes permitirá determinar con gran precisión la evolución topográfica de la ciudad Cartagena a lo largo de su historia

---

la evolución topográfica de la ciudad Cartagena a lo largo de su historia. Entre las fuentes de información que deben servir de base para futuros trabajos podemos citar:

- cartografía antigua que no se ha utilizado aquí
- registros históricos sobre el origen de los materiales empleados para el relleno del Almarjal (excavación del Monte de la Concepción, escombros provocados por los bombardeos de la Guerra Civil, etc.)
- sondeos geotécnicos realizados desde que en 1988 la normativa EHE los hizo obligatorios
- sondeos realizados específicamente para estudios arqueológicos

El empleo de herramientas como los SIG, además de contribuir a dotar de referencias comunes a toda la cartografía disponible, permitirá que toda la información geográfica generada pueda gestionarse y consultarse de forma unificada y fácil.

## REFERENCIAS

- [SAR89] Andrés Sarasa, J.L. (1989), «El diálogo puerto-ciudad en la Bahía de Cartagena», *Paralelo 37º*, 13, p. 7-23.
- CARTOMUR Infraestructura de datos espaciales de referencia de la Región de Murcia (1928 a 2009), *Ortofotos*, <http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/> fecha consulta sitio web: 11 de abril de 2013.
- [CON03] Conesa, C. y García García, E. (2003), «Las áreas históricas de inundación en Cartagena: problemas de drenaje y actuaciones», *Boletín de la A.G.E.*, 35, p. 79-100.
- [EGE99] Egea Bruno, P. (1999), *Cartagena imagen y memoria*, Artelibro, Elche.
- [FER07] Fernández-Villamarzo, M. (1907), *Estudios Gráfico-Históricos de Cartagena*, J.M. Rubio Paredes, Cartagena.
- Instituto Geológico y Minero de España IGME (2004), *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, hoja 977 (Cartagena)*, edición digital del Ministerio de Ciencia e Innovación.
- [RAM96] Ramos Bascuñana, F., García Faria, P., Oliver Rolandi, F. (1896), *Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena*. Ayuntamiento de Cartagena.
- [MAN07] Manteca, J.I. y Rodríguez Estrella, T. (2007), *Mapa de zonificación geotécnica de la Región de Murcia, escala 1:25.000*, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte.
- [MAR04] Martínez Andreu, M. (2004), «La topografía en Carthago Nova. Estado de la cuestión», *Mastia*, 3, p. 11-30.
- [MAS85] Mas, J. (1985), *Historia de Cartagena*, Ediciones Mediterráneo, Murcia.
- [PER86] Pérez Rojas, F.J. (1986), *Cartagena, 1874-1936 (Transformación Urbana y Arquitectura)*, Editora Regional, Murcia.
- [PO88] Polybius, Strachan-Davidson J. L. (1888), *Selections from Polybius*, editado por Strachan-Davidson, Oxford.
- Proyecto NATMUR-08, Catálogo de Geoservicios de Medio Natural (2008), *Vuelo fotogramétrico digital y levantamiento LIDAR de la Región de Murcia*, <http://www.murcianatural.carm.es/natmur08/> fecha consulta sitio web: 11 de abril de 2013.
- [RAM10] Ramallo, S. y Martínez Andreu, M. (2010), «El puerto de Carthago Nova: eje de vertebración de la actividad comercial en el sureste de la Península Ibérica», *Bollettino di Archeologia on line, Volume Speciale*, Roma 2008, International Congress of Classical Archaeology, p. 141-159.
- [WAL39] Walker, J., Walker, A. and Walker, C. (1839), *Cartagena: Spain south coast / from the surveys of don V. Tofiño and Captain W.H. Smyth*, Institut Cartogràfic de Catalunya. <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/singleitem/collection/espanya/id/2013/rec/33> fecha consulta sitio web: 11 de abril de 2013.

### Sobre los autores

#### Josefina García León

Doctora Ingeniera en Geodesia y Cartografía, área de Expresión Gráfica Arquitectónica, Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena.

#### Antonio García Martín

Doctor Ingeniero de Minas, área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena.

#### Manuel Torres Picazo

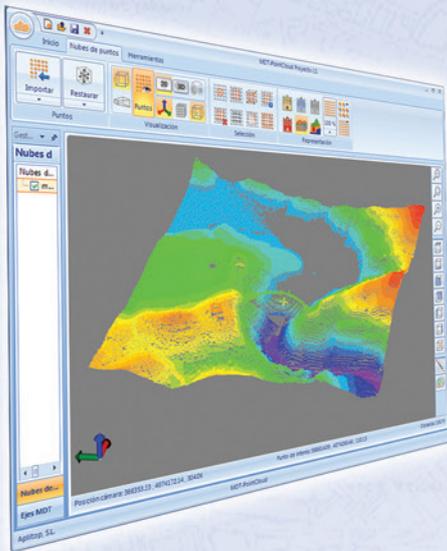
Ingeniero en Geodesia y Cartografía, área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena.

#### M<sup>a</sup> José Corbalán Hernández

Arquitecta Técnica, alumna interna del Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena.



# TcpMDT PointCloud



## Extensión de MDT para explotación de Nubes de Puntos

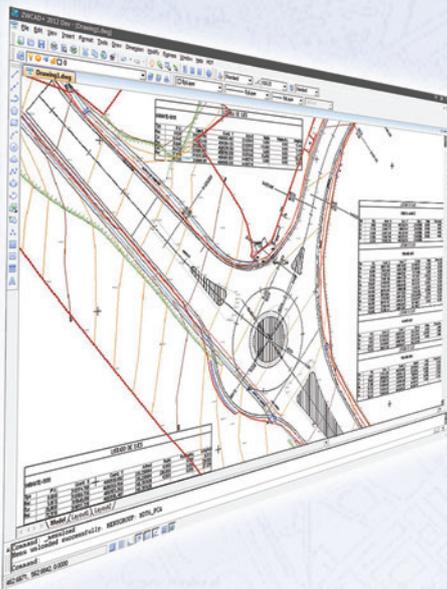
Aplicación integrada en TcpMDT que permite la visualización y explotación de nubes de puntos capturadas con tecnología LiDAR o escáners convencionales.

# Cursos OnLine



# TcpMDT CAD

Powered by ZWCAD+



## Proyectos de Topografía y CAD en un solo producto

Diseñado para aquellos profesionales que buscan una herramienta para la realización de proyectos sin necesidad de adquirir además una costosa plataforma CAD.

## Cursos On-line de MDT

Ofrecen tutoriales en video con audio y comentarios, documentación y manuales, cuestionarios de autoevaluación y ejercicios prácticos. También incluyen el apoyo de un tutor para resolver cualquier cuestión.

# EN CONTINUA INNOVACIÓN



# Análisis multicriterio para la localización de una planta de reciclaje de vidrio en el entorno del Parque Nacional de Monfragüe, Extremadura (España)

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 12-19  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

*Multicriteria analysis for deciding the Glass Recycling Facilities potential location in Monfragüe National Park Area, Extremadura (Spain)*

David Lagar Timón<sup>1</sup>, Manuel Pulido Fernández<sup>2</sup>

## Resumen

El Parque Nacional de Monfragüe (PNM) y su entorno representan un área de importancia natural en la que cualquier actividad económica debe ser planificada previamente, buscando el equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación medioambiental. En este trabajo se seleccionaron lugares potencialmente aptos para una posible ubicación de una planta de reciclaje de vidrio mediante técnicas SIG y Evaluación Multicriterio (EMC), considerando 10 factores físico-ambientales (ZEPA, LIC, usos del suelo, geología, pendientes, ríos, embalses, geomorfología, edafología y altitud) y 4 socioeconómicos (asentamientos humanos, carreteras, puntos de interés turístico y presencia del ferrocarril). La aptitud del territorio fue medida en una escala que varía entre 1 (zona no apta) y 5 (zona de máxima aptitud). Se encontraron 4 emplazamientos idóneos para la instalación (aptitud > 4.80), situados todos ellos en el término municipal de Malpartida de Plasencia al noroeste del área de estudio. Dichos emplazamientos se encuentran alejados de las zonas de mayor protección y de los cursos de agua, cercanos a las principales vías de comunicaciones y núcleos de población, a bajas altitudes, con escasas pendientes y no son visibles desde los puntos de interés turístico.

## Abstract

*Monfragüe National Park (PNM) area is an important protected natural territory where economical activities must be previously planned looking for a balance between economic development and environmental conservation. In this paper, potential places to locate a Glass Recycling Facilities Installation were chosen by Multicriteria Evaluation (EMC) and GIS techniques, considering 4 socioeconomic (villages, roads, points of touristic interest and railway presence) and 10 environmental factors (areas of special protection for birds, places of common interest, land use, geology, slopes, rivers, dams, geomorphology, edaphology and elevation). The land aptitude range from 1 (non apt area) to 5 (optimum area). Four potential locations were found (land aptitude > 4.80), all of them in the municipality of Malpartida de Plasencia in the northwestern of the study area. These places are located far away of the mean protected areas and rivers, close to roads and villages, with low elevations and slopes and are not visible from touristic points.*

**Palabras clave:** planta de reciclaje de vidrio, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Evaluación Multicriterio, Parque Nacional de Monfragüe.

**Keywords:** glass recycling facilities, Geographical Information Systems, Multicriteria Evaluation, Monfragüe National Park.

(1) Departamento de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura.  
dlagar@unex.es

(2) Grupo de Investigación Geoambiental. Universidad de Extremadura.  
mapulidof@unex.es

Recepción: 02/07/2013  
Aprobación: 27/08/2013

## 1. INTRODUCCIÓN

La localización de actividades, el estudio de la estructura económica de un territorio, el patrimonio cultural y ambiental y, sobre todo, el desarrollo local son aspectos que deben ser tenidos en cuenta por las administraciones con competencias en ordenación del territorio. La determinación de la posición más adecuada en la localización de diversos tipos de instalaciones es un importante problema geográfico, con significativas repercusiones económicas, sociales y ambientales [BOS00], especialmente, en áreas de gran riqueza natural como el caso de Monfragüe.

La protección y conservación de dichas zonas debe ser un objetivo primordial tanto para las administraciones competentes (locales, regionales y nacionales) como para todos los agentes sociales implicados. En el caso del área de estudio el marco legal viene definido por la Ley de Conservación de la Naturaleza y de Espacios Naturales de Extremadura (Ley 8/1998 de 26 de junio) y sus figuras de protección [LAG05]. Por otra parte, el marco de conservación establecido no debe suponer un freno a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes ya que se trata de una zona deprimida económicamente y con escasos efectivos demográficos.

Por estos motivos se debe impulsar un desarrollo socioeconómico de la zona compatible con la legislación ambiental actual, que permita la fijación de población en los núcleos rurales mediante la generación de riqueza y empleo, y a su vez, logre conservar la biodiversidad natural del entorno.

La capacidad de acogida o aptitud que tiene un territorio para una actividad económica debe ser medida en función de cómo el medio cubre sus requisitos locacionales y los efectos que dicha actividad tiene sobre el medio [GOM92]. Esa actividad o uso del suelo evaluado optimizará su localización cuando se asigne a un lugar que cuente con la mayor aptitud y el menor impacto posible [GOM05].

En este artículo se analiza la viabilidad para la construcción, a propuesta de promotores privados, de una planta de reciclaje de vidrio en el seno del Parque Nacional y Reserva de la Biosfera de Monfragüe. La ubicación estratégica del emplazamiento, comunicado por autovías con las principales ciudades del oeste peninsular, y en pleno corredor del norte de Extremadura, le confiere un importante potencial de desarrollo socioeconómico. Por tratarse de un complejo industrial de pequeño tamaño (puede localizarse en polígonos industriales), poco contaminante y que no necesita condiciones especiales de seguridad. El objetivo general es decidir los lugares más adecuados para la localización de dicha instalación.

A su vez, se pretende testar herramientas de planificación territorial que sirvan como apoyo, de una manera objetiva y coherente, en la toma de decisiones. Dicha actividad fue clasificada del tipo deseado/deseable por [BOS00]. En este tipo de infraestructuras el 100 % del vidrio que entra en la planta es reciclable, puesto que una vez que es almacenado y tratado se transforma en envases para el mercado, sin provocar desechos contaminantes de especial interés. Por lo tanto, se trata de una actividad que en principio estaría en consonancia con el tipo de usos del suelo que permite la legislación del entorno del Parque Nacional de Monfragüe (PNM). Además, se debe tener en consideración que el emplazamiento de instalaciones relacionadas con la gestión de los residuos, que se puedan generar en la planta, es menos problemática incluso que la gestión de residuos urbanos. Es importante señalar que el reciclaje de vidrio necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesitan unas 4 200 kilocalorías de energía. Además, el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica que provocaría por el proceso habitual, y disminuye en un 40% la contaminación de agua [POR02].

Mediante técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC): [CAR91], [BAR96], [EAS98], [MAL99], [THI99], [GOM05], valoraron la aptitud del territorio estableciendo una serie de criterios de selección. Parte de estos trabajos se centraron en considerar los criterios relevantes para resolver el problema inicial y en valorar la importancia relativa que tiene cada criterio en el cómputo global.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Monfragüe se sitúa en la provincia extremeña de Cáceres, aproximadamente en el centro del triángulo que forman las localidades de Navalmoral de la Mata, Plasencia y Trujillo (Figura 1). Se trata del espacio natural protegido más importante de la Comunidad Autónoma de Extremadura y, probablemente, de uno de los más importantes del conjunto nacional español.

El área de Monfragüe fue declarada Parque Natural en 1979 (Real Decreto 1927/1979 de 4 de abril). En julio de 2003, el Consejo Internacional de Coordinación del Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO la incluyó en la Red Mundial de Reservas de Biosfera y, finalmente, en marzo de 2007 se declaró a la zona Parque Nacional (Ley 1/2007 de 2 de marzo), culminando así un largo camino en pro de la protección ambiental de esta área.

La zona representa uno de los enclaves más extensos e importantes de bosque y matorral mediterráneo donde predominan las formaciones de *Quercus suber* y *Quercus*

*rotundifolia* [ESC98]. A su vez, coexisten diversos usos del suelo: agrícola, ganadero, forestal y cinegético, que originan un sistema agrosilvopastoril de gran biodiversidad [FER07].

El PNM ocupa una superficie de 17 852 hectáreas, afectando a 7 términos municipales: Casas de Miravete, Jaraijejo, Malpartida de Plasencia, Serradilla, Serrejón, Toril y Torrejón el Rubio. Dentro de sus límites se encuentran la Sierra de Mingazo y el tramo del río Tajo que va desde el Salto del Corzo al Salto del Gitano, incluyendo la desembocadura del río Tiétar.

El área de estudio abarca también el límite marcado por la Reserva de la Biosfera de Monfragüe (RBM), que se extiende sobre una superficie de 116 000 hectáreas y se localiza a ambos márgenes del río Tajo (Figura 1). Este espacio lo forman 14 municipios, con una población total de 12 597 habitantes (Cifras del Padrón Municipal a 1 de enero de 2009) y con una densidad poblacional de 6.6 hb/km<sup>2</sup>.

La RBM se divide en tres zonas principales: a) zona núcleo (12 830 ha) donde sólo se permiten trabajos de investigación y aprovechamientos tradicionales compatibles. En esta zona se encuentra el PNM; b) zona tampón o de amortiguamiento (15 630 ha) en la que se realizan actividades educativas, turísticas y de investigación que no afecten a la zona núcleo; c) zona de transición (87 970 ha) donde predominan los espacios adeshados.

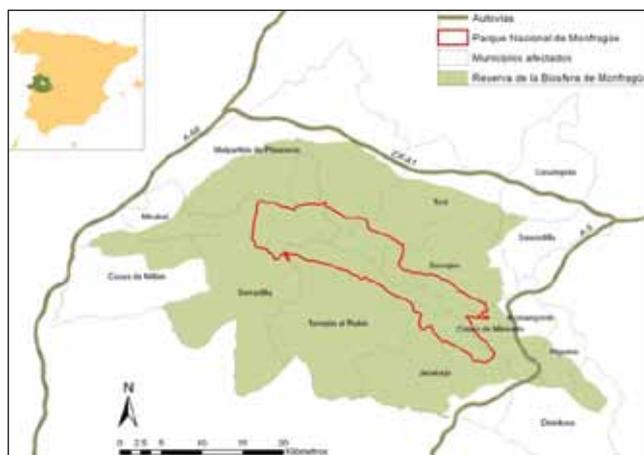


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo del presente trabajo se esquematiza en varias fases. La primera de ellas, consistió en una recopilación de la información necesaria para la construcción de una base de datos espacial. A continuación, se definieron los criterios de decisión, estableciendo una diferenciación

Mediante técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) valoraron la aptitud del territorio estableciendo una serie de criterios de selección.

Parte de estos trabajos se centraron en considerar los criterios relevantes para resolver el problema inicial y en valorar la importancia relativa que tiene cada criterio en el cómputo global

entre factores físico-ambientales y socioeconómicos. El siguiente paso consistió en dar una importancia relativa a los distintos factores por medio de ponderaciones. Finalmente, se realizó un análisis espacial de dichos factores con técnicas SIG, en base a los cuales se determinaron los emplazamientos idóneos para la instalación de la planta de reciclaje de vidrio.

La base espacial de datos construida se nutrió de la siguiente información cartográfica recopilada:

- Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de Extremadura de 25 metros de pixel de la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura.
- Mapa Geológico a escala 1:300.000 del Instituto Hidrogeológico y Minero.
- Plan Forestal de Extremadura 2003 a escala 1:200.000.
- Mapas topográficos del área de estudio a diferentes escalas.
- Mapa Geomorfológico a escala 1:200.000 suministrado por el Departamento de Arte y Ciencias del Territorio de la Universidad de Extremadura.
- Cartografía Digital de la Comunidad Autónoma de Extremadura. Red Natura 2000 (ZEPA y LIC) del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

La EMC ha sido utilizada por muchos autores [JAN90], [CAR91], [LOK07] y es el tipo de evaluación más frecuentemente implementado en los SIG [GOM05]. Con el objetivo de determinar zonas óptimas se definen los criterios que acaban constituyendo la matriz de evaluación en base a una serie de condiciones iniciales necesarias:

- a. La planta ha de situarse a más de 1500 metros del perímetro de protección ambiental y a la distancia adecuada de cursos fluviales, embalses, asentamientos de población y vías de comunicación.
- b. Los usos del suelo tienen que ser los adecuados, descartando aquellos con un importante valor ambiental y ecológico.
- c. Son convenientes las áreas de baja altitud y con pendientes poco pronunciadas.
- d. Se ha de evitar que el emplazamiento escogido sea visible desde puntos de gran interés turístico (Castillo de Monfragüe, Salto del Gitano o la Ermita de Monfragüe, entre otros).
- e. Hay que evitar ciertas áreas litológicas donde anidan especies en peligro de extinción.
- f. Los emplazamientos escogidos deben tener una extensión adecuada.

Es necesario establecer una jerarquía en la matriz de evaluación, por ello hay que definir pesos (Wj) a las variables que van a formar parte de la decisión final (Tabla 1). El peso estará directamente relacionado con la importancia relativa en el proceso de decisión. Se ha utilizado el método de ponderación por asignación directa [BAR96]. Se da mayor peso a los factores físico-ambientales que a los socio-económicos por tratarse de una zona con bajas densidades de población y poblamiento disperso en la que predominan los parajes naturales.

TIPO DE FACTORES	FACTOR	ÍNDICE DE PONDERACIÓN
SOCIO-ECONÓMICOS Ponderación total (Wj): <b>0.24</b>	ASENTAMIENTOS HUMANOS	0.10
	CARRETERAS	0.08
	PUNTOS DE INTERÉS TURÍSTICO	0.03
	FF.CC.	0.03
FÍSICO-AMBIENTALES Ponderación total (Wj): <b>0.76</b>	ZEPA	0.14
	LIC	0.12
	USOS DEL SUELO	0.11
	GEOLOGÍA	0.10
	PENDIENTES DEL TERRENO	0.07
	RÍOS	0.05
	EMBALSES	0.05
	GEOMORFOLOGÍA	0.04
	EDAFOLOGÍA	0.04
	ALTITUD	0.04

Tabla 1. Factores e índice de ponderación considerados en la superposición de pesos

Toda la información geográfica está almacenada en capas con variables dispuestas en diferentes unidades de medida (grados, metros, etc.). A partir de análisis espaciales y mediante procesos de reclasificación se logra estandarizar los valores: 1 (zona no apta); 2 (zona poco apta); 3 (zona con aptitud media); 4 (zona bastante apta); y 5 (zona de máxima aptitud). Existen factores limitantes que no tienen la misma importancia a la hora de elaborar el análisis: ZEPA y LIC. La superposición de capas median-

GRADO DE APTITUD					
FACTOR	5 – Máxima apt.	4- Bastante apt.	3- Aptitud med.	2-Poco apto	1-No apto
ZEPA, LIC	Dist. > 1500 m.	-	-	-	Dist. ≤ 1500 m
Usos del suelo	Industrial Comercial Sis. agroforestal	Cultivos anuales c/ espacios de vegetación nat.	Otros pastizales Mosai- cos de cultivos	Otras frondosas de plantación Praderas Pastizales	Tejido urbano Huertas Oliveros Pináceas Pe- rennifolias Quejigales Caducifolias Rebollares Formaciones de ma- torral
Geología	Pizarras y grauvacas	Precámbrico-Cámbrico (metamórficos)	Granitos de dos micas	Aluviales y coluviales Areniscas y conglome- rados Calizas y dolo- mías Pelitas	Cuarcitas
Pendiente	< 4°	4-8°	8-12°	12-20°	> 20°
Ríos (Distancia)	> 1000 m	750-1000 m	500-750 m	250-500 m	< 250 m
Embalses (Dist.)	> 2000 m	1500-2000 m	1000-1500 m	500-1000 m	< 500 m
Geomorfología	Superficie de erosión general	Depresiones estructu- rales de sedimentación	Diversos tipos de glacia	Mesas	Áreas montaña Relieves de dureza Formas fluviales de desección
Edafología	Tierras pardas meridio- nales sobre pizarras y granitos	Suelos pardos y tierras pardas con Pseudogley Tierras pardas subhú- medas con granitos y pizarras	Suelos arenosos	Suelos policíclicos rojos y pardo amarillento Suelos rojos y pardo amarillento sobre pizarras	Suelos aluviales
Altitud	< 400 m	400-475 m	475-550 m	550-650 m	650-828 m

Tabla 2. Aptitud del territorio para los factores físico-ambientales valorados

te la ponderación de pesos, a su vez, permite crear análisis integrados, de manera que el resultado final es el fruto de la información procedente de todas las capas utilizadas según su importancia.

El cálculo utilizado en el procedimiento del EMC es una sumatoria lineal ponderada muy empleada por ser sencilla, intuitiva y fácil de implementar: [MEN97], [EAS98], [RID98], [GOM05], [SAN08]. Su fórmula matemática es la siguiente:

$$R_i = \sum^n W_j V_{ij}$$

Donde:

$R_i$  es la adecuación de todas las contribuciones en cada pixel en el resultado final.

$W_j$  es el peso asignado a cada criterio  $j$ .

$V_{ij}$  es el valor de ponderación del peso específico  $W_j$  en el global de los pesos.

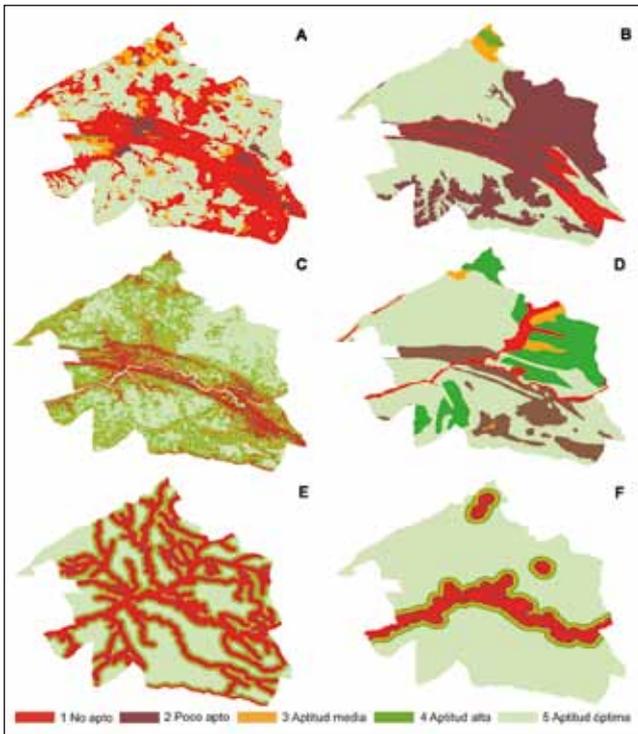


Figura 2. Representación espacial de los valores de aptitud en función de los principales factores ambientales considerados: A- usos del suelo; B- geología; C- pendientes; D- edafología; E- ríos; y F- embalses

Toda la información geográfica está almacenada en capas con variables dispuestas en diferentes unidades de medida (grados, metros, etc.). A partir de análisis espaciales y mediante procesos de reclasificación se logra estandarizar los valores: 1 (zona no apta); 2 (zona poco apta); 3 (zona con aptitud media); 4 (zona bastante apta); y 5 (zona de máxima aptitud)

Se realizaron análisis de proximidad para evitar áreas protegidas (ZEPA y LIC), análisis de distancias para valorar la aptitud del territorio con respecto a ríos, embalses, núcleos de población y vías de comunicación, análisis de visibilidad con respecto a los puntos de interés turístico y modelos digitales de elevaciones y pendientes. Además, se valoró el grado de aptitud-impacto de los diferentes tipos de suelo en función de sus usos y propiedades y de los rasgos geológicos y geomorfológicos que caracterizan la zona.

Para los asentamientos humanos se consideraron los principales núcleos de población: Malpartida de Plasencia, Serradilla, Torrejón el Rubio, Mirabel, Toril, Serrejón, Casas de Miravete y Jaraicejo y 2 entidades locales menores: Villarreal de San Carlos (Serradilla) y La Herguijuela (Toril). Los puntos turísticos considerados fueron el Castillo de Monfragüe, las Iglesias de San Javier de Jaraicejo y de San Pedro de Malpartida de Plasencia, las Ermitas de Monfragüe, de San Gregorio, de la Soledad y de la Peñuela, un mirador de Malpartida de Plasencia y un merendero con ruinas históricas a su alrede-

GRADO DE APTITUD					
FACTOR	5 – Máxima apt.	4- Bastante apt.	3- Aptitud med.	2-Poco apto	1-No apto
Asent. Humanos	Dist > 1 km	-	-	-	Dist ≤ 1 km
Puntos turísticos	No visible				Visible
Carreteras	Dist ≤ 1.5 km	Dist.: 1.5-2 km	Dist.: 2-3 km	Dist.: 3-5 km	Dist. > 5 km
Ferrocarril	Dist ≤ 2 km	Dist.: 2-3 km	Dist.: 3-4 km	Dist.: 4-5 km	Dist. > 5 km

Tabla 3. Aptitud del territorio para los factores socioeconómicos considerados

dor situado en el término municipal de Jaraicejo. El Castillo y la Ermita de Monfragüe son los monumentos más visitados

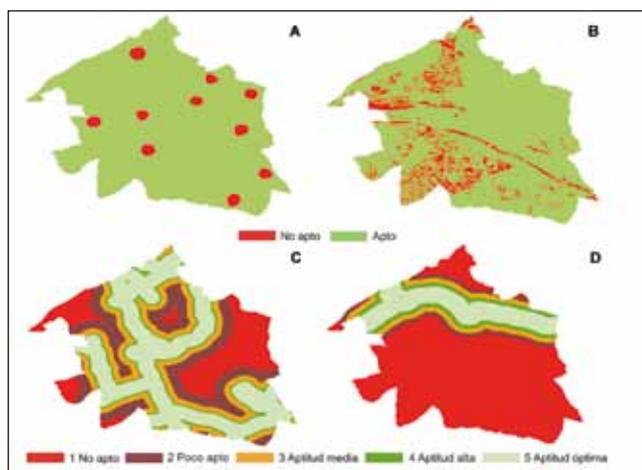


Figura 3. Representación espacial de los valores de aptitud en función de los principales factores socioeconómicos considerados: A- asentamientos humanos; B- puntos turísticos; C- carreteras; y D- ferrocarril

## 4. RESULTADOS

En la Figura 4 se puede ver el resultado final fruto de la combinación de todos los factores considerados con su respectiva ponderación. Todos los emplazamientos idóneos se encontraron dentro del término municipal de Malpartida de Plasencia, el de mayor extensión y el más cercano a la ciudad de Plasencia.

La idoneidad del lugar responde a varios motivos:

Finalmente, se realizó un análisis espacial de dichos factores con técnicas SIG, en base a los cuales se determinaron los emplazamientos idóneos para la instalación de la planta de reciclaje de vidrio

- Se ubica lo suficientemente lejos de los Espacios Naturales Protegidos (ENP), especialmente de las zonas ZEPa y LIC.
- Se sitúa a baja altitud y en zonas con escasas pendientes.
- Se localiza a la distancia adecuada de los cauces de agua, evitando un posible riesgo de contaminación de los mismos y estando, a su vez, lo suficientemente cerca para llevar a cabo infraestructuras hidráulicas en el caso de ser necesarias.
- Se encuentra cerca de las vías de comunicación para el transporte de materiales: línea de ferrocarril Madrid-Lisboa y autovías A-66 y EX-A1.
- La instalación no sería visible desde ningún punto turístico importante.
- El núcleo urbano más cercano (Malpartida de Plasencia)

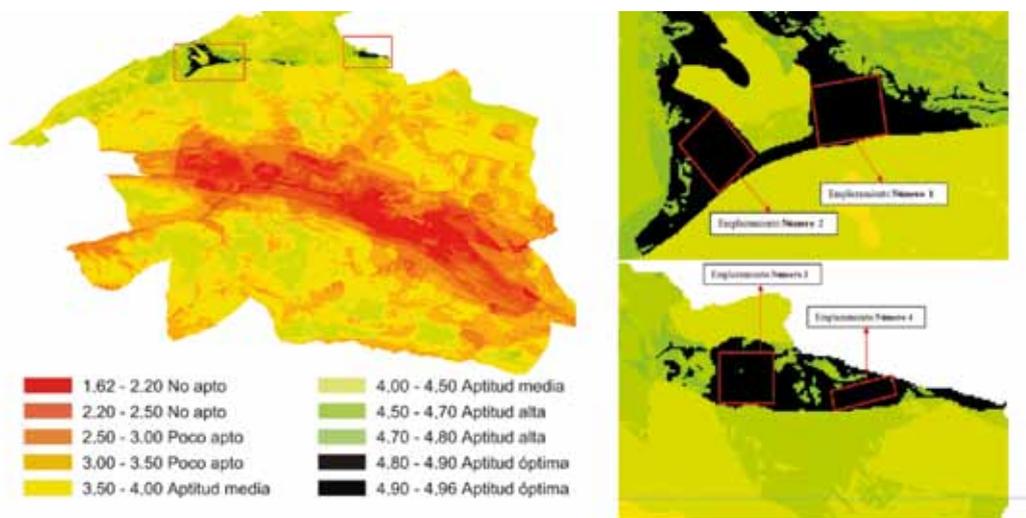


Figura 4. Localización óptima de la planta de reciclaje de vidrio

cia) se encuentra a la distancia adecuada, lo suficientemente lejos como para no incomodar sus actividades a los vecinos y lo bastante cerca para que potenciales trabajadores de la localidad no tengan un excesivo coste económico en sus desplazamientos.

Finalmente, se seleccionaron 4 emplazamientos con la extensión necesaria para la ubicación de la planta dentro de las áreas de máxima aptitud (Figura 4).

Rango de aptitud	Valoración	Hectáreas	Porcentaje
1.62 – 2.50	No apto	17852	15.39
2.50 – 3.50	Poco apto	14304	12.33
4.00 – 4.50	Aptitud media	77043	66.42
4.50 – 4.80	Aptitud alta	4700	4.05
4.80 – 4.96	Localización óptima	2 01	1.81

Tabla 4. Rango de aptitud del área de estudio

Como se observa en la Tabla 4, el rango de aptitud media es el que mayor superficie representa, con el 66.42 % de la superficie total. La superficie clasificada como no apto representa el 15.39 % sobre el total, y pertenece al área ocupada por el Parque Nacional de Monfragüe. Finalmente, el área clasificada como localización óptima está representada por 2 101 hectáreas de terreno sobre el total.

## 5. CONCLUSIÓN

En este trabajo se exponen resultados obtenidos a partir de EMC y SIG que han permitido seleccionar, de una forma ágil e integral, emplazamientos óptimos para un tipo de instalación industrial de bajo impacto ambiental. No obstante, sería necesario realizar un análisis social más profundo para conocer la opinión de los vecinos implicados e impedir posibles problemas futuros de rechazo social y un análisis de viabilidad económica que permita dilucidar las posibilidades reales de que un proyecto de esta índole pueda salir adelante.

El proceso de análisis ha consistido, esencialmente, en una superposición cartográfica de los criterios planteados inicialmente que ha posibilitado el conocimiento y jerarquización del grado de acogida del territorio. De esta manera se hace más objetiva la toma de decisiones en cualquier proceso planificador, al atender a un conocimiento real del territorio.

Apoyándose en estos análisis se han conseguido descartar grandes extensiones de terreno no aptas para este tipo de instalaciones, ciñendo el estudio a 4 áreas muy concretas. A partir de este conocimiento habría que buscar información sobre la propiedad del suelo y posibles agentes inversores que estuvieran interesados en participar en la construcción de la planta.

En este trabajo se exponen resultados obtenidos a partir de EMC y SIG que han permitido seleccionar, de una forma ágil e integral, emplazamientos óptimos para un tipo de instalación industrial de bajo impacto ambiental

No obstante, y a pesar de las ventajas que supone la instalación de la infraestructura analizada, como pueden ser del tipo ambientales y otras de carácter socioeconómico como la creación de empleo, la propuesta inicial de emplazamiento por parte de promotores privados no parece la más adecuada, pues la planta de reciclado sería una fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>, y aunque no quedaría demostrado, podría producir contaminación de las aguas superficiales durante el proceso de fundición del material vítreo. Por otra parte, y aunque el análisis multicriterio ha demostrado la viabilidad para la construcción de la infraestructura, de cara a la opinión del turismo se puede producir una valoración negativa. Por estos motivos se desaconsejaría la construcción de este tipo de infraestructuras en un entorno ambientalmente tan emblemático.

## REFERENCIAS

- [BAR96] Barredo Cano, J.I. (1996). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. RA-MA. Madrid.
- [BOS00] Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Moreno Jiménez, A. & Dal Pozzo, F. (2000). Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos. Estudios Geográficos 241: 567-598.
- [CAR91] Carver, S.J. (1991). Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographic Information Systems. International Journal of Remote Sensing 5(3): 321-339.
- [EAS98] Eastman, J.R., Jiang, H. & Toledano, J. (1998). Multi-criteria and multiobjective decision making for land allocation using GIS. En: Beinat, E. & Nijkamp, P.

- (Eds.). *Multicriteria Analysis for land use management*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 227-251.
- [ESC98] Escudero, J., Cabezas, J., Buyolo, T. & Troca, A. (1998). Ordenación de los Complejos Ambientales del Parque Natural de Monfragüe y área de influencia. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura y Caja Duero. Cáceres.
- [FER07] Fernández Pozo, L., Patón, D., Buyolo, T., Cabezas, J.A. & Venegas, F. (2007). Fertilidad física de suelos bajo encinares y alcornoques en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe. En: Hermoso Ruiz, F. (Ed.). Libro de actas del VII Congreso de Estudios Extremeños. pp. 1249-1258.
- [GOM92] Gómez Orea, D. (1992). Evaluación de Impacto Ambiental. Agrícola Española. Madrid.
- [GOM05] Gómez Delgado, M. & Barredo Cano, J.I. (2005). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. RA-MA. Paracuellos de Jarama.
- [JAN90] Janssen, R. & Rietveld, P. (1990). Multicriteria Analysis and Geographical Information Systems: An application to agricultural land use in the Netherlands. En: Scholten, H.J. & Stillwell, J.C.H. (Eds.). *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 129-139.
- [LAG05] Lagar Timón, D., Macías Domínguez, S., Pulido Fernández, M. & Sánchez Lorenzo, A. (2005). Marco legal extremeño para la protección de los espacios naturales. Referencias al contexto comunitario y español. En: Mora Aliseda, J. & Dos Reis Condesso, F. (Eds.). Políticas urbanas y territoriales en la Península Ibérica. Serie de Estudios Portugueses, 28, Editora Regional de Extremadura, GIT. pp. 43-54.
- [LOK07] Loken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(7): 1584-1595.
- [MAL99] Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria decision analysis*. John Wiley and Sons. Nueva York. Estados Unidos.
- [MEN97] Mendoza, G.A. (1997). A GIS-based multicriteria approach to land use suitability assessment and allocation. En: *Proceedings of the Seventh Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*. USDA Forest Service. Traverse City. Estados Unidos.
- [POR02] Porter, Richard C. (2002). *The Economics of Waste*. Washington, D.C. Resources for the Future Press.
- [RID98] Ridgley, M.A. & Heil, G.W. (1998). Multicriteria planning of protected- area buffer zones: an application to Mexico's Izta-Popo National Park. En: Beinart, E. & Nijkamp, P. (Eds.). *Multicriteria Analysis for land use management*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 293-309.
- [SAN08] Santé-Riveira, I., Crecente-Maseda, R. & Miranda-Barrós, D. (2008). GIS-based planning support system for rural land-use allocation. *Computers and Electronics in Agriculture* 6(3): 257-273.
- [THI99] Thill, J.C. (1999). Spatial multicriteria decision making and analysis. A geographic information sciences approach. Aldershot. Ashgate.

## Sobre los autores

### David Lagar Timón

Geógrafo e investigador predoctoral en el Departamento de Ingeniería gráfica, geomática y proyectos de la Universidad de Extremadura. Posee el Máster Internacional a Distancia: X Edición de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Gerona y un Máster de Desarrollo Local. Agenda 21 por la Universidad de Extremadura. Su experiencia profesional se desarrolla como Técnico en Análisis Territorial en Área de Desarrollo Local y Formación de la Diputación Provincial de Cáceres, donde ejerce desde hace 7 años destacando las labores de análisis integrales del territorio; estudios sobre la evolución del mercado laboral y las oportunidades de empleo; análisis de la situación de los sectores económicos y su previsión de crecimiento; y procesos de planificación territorial y turística.

### Manuel Pulido Fernández

Geógrafo e investigador predoctoral en el Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura, donde además ejerce de Profesor Ayudante. La línea de investigación es la de indicadores de calidad del suelo en áreas semiáridas del Mediterráneo, en la que ha contribuido con una decena de artículos científicos y otros tantos capítulos de libros y aportaciones a congresos nacionales e internacionales. Además ha sido profesor del Máster Universitario en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección de la Universidad de Extremadura en cinco ediciones.

# Método de análisis de la degradación temporal de la calidad de una base de datos temática: aplicación al caso del mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía (España)

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 20-27  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

*Method of analysis of temporary degradation of the quality of a thematic database: application to the case of map of uses and vegetal coverage from Andalucía (Spain)*

Paula Gil de la Vega<sup>1</sup>, Francisco Javier Ariza López<sup>2</sup>, José Rodríguez Avi<sup>3</sup>

## Resumen

Este trabajo se centra en la evaluación de la degradación temporal de la calidad de las bases de datos temáticas. Se propone el empleo de la regresión lineal como método analítico para su determinación. Se desarrolla un ejemplo de aplicación sobre Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía a partir de la serie temporal que se corresponde con los años 1991, 1995, 1999, 2003 y 2007. Como resultado del análisis se obtienen unas tasas de cambio promedio que permiten determinar la validez temporal del conjunto de datos analizado. En nuestro caso, se han estimado unas tasas de degradación máximas de 0.4% al año, lo que indican que la validez temporal, para la Base de Datos Geográfica del año 2007, es el año 2013.

## Abstract

*This paper focuses on the evaluation of temporary degradation of the quality of thematic databases. We propose the use of linear regression as an analytical method for this evaluation. We develop an application example on Uses and Vegetables Coverage Map from Andalucía with the time spam corresponding to the years 1991, 1995, 1999, 2003 and 2007. As a result we obtained average exchange rates for determining the temporal validity of the data analyzed. In our case, we have estimated a maximum degradation rate of 0.4% per year, indicating that the temporal validity, for the Geographic Database in 2007, is 2013.*

**Palabras clave:** calidad de la información geográfica, validez temporal, regresión lineal, cobertura vegetal.

**Keywords:** quality of geographic information, temporal validity, linear regression, vegetation coverage.

(1) Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén.  
pgil@ujaen.es

(2) Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén.  
fjariza@ujaen.es

(3) Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén  
jravi@ujaen.es

Recepción: 19/04/2013  
Aprobación: 15/08/2013

## 1. INTRODUCCIÓN

La información geográfica es una representación de la realidad, pero no es la realidad. Esto se debe a que el mundo real es complejo y dinámico, y un modelo es una simplificación del mundo. De ahí que los datos geográficos no estén exentos de error en ninguna de sus componentes y menos en la temporal.

A la cartografía siempre se le ha exigido exactitud posicional, muestra de ellos son los diferentes métodos que se han desarrollado desde mediados del siglo XX, como son los estándares NMAS (National Map Accuracy Standard; USBB, 1947), EMAS (Engineering Map Accuracy Standard; ASCE, 1983), NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy; ASPRS, 1989), etc. Sin embargo el resto de las componentes de la calidad de la información geográfica (tema, compleción, coherencia, tiempo, etc.) están conceptualizadas y propuestas sólo desde hace escasamente unos 15 años [ARI02]. En la actualidad son ISO 19113 [AEN05] y su reciente revisión en ISO 19157 (Geographic Information- Data quality) las que establecen el esquema formal de componentes de la calidad de los datos espaciales. Ligado a nuestro interés (tema y tiempo), en [CON09] realizan una definición completa del aspecto temático, pero del aspecto temporal las referencias son casi inexistentes.

La presente investigación se centra en la componente temporal de la información geográfica. El factor tiempo afecta enormemente a la información geográfica pues genera su desactualización paulatina. La desactualización se evidencia en forma de fallos o errores del producto en cualquier momento de uso posterior a la captura de la información. Estos problemas son debidos a cambios en la forma e implantación espacial de los fenómenos geográficos, a cambios en sus atributos y a las apariciones y desapariciones de elementos de la realidad que, tras la captura original, no han sido debidamente incorporados en la base de datos.

La actualización cartográfica es la forma de mantener los productos de datos espaciales con unos niveles adecuados de calidad a lo largo del tiempo. La actualización se puede enfocar de dos modos, como un proceso continuo, actualizando el producto cada vez que se tiene conocimiento de un cambio; o de manera cíclica, estableciendo una frecuencia de actualización (p.e. meses, años) con la que la cartografía debe ser de nuevo revisada. Muchas veces la realidad de la producción cartográfica es una mezcla de estos dos enfoques [ARI11]. De manera general se establece un número de años tras los cuales la cartografía se debe actualizar y por otra parte, en zonas sujetas a grandes cambios, se puede actualizar de manera puntual.

En general, no existen modelos ni estimaciones de las

---

El factor tiempo afecta enormemente a la información geográfica pues genera su desactualización paulatina. La desactualización se evidencia en forma de fallos o errores del producto en cualquier momento de uso posterior a la captura de la información. Estos problemas son debidos a cambios en la forma e implantación espacial de los fenómenos geográficos, a cambios en sus atributos y a las apariciones y desapariciones de elementos de la realidad que, tras la captura original, no han sido debidamente incorporados en la base de datos

---

tasas de cambio desde un punto de vista cartográfico, tanto de la información de carácter general o topográfico como de los contenidos temáticos. Son las actualizaciones las que permiten a los organismos productores de información geográfica obtener, junto a series históricas de la misma, los datos suficientes para poder determinar las tasas de cambio de las distintas categorías de objetos, atributos y relaciones que se consideran para el producto. Este es un aspecto especialmente crítico en nuestros días dada la gran importancia que posee la información geográfica en la Sociedad de la Información y del Conocimiento.

Este artículo aborda el aspecto temporal de los datos, en concreto de productos temáticos como son los relativos a los usos y coberturas del territorio. Se propone utilizar una serie temporal de sucesivas actualizaciones para extraer de las mismas las tasas de cambio y de ella la validez temporal. Para abordar este trabajo, el documento se organiza en las siguientes secciones: presentación del material utilizado (Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía), método propuesto, resultados y discusión de los mismos y conclusiones.

## 2. MATERIAL

El método propuesto y desarrollado (apartado 3) se aplica sobre un conjunto de datos geográficos de carácter temático correspondiente a diversas versiones del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía (MUCVA) (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>)

El MUCVA es un proyecto que lleva a cabo la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía desde 1991, y que se actualiza cuatrienalmente. Surge como respuesta a la necesidad de conocer la distribución de los usos y coberturas del suelo y poder llevar a cabo un seguimiento de la evolución de las distintas tipologías de ocupación del territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía. El MUCVA contiene valiosa información que permite el análisis y la toma de decisiones con aspectos relacionados con el medio ambiente y sirve de base para la planificación y gestión del territorio, además de permitir numerosos estudios de carácter medioambiental.

El MUCVA contiene información geográfica completamente digital, tanto vectorial como alfanumérica. Existen documentos que lo describen, sus metadatos son accesibles (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>) y el modelo que presentan los datos está definido en Guía Técnica del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía [MOR07].

Si bien se ha trabajado a una escala espacial determinada, las tablas alfanuméricas del producto permiten acceder a la información con cuatro niveles distintos:

- NIVEL SINTÉTICO: Contiene la descripción de las clases de máxima agregación de la leyenda de usos del suelo y coberturas vegetales.
- NIVEL DE RECONOCIMIENTO: Contiene la descripción de las clases agregadas a nivel de reconocimiento de la leyenda de usos del suelo y coberturas vegetales.
- NIVEL DE SEMIDETALLE: Contiene la descripción de las clases agregadas a nivel de semidetalle de la leyenda de usos del suelo y coberturas vegetales.
- NIVEL DE DETALLE: Contiene la descripción de las clases de máxima desagregación de la leyenda de usos del suelo y coberturas vegetales y su correspondencia con los diferentes niveles de agregación de ésta.

Para el estudio propuesto se han seleccionado las BDG correspondientes a los años 1991, 1995,

1999, 2003 y 2007, que son todas las que estaban disponibles en el momento de inicio de la investigación. Las tres primeras están a escala 1:50.000, mientras que las dos restantes se encuentran a escala 1:25.000. La leyenda es exactamente la misma en todos los casos.

El MUCVA es una BDG que ocupa una gran extensión

---

El MUCVA es un proyecto que lleva a cabo la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía desde 1991, y que se actualiza cuatrienalmente.

Surge como respuesta a la necesidad de conocer la distribución de los usos y coberturas del suelo y poder llevar a cabo un seguimiento de la evolución de las distintas tipologías de ocupación del territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía

---

de territorio de muy diferente índole. Andalucía, por sus dimensiones superficiales (87 000 km<sup>2</sup>), su posición geográfica y las características de su medio físico, se presenta como una región sumamente variada, donde se entremezclan climas, paisajes y formas de ocupación humana del territorio netamente contrastado.

Abarca desde grandes extensiones de superficies agrícolas hasta vastas superficies forestales y naturales. Superpuesta a esta variabilidad natural, se sitúa el factor humano como principal inductor de la dinámica de cambios del territorio andaluz. Roturaciones, implantaciones de regadío, obras de infraestructura, nuevas urbanizaciones, abandonos de cultivos, incendios y repoblaciones forestales, cambios en la línea de costa debidos a obras de ingeniería civil, transformaciones de marismas, etc., tienen lugar continuamente sobre la geografía andaluza. Por todo ello es un espacio geográfico idóneo para tener una visión general del problema que nos planteamos.

El análisis de la calidad temporal de un producto puede resultar engañoso si los cambios tienden a comportarse de forma compensatoria entre distintas zonas del territorio. Por ello, además de trabajar con esta BDG completa, se han extraído dos subconjuntos de datos, el primero en una zona de predominancia de superficies agrícolas y el segundo en una zona de superficie forestal

y natural, al ser éstas las más representativas del MUCVA. Por tanto, el análisis se ha llevado a cabo en tres zonas: Andalucía completa, una zona de campiña y una zona de sierra. Las zonas de campiña y sierra se han localizado en el valle del Guadalquivir y en el Parque Natural de Cazorla, Segura y las Villas respectivamente, tal y como se muestran en la Figura 1.

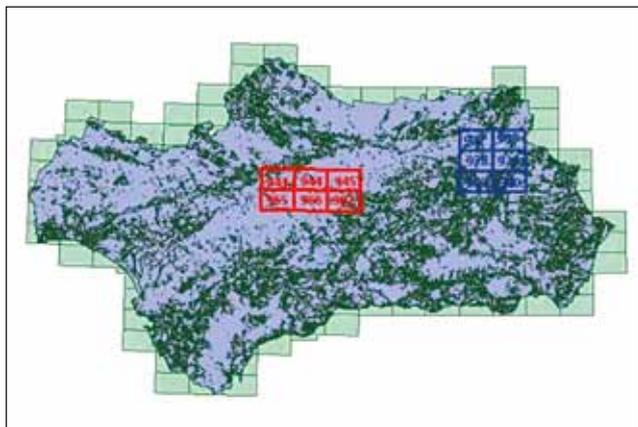


Figura 1. Localización de las zonas de campiña y sierra

En las zonas de campiña y sierra sólo se consideran las escalas sintética y de reconocimiento puesto que, a mayor nivel de detalle, muchas de las categorías no están representadas en dichas zonas.

### 3. MÉTODO

Una hipótesis fundamental y de partida para este análisis es considerar correctas las demás componentes de la calidad del dato geográfico, es decir, suponer que todos los cambios detectados para los distintos años consi-

derados son debidos a los cambios producidos realmente sobre el terreno sin que se haya cometido errores de clasificación, posición, etc., en la elaboración de la BDG.

Antes de comenzar con el análisis es necesario el conocimiento de la propia BDG con el objetivo de alcanzar la suficiente sensibilidad y conocimiento semántico respecto a las clases que incluye, los niveles de detalle que ofrece este producto, etc. Mayormente, esto se alcanza interactuando (visualizando y analizando) como se distribuyen las distintas categorías para comprender el comportamiento de la misma, realizando una revisión y estudio de toda su documentación, etc. A partir de ahí, el trabajo se ha desarrollado siguiendo las distintas fases que se muestran a continuación:

- Aplicación del modelo de regresión
- Obtención de la validez temporal

#### 3.1. APLICACIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN

Se manipulan los conjuntos de datos correspondientes a las tres zonas indicadas previamente mediante la aplicación de técnicas estadísticas y espaciales para tratar de modelar el comportamiento temporal. La técnica empleada es la regresión lineal. La regresión es una técnica estadística que permite examinar las relaciones funcionales que existen entre distintas variables [WAL99]. Este método se puede emplear para predecir o estimar un valor a partir de otro u otros. El término lineal hace referencia a que la dependencia funcional de la variable dependiente (Y) respecto a la independiente (X) se expresa mediante una línea recta. La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que recibe el nombre de ecuación de regresión:

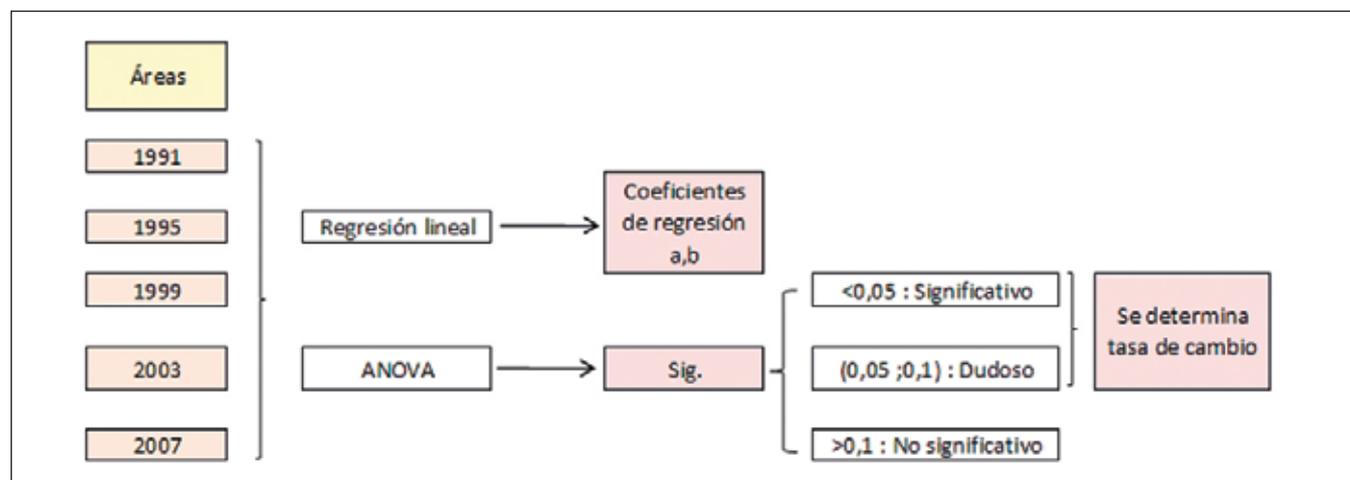


Figura 2. Esquema de trabajo del modelo de regresión lineal

COEFICIENTES					
CATEGORÍAS	R <sup>2</sup>	ANOVA	a	b	Interpretación ANOVA
Superficies construidas y alteradas	0.916	0.011	1204.450	76.733	0
Superficies agrícolas	0.680	0.086	41722.272	-171.916	1
Superficies forestales y naturales	0.383	0.266	43571.481	75.245	2
Superficies de agua y zonas húmedas	0.522	0.168	1105.251	19.939	2
n 0 = significativo n 1 = dudoso n 2 = no significativo					

Tabla 1. Coeficientes de regresión Andalucía: escala sintética

$$Y = a + bX$$

donde a y b son los coeficientes de regresión lineal.

La regresión lineal se ha utilizado sobre las áreas totales por categoría de cada una de los conjuntos de datos, de manera que la variable dependiente es el porcentaje de superficie total y la variable independiente es el año. Para ello se ha considerado que el año 1 es 1991, el año 5 es 1995, y así sucesivamente hasta el año 17 que se correspondía con 2007. Con esto se pretende averiguar si existe una relación del área total de cada una de las categorías con respecto al tiempo. El esquema de trabajo para obtener el modelo de regresión lineal se muestra en la Figura 2.

Además, se propone realizar un análisis de varianza o ANOVA para determinar si la ecuación de regresión estimada a partir de sus coeficientes de regresión representa de manera significativa las variaciones presentes en los datos. El valor significativo de ANOVA es aquel

---

El análisis de la calidad temporal de un producto puede resultar engañoso si los cambios tienden a comportarse de forma compensatoria entre distintas zonas del territorio. Por ello, además de trabajar con esta BDG completa, se han extraído dos subconjuntos de datos, el primero en una zona de predominancia de superficies agrícolas y el segundo en una zona de superficie forestal y natural, al ser éstas las más representativas del MUCVA

---

que sea inferior a 0.05 (5%), será dudoso si dicho valor se encuentra en el intervalo comprendido entre 0.05 y 0.1, siendo no significativo para cualquier otro valor [AVI10]. Un valor no significativo lo que representa realmente es que, o bien los cambios entre los distintos años son mínimos, o bien que la recta de regresión lineal no es la manera más adecuada de representar dichos cambios.

Para cada zona seleccionada y para cada escala analizada, se obtiene una tabla de resultados como la que se muestra en la Tabla 1. Las tasas de cambio en este caso, expresada en km<sup>2</sup> al año, vienen representadas por la pendiente de la recta de regresión, es decir, por el coeficiente b de regresión. Las tasas de cambio sólo se determinan en aquellas categorías cuyo análisis ANOVA es significativo o dudoso.

### 3.2. OBTENCIÓN DE LA VALIDEZ TEMPORAL

A partir de las tasas de cambio se obtiene la validez temporal, es decir, hasta cuando podemos considerar válido el contenido del producto analizado. En el fondo estamos hablando de poner una especie de fecha de caducidad a los contenidos de un producto. Para determinar la validez temporal se determina la perturbación anual que las tasas de cambio producen sobre el porcentaje de cada una de las categorías respecto al total. La validez temporal se establece en el año en el cual dicha perturbación supera un cierto umbral establecido con antelación (p.e. 1%, 2.5%, 5%, 10%) en función de la adecuación al uso pretendido que pueda tener el producto en cada aplicación. En nuestro caso dicho umbral se establece en el 2.5% de variación entre el porcentaje de una categoría respecto al total en la BDG original (la que se analiza) y el porcentaje de esa misma categoría al aplicar sobre dicha BDG original la tasa de cambio correspondiente. La validez temporal se establece para la BDG correspondiente al año 2007, que es la más reciente de la serie analizada. Cada una de las categorías que conforman la BDG tiene una determinada tasa de cambio y, por lo tanto, una validez temporal distinta. Esta circunstancia, como otras muchas en el ámbito de la calidad viene a indicar la necesidad de hacer un tratamiento más específico de las distintas tipologías de fenómenos que se incluyen en los productos de datos espaciales. Por tanto, para garantizar la validez

temporal de un producto en su globalidad se deben establecer criterios de criticidad o peso de cada una de las tipologías de fenómenos o categorías de fenómenos que incluye. En nuestro caso se va a considerar que todas las categorías son igualmente importantes atendiendo por tanto al caso más desfavorable. Así se tomará la fecha de caducidad de la categoría que se degrade antes, de manera que se garantice la validez temporal de todo el producto en todo momento. En el caso de estar interesado en una categoría en concreto, se determina la validez temporal de dicha categoría.

REGRESIÓN			
ZONA	CATEGORÍA	AÑOS DE VIGENCIA	AÑO DE CADUCIDAD
Andalucía	Superficies construidas y alteradas	28	2035
	Superficies agrícolas	12	2019
	Superficies forestales y naturales	--	--
	Superficies de agua y zonas húmedas	--	--
Campaña	Superficies construidas y alteradas	28	2035
	Superficies agrícolas	9	2016
	Superficies forestales y naturales	15	2022
	Superficies de agua y zonas húmedas	155	2162
Sierra	Superficies construidas y alteradas	58	2065
	Superficies agrícolas	7	2014
	Superficies forestales y naturales	8	2015
	Superficies de agua y zonas húmedas	--	--

Tabla 2. Validez temporal por categoría: escala sintética

Los resultados de determinar la validez temporal quedarán recogidos en cuatro tablas, una para cada escala analizada, tal y como se muestra en la Tabla 2. Los años de vigencia se suman al año 2007, que es el año correspondiente a la BDG para la cual se determina la validez temporal.

Para algunas categorías se obtiene que el número de años de vigencia alcanza valores muy altos (en la Tabla 2 se observa que en una de las categorías se supera incluso la centena de años). Con una serie temporal analizada de 17 años (desde 1991 a 2007) no se pueden aceptar predicciones que superen dicha cantidad de años. Por lo tanto, para aquellas categorías para las cuales se hayan obtenido más de 17 años de vigencia, se considera que no existen evidencias suficientes para poder determinar que cambien.

Una hipótesis fundamental y de partida para este análisis es considerar correctas las demás componentes de la calidad del dato geográfico, es decir, suponer que todos los cambios detectados para los distintos años considerados son debidos a los cambios producidos realmente sobre el terreno sin que se haya cometido errores de clasificación, posición, etc., en la elaboración de la BDG

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha indicado, para determinar la validez temporal del producto en su totalidad se ha utilizado el periodo de caducidad más pequeño entre los periodos de caducidad correspondientes a cada una de las categorías. De este modo, se analiza el peor de los casos, de manera que la vigencia temporal determinada garantice en todo momento la calidad temporal de la BDG analizada. Con este criterio se consigue que la BDG no caiga en la desactualización por falta de precisión de los modelos de predicción. La validez temporal de cada una de las BDG está recogida en la Tabla 3.

Se puede observar que en la zona de campiña la validez temporal de la BDG a la escala de reconocimiento es de tan solo un año, cuando a escala sintética es de 9 años. Esto es debido a los grandes cambios en las superficies en secano que no se apreciaban en la escala sintética puesto que eran contrarrestados, en gran medida, por los cambios sufridos en las superficies de regadío (cambios de signo contrario). Esto se observa en las tres zonas, en las cuales la escala sintética es la que mayor validez temporal presenta.

En cualquier caso, sólo para la escala de reconocimiento y en las zonas de campiña y sierra, se tiene una validez temporal inferior al año 2011, que es cuando se tiene prevista la actualización completa del MUCVA. Esto indica que un período cuatrienal de revisión del mismo

las tasas de cambio son en sí mismas un metadato importantísimo para orientar el uso correcto y consciente de los productos de información geográfica

es suficiente. Si bien, se podría plantear una actualización parcial anual, por ejemplo, de las zonas de campiña, que son aquellas en las cuales se ha detectado que se producen los mayores cambios. Una política de actuación posible sería llevar a cabo la revisión anual propuesta sobre aquellas hojas del MTN en las cuales la superficie agrícola supere el 50% del total de la hoja, puesto que las tasas de cambio han constatado que este tipo de superficie es la que sufre mayores cambios cada año.

Pero las tasas de cambio no sólo deben determinar las políticas de actualización para el productor. El usuario también puede beneficiarse de las mismas. Si junto a un producto, al usuario se le ofrece esta información, las tasas de cambio, éste podrá valorar para el momento en el que hará uso de esa información, y para su propósito específico, si dicho producto cumple con los requisitos de calidad temporal que él ha establecido para su trabajo. De este modo, el usuario determina si le conviene ese producto que se le está ofreciendo porque él mismo podrá valorar si la información es útil según sus criterios de uso de la información. Por lo tanto, las tasas de cambio no son sólo una herramienta que puede usarse para determinar la validez temporal, sino que son en sí misma un metadato importantísimo para orientar el uso correcto y consciente de los productos de información geográfica.

## 5. CONCLUSIONES

La dificultad para modelar los cambios que se producen en los usos del suelo y la cubierta vegetal residen en la naturaleza de los mismos. Si bien los procesos naturales pueden seguir una determinada tendencia, las actividades antropogénicas alteran dichos procesos de forma impredecible. Pero no sólo el hombre es el que altera dichos procesos. Los factores ambientales son también una gran fuente de perturbación por la gran influencia que estos tienen sobre la vegetación. Es por ello que cualquier modelo de degradación que se pueda establecer sobre un producto que representa una realidad física tan susceptible a los cambios debe ser revisado continuamente mediante la incorporación de nuevas épocas que permitan mejorarlo. Así, en nuestro caso, las sucesivas actualizaciones periódicas que se llevan a cabo del MUCVA se pueden incorporar a los modelos planteados para mejorar la capacidad predictiva de los mismos.

La regresión lineal es un método sencillo de aplicar y relativamente rápido. Los datos disponibles han permitido que el modelo aplicado haya considerado cinco épocas en su conjunto, lo cual permite tener una visión global de los cambios para todo el período analizado. La regresión es un procedimiento inmediato ya que su obtención es directa a partir de los datos de las áreas totales sin necesidad de ninguna transformación de los datos.

El establecimiento de modelos de cambio no debe entenderse como algo estático, sino como algo que debe actualizarse en cuanto se tenga ocasión. De este modo, se comprueba, por una parte, si los modelos que se han propuesto son correctos, y, por otra, se agrega la nueva información a los mismos para mejorarlos.

Como ya se ha comentado, el MUCVA se actualiza con un período cuatrienal. La última época incluida en este análisis es 2007, por lo que la nueva actualización programada se corresponde con el año 2011 y debería ser publicada en los próximos meses. En esta investigación se ha determinado como fecha de caducidad para este producto la correspondiente a 2011, para un nivel de

ESCALA				
ZONA	SINTÉTICA	RECONOCIMIENTO	SEMIDETALLE	DETALLE
Andalucía	2019			
Campiña	2016	2008	--	--
Sierra	2014	2010	--	--

NOTA: La validez temporal global se ha determinado para el año 2007, fecha más reciente de la serie analizada. La validez temporal global de la BDG es la menor de las determinadas para cada una de las categorías que forman dicha BDG

Tabla 3. Validez temporal global a partir de la tasa de cambio mayor para la BDG 2007

El establecimiento de modelos de cambio no debe entenderse como algo estático, sino como algo que debe actualizarse en cuanto se tenga ocasión

cambios del 2.5%, por lo que tenemos plena coincidencia con los procesos de actualización programados. De cara al futuro, el disponer de una nueva versión nos permitirá comprobar si los modelos aquí propuestos sirven para hacer estimaciones buenas de la realidad. De cualquier forma, esta nueva época podrá incorporarse al modelo propuesto para mejorarlo.

## REFERENCIAS

- [ARI02-1]. Ariza-López, F.J. (2002). Calidad en la producción cartográfica. Ra-Ma. Madrid.
- [ARI11-2]. Ariza-López, F.J.; García-Balboa, J.L. (2011). Evaluación de las componentes de la calidad de la información geográfica. En: 3ª Edición del título de Experto Universitario en Evaluación de la Calidad de la Información Geográfica. Universidad de Jaén. Jaén.
- Ariza López, F.J.; Pinilla Ruiz, C.; López Luque, R.; Borque Arancón, Mª J. (1996). Control de calidad del proceso de clasificación de imágenes de satélite. Mapping Interactivo.
- [AEN05] AENOR (2005). UNE-EN ISO 19113:2005. Información geográfica. Principios de calidad (ISO 19113:2002). Asociación Española de Normalización y Certificación.
- ASCE (1983). Map Uses, scales and accuracies for engineering and associated purposes. American Society of Civil Engineers, Committee on Cartographic Surveying and Mapping Division, New York.
- ASPRS (1989). Accuracy standards for large scale maps. PE&RS, 56 (7):1068:1070.
- [AVI10] Avi, J. (2010). Estadística. En: 3ª Edición del Título de Experto Universitario en Evaluación de la Calidad de la Información Geográfica. Universidad de Jaén. Jaén.
- Broncano-Mateos, C.J. (2010). Aplicación de las técnicas de detección de cambios a la actualización de la cartografía militar escala 1:50.000. Universidad Pontificia de Salamanca. Madrid.
- [CON09] Congalton, R.G.; Green, K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- [MOR07] Moreira Madueño, J.M.; Gámez Ramírez, M.; Caturla Montero, C. (2007). Guía Técnica del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Stephen, S.; Raymond, C. 1989. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. Remote Sens. Environ, 64: 331-344.
- USBB (1947). United States National Map Accuracy Standards. U.S. Bureau of the Budget. Washington.
- [WAL99]. Walpole, R.E. (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice-Hall Hispanoamericana. México.

## Sobre los autores

### Paula Gil de la Vega

Ingeniera Técnica en Topografía e Ingeniera en Geodesia y Cartografía por la Universidad de Jaén. Premio Extraordinario de Grado al mejor expediente en Ingeniería en Geodesia y Cartografía de la Universidad de Jaén. Experta Universitaria en Evaluación de la Calidad de la Información Geográfica. Becaria FPI en el proyecto E3DLING del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría de la Universidad de Jaén.

### Francisco Javier Ariza López

Dr. Ing. Agrónomo, Catedrático de Universidad. Desarrolla su investigación en el campo de producción cartográfica y en el de los Sistemas de Información Geográfica.

### José Rodríguez Avi

Dr. en CC. Matemáticas por la Universidad de Granada (1994). Profesor Titular del Departamento de Estadística e I. O. de la Universidad de Jaén. Líneas de investigación: modelización de datos discretos, calidad en Cartografía. Docencia en Estadística y en CC. Empresariales.

# MAPPING

## MAPPING INTERACTIVO



EN NUESTRA PAGINA WEB PODRÁ ENCONTRAR:

**Noticias** del sector

Artículos **técnicos**

Números anteriores de la **Revista Mapping**

Fotografía y noticias curiosas en **“Por fin es viernes”**

Y mucho **más**.

## Conéctese a nuestros canales de las Redes Sociales

 **Facebook**  
<https://www.facebook.com/mapping.interactivo>

 **LinkedIn**  
<https://www.linkedin.com/nhome/>

 **Twitter**  
<https://twitter.com/MappingInteract>

 **Youtube**  
<http://www.youtube.com/>

## MAPPING INTERACTIVO

 91 006 72 23

 C/ Arrastaría 21. Oficina 8. Edificio A  
Madrid 28022  
España

 [www.mappinginteractivo.es](http://www.mappinginteractivo.es)

# Arqueología, SIG y modelos predictivos basados en redes neuronales artificiales. Un caso de estudio

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 30-38  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

*Archaeology, GIS and predictive models based on artificial neural networks. A case study*

Jesús Fernández Fernández<sup>1</sup>

## Resumen

En este artículo se muestra cómo aplicar técnicas de inteligencia artificial (redes neuronales artificiales) en la elaboración de modelos predictivos en arqueología. Los métodos para predecir el riesgo arqueológico son cada vez más utilizados ante la necesidad de implementar planes de protección del patrimonio arqueológico, pues no siempre pueden desarrollarse programas de prospección intensiva que cubran la totalidad de un territorio. A pesar de esta aparente utilidad, su uso no está todavía plenamente consolidado ni generalizado entre los arqueólogos, por lo que sus posibles aplicaciones necesitan siempre ser contrastadas y acompañadas de una reflexión crítica. Para contribuir a esta discusión comparamos los mapas de riesgo obtenidos con dos técnicas diferentes: regresiones logísticas y redes neuronales artificiales.

## Abstract

*This article shows how to apply artificial intelligence techniques (Artificial Neural Networks) to develop predictive models in archaeology. Methods to predict risk in archaeology are increasingly used, in the need to implement plans for protecting archaeological heritage, but intensive surveys to cover the whole territory cannot always be done. Despite this apparent usefulness, its use by archaeologists is recent and not widespread. Therefore, this potential applications require to be compared and accompanied by critical reflections. To contribute to discussion, we compare archaeological risk maps obtained by two different techniques: logistic regression and artificial.*

**Palabras clave:** Arqueología del Paisaje, Inteligencia Artificial, Redes Neuronales Artificiales, Sistemas de Información Geográfica (SIG).

**Keywords:** Landscape Archaeology, Artificial Intelligence, Artificial Neural Networks, Geographic Information System (GIS).

(1) Área de Historia Medieval. Universidad de Oviedo  
[arqueoastur@gmail.com](mailto:arqueoastur@gmail.com)

Recepción: 20/04/2013  
Aprobación: 30/05/2013

## 1. INTRODUCCIÓN

En un artículo publicado en esta misma revista se proponía la elaboración de un protocolo de investigación arqueológica basado en la utilización de modelos predictivos implementados mediante regresiones logísticas en un Sistema de Información Geográfica [FER10]. La principal conclusión alcanzada en aquel trabajo fue que este tipo de modelos es especialmente útil, más que por su valor predictivo, por su utilidad como herramienta de planificación y comparación entre diferentes métodos de análisis: se trata, en ese sentido, más de ponderar lo que se prevé y contrastarlo con lo que se observa para reforzar o discutir determinados modelos explicativos.

El objetivo de este nuevo artículo es precisamente abundar en esta metodología de trabajo, introduciendo en un programa de Arqueología del Paisaje una técnica de la Inteligencia Artificial (IA): las Redes Neuronales Artificiales (RNA), como una escala analítica o método de trabajo más, mostrando un ejemplo práctico y comparando estos resultados con los obtenidos mediante la técnica de las regresiones logísticas.

## 2. ARQUEOLOGÍA Y COMPUTACIÓN

El conjunto de la información arqueológica es incompleto, impreciso y heterogéneo, su interpretación es difícil y compleja. Frente a este panorama, las herramientas informáticas han cumplido un papel clave en la gestión de tan fragmentaria información, especialmente durante las últimas tres décadas. Los arqueólogos han ido integrando en sus métodos de trabajo cada vez más, y más intensamente, las computadoras para la gestión y análisis de datos. En este sentido, herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han supuesto una auténtica revolución dentro de la disciplina. Una de sus aplicaciones más recientes es la utilización de modelos predictivos [MIT01], [MEH06], [STA99], [WAR00], [WOO01]. Esta herramienta puede compensar la falta de información arqueológica a escala territorial en zonas donde la visibilidad de materiales o yacimientos en superficie es insuficiente o nula por la abundancia de vegetación u otras causas. Los modelos predictivos no pueden suplir la información obtenida mediante la prospección arqueológica, pero sí contribuyen a sustituirla de forma apriorística, lo que permite la formulación de propuestas o hipótesis de trabajo en este tipo de casos. También pueden ayudar a la mejor planificación de intervenciones arqueológicas, mediante la selección preferente de áreas de prospección,

---

El conjunto de la información arqueológica es incompleto, impreciso y heterogéneo, su interpretación es difícil y compleja

---

o a la gestión del Patrimonio, generando cartografía de riesgo arqueológico que puede utilizarse, por ejemplo, en los planes de ordenación del territorio, contribuyendo a la protección de aquellas áreas donde existe una mayor probabilidad de que estén presentes yacimientos arqueológicos.

Sobre la problemática inherente a los modelos predictivos y sus características recomendamos la lectura del trabajo de [FER09].

Los avances realizados en el mundo de la informática nos permiten ir introduciendo nuevos paradigmas computacionales en la elaboración de nuestros modelos. Un ejemplo son las Redes Neuronales Artificiales (RNA), que son sistemas de procesamiento de la información inspirados en la forma en que funcionan las redes neuronales biológicas [ROS58]. Sus aplicaciones en el campo de la arqueología son todavía escasas y recientes [DER06] y requieren de un amplio periodo de aplicación, reflexión y crítica que ahora apenas estamos iniciando en nuestra disciplina.

## 3. LAS REDES NEURONALES

Las RNA pueden ser descritas como sistemas de interconexión de elementos de procesamiento (nodos o neuronas), conectadas entre sí en una red que transforma un conjunto de datos de entrada en valores de salida deseados [ZHO96]. Los componentes básicos de una RNA son unidades y conexiones, al igual que las neuronas biológicas y sus sinapsis. El factor clave para el desarrollo y aplicación de RNA, así como para el propio cerebro, es la interconectividad. La amplitud de esta interconectividad es la que determinará la capacidad de la RNA para adaptarse a los patrones de aprendizaje, a través de los que se incorpora el conocimiento en las redes neuronales.

Cada neurona tiene un valor numérico modificable llamado peso. La actividad que cada unidad de procesa-

miento realiza en una red de este tipo consiste en sumar los valores de las entradas (*inputs*) que son recibidos de otras neuronas conectadas a ella, después, compara esta cantidad con el valor denominado umbral y, si lo iguala o supera, envía una información de activación o salida (*output*) a las unidades de la capa siguiente a las que esté conectada. Las entradas y las salidas que cada unidad recibe o envía dependen del peso de las conexiones. Una RNA está constituida por varias capas de información, generalmente una capa de entrada (compuesta por las variables independientes consideradas), una o varias capas intermedias (ocultas), que establecen las relaciones entre las variables de entrada y salida, y, finalmente, una capa de salida que es el resultado del conjunto de operaciones anterior.

El primer modelo de neurona artificial se lo debemos a [WAR43]:

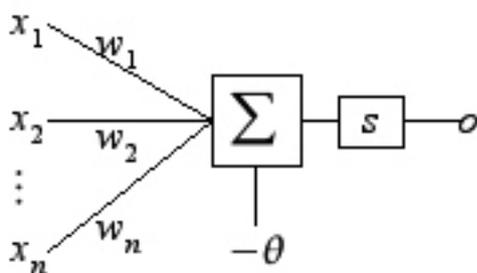


Figura 1. Modelo de neurona artificial de McCulloch y Pitts

Esta neurona recibiría  $N_e$  entradas. Las conexiones aparecen en la Figura 1 como flechas que parten de la zona izquierda y que llevan asociado un peso  $W_i$  donde el subíndice  $i$  se refiere a la entrada y toma valores entre 1 y  $N_e$  (Figura 2).

$$y_j = g(a) = g\left(\sum_{i=1}^{N_e} \omega_i x_i\right)$$

Figura 2. Expresión matemática de la neurona artificial de McCulloch y Pitts

Las RNA son modelos de adaptación, es decir, que son capaces de aprender. Esta es la razón por la que son incluidas entre las técnicas de la Inteligencia Artificial. Como vimos, esta capacidad de adaptación de una RNA se utiliza mediante un proceso de formación específica en la que el usuario «prepara» la red mediante un patrón de entrenamiento.

Debido a su estructura, las RNA se basan en un tipo de lógica diferente a la booleana: se trata de la lógica difusa. Por ello, las RNA pueden convertirse en herramientas

Los modelos predictivos no pueden suplir la información obtenida mediante la prospección arqueológica, pero sí contribuyen a sustituirla de forma apriorística

más flexibles para abordar el problema de la complejidad social/arqueológica, aunque esto, lógicamente, está por ver. Desarrollaremos a continuación un caso práctico en el que aplicamos las RNA en la elaboración de un modelo predictivo arqueológico.

## 4. UN CASO PRÁCTICO EN ARQUEOLOGÍA

Para implementar la red utilizada en nuestro caso práctico, se utilizó el software libre *Pithya*, orientado al diseño y desarrollo de redes neuronales artificiales, y un Sistema de Información Geográfica.

Los parámetros de la RNA («pesos») son inicialmente un conjunto de valores aleatorios. Durante la fase de entrenamiento, el *output* de la red es comparado con el *output* esperado, el error y el error propagado hacia la entrada de la red. La propagación hacia atrás de errores o retropropagación (del inglés *backpropagation*) es un algoritmo de aprendizaje supervisado, que suele utilizarse para el entrenamiento de redes neuronales artificiales. Consiste en minimizar un error (generalmente cuadrático) mediante un gradiente descendiente, así, el fundamento del algoritmo es el cálculo de las derivadas parciales del error con respecto a los parámetros de la red. Por tanto, durante la fase de entrenamiento, las entradas y salidas deseadas, se procesan para optimizar la salida de la red, lo que significa reducir al mínimo la desviación:

$$\left( OUTPUT_{DATA} - OUTPUT_{NET} \right)^2$$

$OUTPUT_{DATA}$  es el valor de salida en los datos de entrenamiento,  $OUTPUT_{NET}$  es el valor de salida que ofrece la reproducción de los datos de entrada con la red.

Durante la siguiente fase, la de reproducción, estos

Las RNA son modelos de adaptación, es decir, que son capaces de aprender. Esta es la razón por la que son incluidas entre las técnicas de la Inteligencia Artificial

parámetros de la red no se modifican y la red se utiliza para la reproducción de datos de entrada con el fin de «predecir» los datos adecuados de salida.

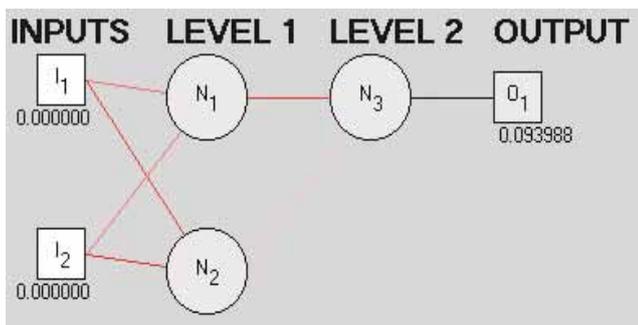


Figura 3. Red de retropropagación

La Figura 3 muestra una red de retropropagación, con dos *inputs* y un *output*. Contiene dos capas de neuronas, compuestas por dos neuronas en el primer nivel y una en el segundo. En estas redes de retropropagación, cada neurona tiene una salida y tantas entradas como neuronas haya en la capa anterior. Cada entrada de red está conectada a todas las neuronas en el primer nivel y cada neurona de salida está a su vez conectada a todas las neuronas del nivel siguiente. Este tipo de arquitectura también recibe el nombre genérico de Perceptrón Multicapa o MLP (*Multilayer Perceptron*).

La salida de la red es la entrada del siguiente nivel de neuronas. Cada salida de una neurona se expresa de la siguiente forma:

$$O_n = F(\sum_k I_k * W_{kn})$$

Donde O es la salida de la neurona, n es el número de la neurona,  $I_k$  son los *inputs* de las neuronas, k es el número de *inputs*,  $W_{kn}$  son los pesos de las neuronas y F es la

función Fermi:  $1/(1+Exp(-4*(x-0.5)))$ .

La «*activity*» de N1 se calcula de la siguiente forma:

$$A = (1*0.249733)+(0*-0.233776) = 0.249733$$

El *output* de N1:

$$O = \text{Fermi}(A) = 1/(1+Exp(-4*(0.249733-0.5))) = 0.268731$$

El *output* de N1 y N2 es el *input* para calcular N3

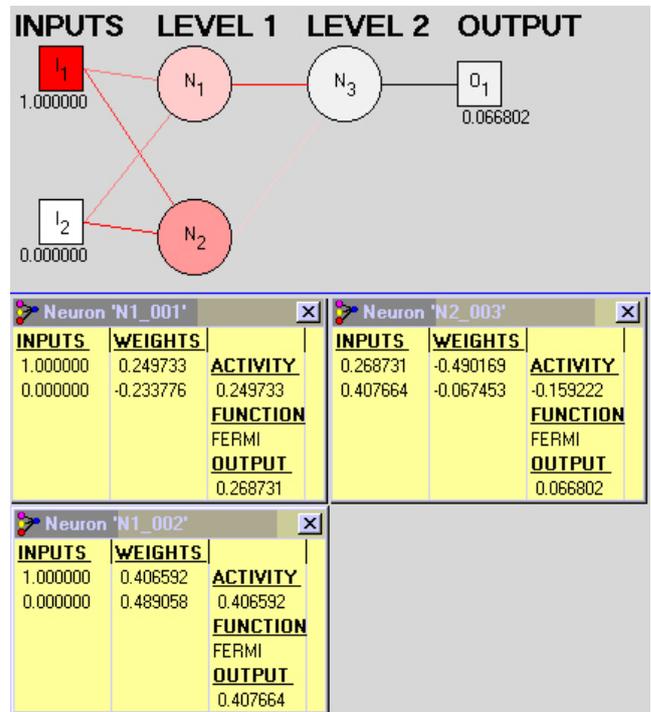


Figura 4. Ejemplo de procesamiento en una red neuronal

La Figura 4 muestra cómo la salida de la red neuronal se calcula a partir de la entrada.

Para implementar esto en un SIG, se dan una serie de entradas en forma de variables ( $X_1, X_2, X_3...$ ), que se multiplican por el peso correspondiente a cada neurona (*Weights*) sumándose posteriormente los resultados de cada operación, en nuestro caso las multiplicaciones de las 6 variables consideradas por los pesos de cada neurona. El resultado final es la actividad de la neurona «*activity*»:

$$\text{Activity} = (X_1 * \text{Weight}_1) + (X_2 * \text{Weight}_2) + \dots$$

El *output* de cada neurona será el resultado de la aplicación de la función de activación fermi:

$$O = \text{Fermi}(A) = 1/(1+Exp(-4*(activity-0.5)))$$

Este resultado será el *input* del segundo nivel de neuronas.

Para implementar la red utilizada en nuestro caso práctico, se utilizó el software libre Pithya, orientado al diseño y desarrollo de redes neuronales artificiales, y un Sistema de Información Geográfica

#### 4. LAS VARIABLES

Nuestro estudio de caso va a ser de nuevo el patrón de asentamiento de los asentamientos fortificados o «castros» del bajo valle del Trubia. En otro trabajo ya hemos desarrollado una discusión extensa sobre la problemática arqueológica de estos yacimientos [FER09]. La intención en este caso es comparar los resultados de la RNA con los de la regresión logística [FER10], de forma que enfrentamos no sólo dos modelos predictivos diferentes (escalas analíticas), sino también las dos lógicas procedimentales.

Este tipo de asentamientos a los que vamos a acercarnos, fortificados y en altura, son entidades ubicadas en espacios muy específicos, de características singulares, y pueden ser caracterizados por algunas variables «naturales» o físicas, que les son comunes (altura, escasa accesibilidad, visibilidad sobre el entorno, distancia de las cuencas hidrográficas). Hay por otro lado otros tipos de variables, como la relación entre asentamientos o el control sobre recursos agrológicos, que podríamos denominar «culturales». Así, cada variable individual que caracteriza a los asentamientos fortificados puede ser considerada como una entrada dentro de una RNA. La salida u *output* de la red consistirá en delimitar aquellas zonas donde un asentamiento fortificado «puede» o «no debe» estar. Las variables que hemos considerado para la elaboración del patrón de entrenamiento son las siguientes:

1. Altura relativa
2. Visualscape
3. Control visual sobre los espacios más óptimos para el paso
4. Orientación
5. Altura absoluta sobre el nivel del mar
6. Distancia a los espacios más óptimos para mantener cultivos permanentes

La preparación de todas ellas para ser integradas en el SIG como variables ha sido explicada en otro trabajo [FER10]. Una vez seleccionados los 23 patrones (uno por yacimiento incluido en la muestra), se utilizó la calculadora ráster del módulo SIG, para aplicar las fórmulas correspondientes. En primer lugar para el cálculo de la actividad de cada neurona ( $Activity = (X1 * Weigth1) + (X2 * Weigth2) + \dots$ ). Posteriormente con la aplicación de la función fermi ( $O = Fermi(A) = 1 / (1 + \exp(-4 * (activity - 0.5)))$ ), se obtuvieron los *outputs*. La topología de la red utilizada puede verse en la Figura 5.

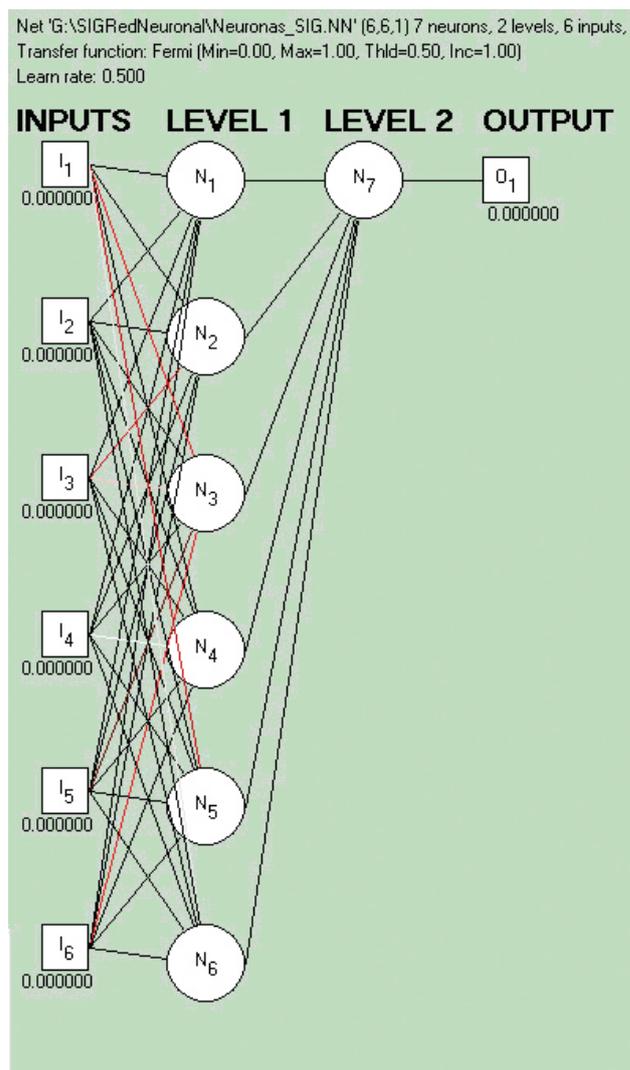
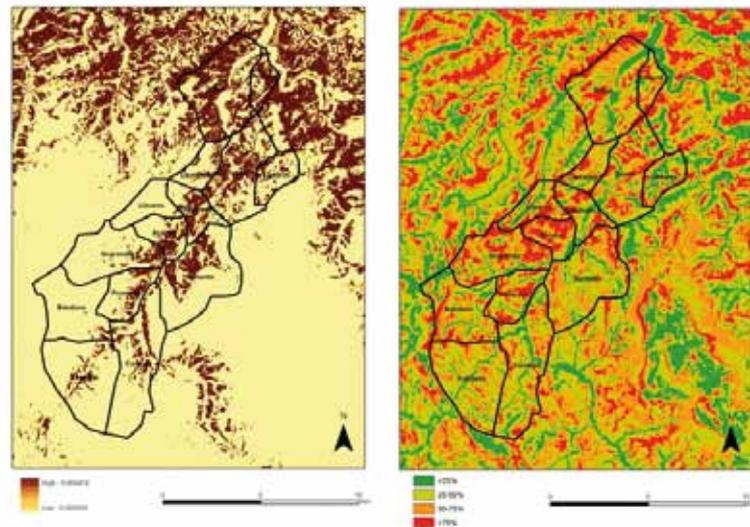


Figura 5. Topología de la red neuronal

La red neuronal está compuesta por dos niveles de neuronas de 6 y una neuronas respectivamente. El *output* final, o modelo de predicción se muestra en la Figura 6, donde se compara con el anterior modelo obtenido mediante la aplicación de regresiones logísticas [FER10], Figura 7.



Figuras 6 y 7. Mapas predictivos de riesgo arqueológico basados en la utilización de redes neuronales artificiales y de regresiones logísticas para asentamientos fortificados en altura (castillos y castros)

## 5. TEST DE MODELOS Y COMPARACIÓN

Durante las campañas de prospección realizadas en el área de estudio, tras la elaboración de estos modelos, se localizaron diferentes lugares de interés arqueológico, aunque no en todos ellos se ha documentado evidencia material. En otros trabajos ya hemos defendido que la presencia de toponimia arqueológica (aspectos inmateriales de la cultura), una vez sometida a análisis, es perfectamente válida para sostener modelos interpretativos en Arqueología del Paisaje [FER11].

A falta de un patrón de test más amplio, esta pequeña muestra de yacimientos (5 en total) nos servirá para establecer la fiabilidad de los modelos generados provisionalmente.

En el modelo de regresión logística, 4 de los 5 nuevos yacimientos localizados estaban en áreas con un porcentaje superior al 75% de probabilidad. Un único caso en el rango 50-75%.

En el modelo de redes neuronales, 4 de los 5 yacimientos se localizaron en las áreas de mayor probabilidad (>90%), frente a 1 que se quedaba fuera de este rango.

En ambos casos el grado de fiabilidad del modelo es del 80%.

Por áreas, el espacio de mayor probabilidad de nuestro modelo basado en RNA ocupa una extensión de aproximadamente 24 km<sup>2</sup>, lo que representan el 26% del territorio analizado (en total unos 94 km<sup>2</sup>).

En el caso de la regresión logística, las zonas con un rango de posibilidad superior al 75% se extendieron por un área de aproximadamente 21.5 km<sup>2</sup>: 22.4% del total.

---

En conclusión, no podemos afirmar, con los datos utilizados, que ninguno de los modelos sea más efectivo en ningún sentido .

Hay que añadir que no se ha prospectado el 100% del territorio, por lo que la fiabilidad de cada uno de los modelos podría variar si se diesen nuevos descubrimientos

---

Como podemos observar, ambos modelos son variables respecto a las áreas de mayor previsión, aunque equiparables en su extensión. Si los combinásemos, incrementaríamos la efectividad al 100%, aunque como es lógico, también del área de máximo riesgo arqueológico.

En conclusión, no podemos afirmar, con los datos utilizados, que ninguno de los modelos sea más efectivo en ningún sentido.

Por último hay que añadir que no se ha prospectado el 100% del territorio, por lo que la fiabilidad de cada uno de los modelos podría variar si se diesen nuevos descubrimientos.

## 6. CONCLUSIÓN Y CRÍTICA

Mediante la utilización de un modelo predictivo generado a partir de RNA hemos mostrado que su efectividad no difiere de otros modelos (por ejemplo los utilizados con regresiones logísticas), partiendo de las mismas variables dependientes.

Defendemos una vez más que cuando hablamos de probabilidad (presencia o no presencia de eventos en modelos predictivos), no debemos olvidar que se trata más de una herramienta para gestionar nuestro elevado grado de desconocimiento, que de una «propiedad» de la naturaleza o los fenómenos culturales. Simplificamos la realidad para entenderla, aunque los modelos utilizados (escalas analíticas, diferentes métodos de trabajo), intentan alcanzar un grado mayor de abstracción sobre ella. Cuanto mayor sea el número de escalas analíticas utilizadas más nos aproximaremos a la complejidad inherente a los fenómenos sociales-culturales, aunque los límites siguen estando presentes: nuestra propia capacidad para entenderlos mediante modelos que simplifican. Es precisamente en este ejercicio dialógico de confrontación de distintos elementos donde cobra para nosotros sentido el uso de los mapas de riesgo, no siendo su verdadera función tanto la de prever, como la de contrastar y evaluar críticamente lo previsto.

## REFERENCIAS

- [FER10] FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J. (2010): «Modelos predictivos y SIG. Algunos ejemplos de su aplicación en Arqueología: los asentamientos fortificados del Valle del Trubia (Asturias, España)», *Mapping*, 140, pp.76-82.
- [DER06] DERAIGNONE, L., MACCHI, G., (2006): «Artificial Neural Networks in Archaeology», *Archeologia e Calcolatori*, 17, pp. 121-36.
- [FER09] FERNÁNDEZ CACHO, S. (2009): «Bases conceptuales y metodológicas de los modelos predictivos en arqueología», en Fernández Cacho (Coord.), *MAPA: Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica*, e-ph cuadernos, Junta de Andalucía, nº1, pp. 8-32.
- [FER09] FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J. (2009): «Una contribución a la lectura crítica de determinadas fuentes de información arqueológicas mediante la utilización de los SIG: los "castros" del valle del Trubia», *Territorio, Sociedad y Poder: revista de estudios medievales*, nº 4, pp. 5-46.
- [FER11] FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J. (2011): «Toponimia y Sistemas de Información Geográfica. Un ejemplo de uso combinado en Arqueología del Paisaje», *Lletres Asturianas*, nº 104, pp. 139-53.
- GAINES S.W. y GAINES W.M. (1980): «Future trends in com-

- puter applications», *American Antiquity*, 45/3, pp. 462-71.
- [MCC43] McCULLOCH, W. Y PITTS, W. (1943): «A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, pp. 115-133.
- [MEH06] MEHRER, M. W., WESCOTT, K. L. (eds.). 2006. *GIS and archaeological site location modeling*. Boca Raton, FL
- [MIT01] MITHEN, S.J. 2001. *Hunter-garnter landscape archaeology: The southern Hebrides Mesolithic Project, 1988-98*. Cambridge.
- [ROS58] ROSENBLAT, F. (1958): «The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain», *Psychological Review*, 65, pp. 386-408.
- [STA99] STANČIČ, Z., KVAMME, K. L. 1999. *Settlement patterns modelling through boolean overlays of social and environmental variables*. In *New Techniques for Old Times*, edited by J. A. Barceló, Briz, I., Vila, A., Eds. Oxford: BAR International Series
- [WAR00] WARREN, R.E., ASCH, D.L. 2000. *A predictive model of archaeological site location in the Eastern Praire Peninsula*. In *Practical applications of GIS for archaeologist: a predictive modeling kit*, edited by K. L. WESCOTT. London.
- [WOO01] WOODMAN, P. E. 2001. *A predictive model for mesolithic site location on Islay using Logistic Regression and GIS*. In *Hunter-garnter landscape archaeology: The southern Hebrides Mesolithic Project, 1988-98*, edited by S. J. Mithen. Cambridge.
- [ZHO96] ZHOU, J., CIVCO, D. (1996): «Using genetic learning neural networks forspatial decision making in GIS», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62/11, pp. 1287-95.

### Sobre el autor

#### Jesús Fernández Fernández

*Arqueólogo y doctor en Historia por la Universidad de Oviedo. Ha desarrollado tareas de investigación y docencia en varios centros y Universidades, entre las que destacan las universidades de Oxford, Londres (UCL), Burgos, Santiago de Compostela y Granada. Cuenta con más de una quincena de trabajos publicados, teniendo como líneas de investigación principales la arqueología del paisaje y la aplicación en este campo de los Sistemas de Información Geográfica. Actualmente desarrolla un proyecto SIG denominado ARMENOP (Arqueología Medieval del Norte Peninsular) con la Universidad del País Vasco.*



# Sismicidad y Sismotectónica del SW de Iberia

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 38-46  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

## *Seismicity and Seismotectonic of SW Iberia*

Carmen Pro<sup>(1)</sup>, Elisa Buforn<sup>(2)</sup>, Agustín Udías<sup>(3)</sup>, Mourad Bezzeghoud<sup>(4)</sup>

### Resumen

La región del SW Iberia tiene un gran interés sismológico debido a su complejidad tectónica y a ser generadora de grandes terremotos, como el de Lisboa de 1755 que afectó a toda la Península Ibérica y produjo cuantiosos daños, generando además un gran tsunami. Hemos estudiado el proceso de ruptura de los terremotos más grandes ocurridos en esta zona en los últimos 40 años: 29 de julio de 2003 ( $M_w = 5.3$ ), 12 de febrero de 2007 ( $M_w = 6.1$ ) y 17 de diciembre de 2009 ( $M_w = 5.5$ ). Mediante la inversión de las formas de ondas internas registradas a distancias telesísmicas se ha obtenido que en los tres casos la ruptura tiene lugar en un plano de orientación NE-SW, con eje de presión horizontal compatible con el estado de esfuerzos regionales NW-SE producido por la convergencia entre la placa de Eurasia y África. Esta dirección de ruptura puede suponerse para el terremoto de Lisboa de 1755, como una ruptura compleja a lo largo de fallas con orientación NE-SW presentes en la región.

### Abstract

*The Cape Saint Vincent (SW Iberia) region is of major seismological interest for its tectonic complexity and for the occurrence of the great 1755 Lisbon earthquake that affected the Iberian Peninsula and produced extensive damage generating a large tsunami too. We have here examined the mechanism of the three largest earthquakes to have occurred in the last 40 years west of the Cape – 29 July 2003 ( $M_w=5.3$ ), 12 February 2007 ( $M_w=6.1$ ), and 17 December 2009 ( $M_w=5.5$ ). By inversion of the teleseismic body waves we estimated the three earthquakes show NE-SW rupture planes, with horizontal pressure axis compatible with the regional NW-SE horizontal compression produced by the convergence of the Eurasian and African plates. Applied to the generation of the 1755 Lisbon earthquake, this direction of faulting would correspond to a complex rupture along NE-SW trending faults present in the region.*

Palabras clave: mecanismo focal, sismicidad, sismotectónica, SW Iberia.

Keywords: focal mechanism, seismicity, seismotectonic, SW Iberia.

(1) Depto. Física. Universidad de Extremadura  
[cpro@unex.es](mailto:cpro@unex.es)

(2) Depto. Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid  
[ebufornp@fis.ucm.es](mailto:ebufornp@fis.ucm.es)

(3) Depto. Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid  
[audiasva@fis.ucm.es](mailto:audiasva@fis.ucm.es)

(4) Depto. Física e Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Portugal  
[mourad@uevora.pt](mailto:mourad@uevora.pt)

Recepción: 29-06-2012  
Aprobación: 09-10-2012

## 1. INTRODUCCIÓN

La región del SW Iberia tiene un gran interés sismológico, no sólo por su complejidad tectónica sino también por ser generadora de grandes terremotos, como el de Lisboa de 1755, el mayor terremoto producido en Europa occidental ([MAR79], [BAP88], [MAR04], [GRA07]). Este terremoto sacudió Portugal, España y Marruecos y se sintió en una gran parte de Europa, generándose un tsunami que devastó las áreas en las costas de Portugal, España y Marruecos. La región epicentral y las estructuras implicadas en el origen de este terremoto son todavía materia de debate, siendo variados los modelos propuestos ([ZIT01], [RIB02], [BAP03], [VIL03], [GUT06], [GRA07], [STI07]). Hasta el momento no se ha identificado la estructura o estructuras capaces de generar un terremoto tan grande, pero hay un consenso general sobre la existencia de una fuente primaria localizada al SW del Cabo de San Vicente y varias fuentes secundarias con diferentes orientaciones, cuya ruptura generaría un modelo complejo de fractura.

El terremoto de Lisboa no es el único gran terremoto ocurrido en esta zona. El 28 de febrero de 1969 otro terremoto de gran magnitud ( $M_s = 8.0$ ) tuvo lugar en esta región, generando un pequeño tsunami que afectó a las costas de Portugal, España y Marruecos ([MCK72], [LOP72], [FUK73], [UDI76], [GRI88], [BUF88-1], [BUF88-2], [GRA07]). El 15 de marzo de 1964 un terremoto ( $M_s = 6.1$ ) ocurrió en el Golfo de Cádiz, sintiéndose en más de la mitad de la Península Ibérica [UDI70]. En la actualidad, se observa una ocurrencia continua de terremotos de magnitud moderada

( $M \leq 5.0$ ) superficiales ( $h < 40$  km) y algunos a profundidad intermedia ( $40 \leq h \leq 150$  km).

En esta región, el límite de las placas convergentes Eurasia-África no se ha podido establecer a partir de la batimetría. Tampoco hay ninguna evidencia sismológica clara de la existencia de una zona de subducción activa [GRA07]. Cunha et al. [CUN12], utilizando recientes mediciones de GPS para modelar los procesos neotectónicos en la región, propone un difuso límite de placa sobre una superficie de más de 200 km de anchura, donde convergen las dos placas a una velocidad de 4.5-6 mm/año.

En este trabajo se estudia el mecanismo de los tres terremotos de mayor tamaño que se han producido en los últimos 40 años al SW del Cabo de San Vicente: 29 de julio de 2003 ( $M_w = 5.3$ ), 12 de febrero de 2007 ( $M_w = 6.1$ ), y 17 de diciembre de 2009 ( $M_w = 5.5$ ), con el fin de aportar nueva información sobre los procesos tectónicos en esta región.

## 2. SISMICIDAD

La Figura 1 muestra la distribución de epicentros de terremotos con magnitud  $m_b \geq 4.0$  para el periodo 2000-2011, obtenidos de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional de España (IGN) resaltando la localización de los terremotos estudiados. La mayoría de los terremotos son superficiales ( $h < 40$  km, en rojo en la Figura 1), pero también se observan terremotos a profundidades intermedias ( $40 \leq h < 150$  km) y el terremoto profundo de 2010 ocurrido en Dúrcal (Granada) ([BUF10]).

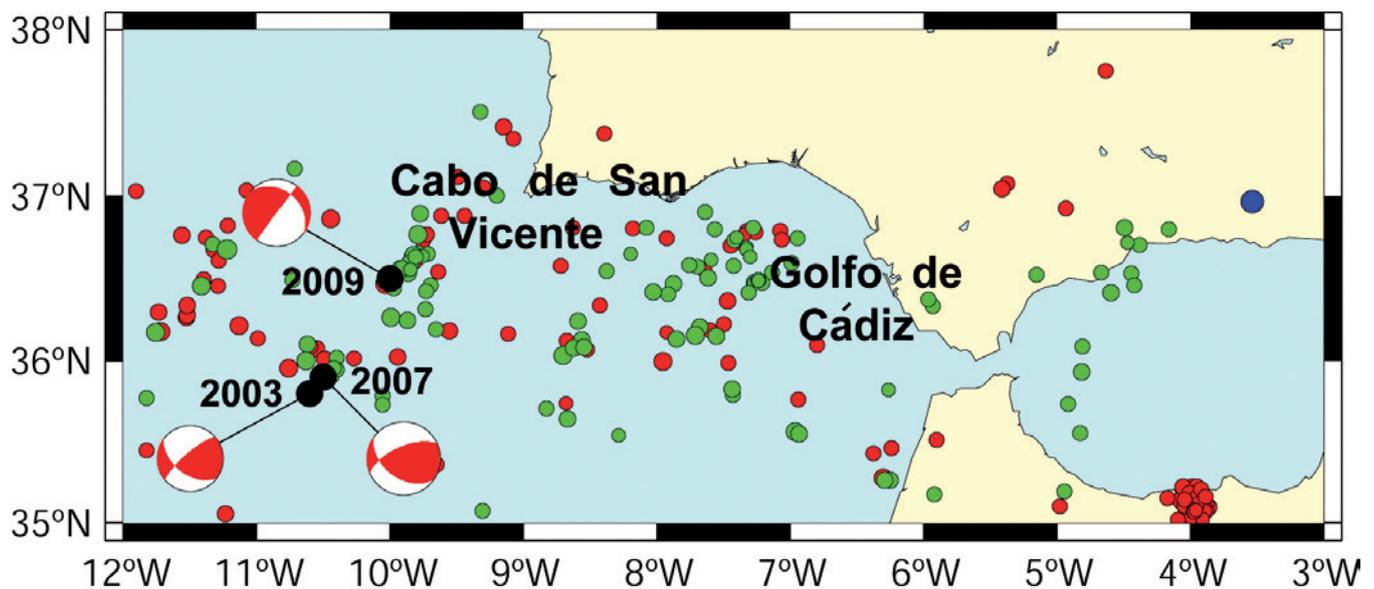


Figura 1. Distribución de epicentros de terremotos con magnitud  $m_b \geq 4.0$  para el periodo 2000-2011 (base de datos del Instituto Geográfico Nacional de España). Los círculos rojos corresponden a terremotos superficiales ( $h < 40$  km), los verdes a intermedios ( $40 \leq h < 150$  km) y los azules a profundos ( $h > 150$  km). Se representa también el hemisferio inferior de la esfera focal para los terremotos estudiados

En la zona del Cabo de San Vicente destaca:

- entre los 10.5°W y 12.0°W de longitud, una concentración de epicentros de terremotos de magnitud moderada (menos de 5.0) y superficiales ( $h < 40$  km) siguiendo una dirección NE-SW.
- otra concentración de epicentros hacia el este de los anteriores, a una latitud de unos 36° N, en dirección EW entre las longitudes 11° W- 10° W. En esta área se localizan los terremotos de 1969, 2003 y 2007.
- al noroeste de los anteriores, una línea de epicentros localizada en un cañón submarino, que partiendo de unos 36° N, 10° W discurre en dirección NE-SW hacia la parte occidental del Cabo de San Vicente. Esta alineación se ha relacionado con una continuación en el mar de la falla Alentejo-Plasencia y en ella se localiza el terremoto de 2009.

En el Golfo de Cádiz, la distribución de los epicentros sigue una dirección EW con una mayor presencia de terremotos a profundidades intermedias que también siguen esta alineación EW, que puede ser asociada con el contacto entre Eurasia y África ([BUF88-2], [BUF04], [STI05]).

Al este del Estrecho de Gibraltar, se observa una agrupación de terremotos intermedios con dirección aproximada N-S, que se puede asociar a un bloque sismogénico para el que se han propuesto diferentes modelos [BUF04].

En la Tabla 1 se muestran los parámetros focales de los terremotos estudiados, los terremotos con magnitud  $M \geq 5.0$  ocurridos en los últimos 40 años en la región del Cabo de San Vicente (IGN).

Fecha	Hora origen			Lat (°N)	Lon (°E)	h (km)	Magnitud M <sub>w</sub>
	h	m	s				
29/07/2003	05	31	32	35.8	-10.6	30	5.3
12/02/2007	10	35	24	35.9	-10.5	65	6.1
17/12/2009	01	37	49	36.5	-10.0	56	5.5

Tabla 1. Parámetros focales de los terremotos estudiados. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

### 3. METODOLOGÍA Y DATOS

Para caracterizar el proceso de ruptura de un terremoto, necesitamos calcular la geometría de la ruptura,

En el Golfo de Cádiz, la distribución de los epicentros sigue una dirección EW con una mayor presencia de terremotos a profundidades intermedias que también siguen esta alineación EW, que puede ser asociada con el contacto entre Eurasia y África ([BUF88-2], [BUF04], [STI05])

la dirección y velocidad de propagación de la misma y la función temporal de la fuente (STF), que indica como se ha liberado la energía a lo largo del proceso. A partir de la STF se obtiene el momento sísmico escalar y la magnitud de momento  $M_w$ .

Estos parámetros han sido calculados para los terremotos del 2003, 2007 y 2009 mediante la inversión de ondas P y S registradas a distancias telesísmicas, utilizando el método de Kikuchi y Kanamori [KIK91]. Las funciones de Green se han generado mediante un modelo de corteza 1-D con seis capas planas incluyendo la capa de agua, derivado de modelos propuestos para la zona [GON96]. Además, Pro et al. [PRO] han llevado a cabo el estudio de la distribución del vector deslizamiento sobre el plano de falla y han calculado el valor de la caída total de esfuerzos para cada uno de estos terremotos.

Para caracterizar el proceso de ruptura de un terremoto, necesitamos calcular la geometría de la ruptura, la dirección y velocidad de propagación de la misma y la función temporal de la fuente (STF), que indica como se ha liberado la energía a lo largo del proceso. A partir de la STF se obtiene el momento sísmico escalar y la magnitud de momento  $M_w$

Para determinar la profundidad del terremoto de 2003, se llevó a cabo la inversión de las formas de ondas P y SH para un rango de profundidad de 10 a 50 km, con un intervalo de 10 km (refinado a 5 km cerca del mínimo), analizándose tanto la variación del error medio cuadrático (*rms*) entre el sismograma sintético y el observado con la profundidad como la solución del mecanismo focal correspondiente. Se observaron dos valores mínimos del *rms*, uno a 20 km y el otro a 40 km con similar valor

En el caso de los terremotos de 2007 y 2009, se utilizó un total de 12 registros de ondas P y 6 de SH obtenidas de la base de datos de IRIS. Estas estaciones se eligieron teniendo en cuenta que la cobertura acimutal fuera óptima y que la distancia epicentral estuviera comprendida entre 30° y 90°, con el fin de evitar problemas con triplicaciones en el manto superior y difracciones en el límite manto-núcleo. Para el terremoto de 2003, sólo fue posible utilizar 9 ondas P ya que las ondas SH estaban muy contaminadas por el ruido debido a su pequeña amplitud. El desplazamiento del suelo se obtuvo a partir del sismograma eliminando la respuesta instrumental mediante deconvolución y posterior integración de la señal en el dominio temporal, aplicándose a continuación un filtro *Butterworth* de paso de banda entre 0.01 y 1 Hz.

El procedimiento seguido con los tres terremotos fue el mismo: mediante la inversión de las ondas internas P y SH, empleando un modelo de varias fuentes puntuales, se ha obtenido la orientación del plano de falla y la profundidad. La velocidad de ruptura se ha estimado probando distintos valores comprendidos entre 2.5- 3.0 km/s. Este método proporciona dos posibles soluciones para la orientación del plano falla, siendo necesario recurrir al valor del error medio cuadrático (*rms*) entre los sismogramas sintéticos y los observados y a las características tectónicas de la región para elegir el plano de falla apropiado.

## 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL PROCESO DE RUPTURA

Para determinar la profundidad del terremoto de 2003, se llevó a cabo la inversión de las formas de ondas P y SH para un rango de profundidad de 10 a 50 km, con un intervalo de 10 km (refinado a 5 km cerca del mínimo), analizándose tanto la variación del error medio cuadrático (*rms*) entre el sismograma sintético y el observado con la profundidad como la solución del mecanismo focal correspondiente. Se observaron dos valores mínimos del *rms*, uno a 20 km y el otro a 40 km con similar valor. Hemos preferido la solución correspondiente a la profundidad de 40 km, ya que la solución para el mecanismo focal es consistente con las características tectónicas de la región, que corresponden a fallas inversas con planos orientados en dirección NW-SE y NE-SW.

La velocidad de ruptura se ha calculado realizando la inversión con valores comprendidos entre 2.5-3.0 km/s. La solución con menor *rms* corresponde a una velocidad de 3 km/s. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para la orientación de los planos nodales, la profundidad, el momento sísmico escalar, la magnitud y el valor del *rms*. Los valores de este último parámetro son similares, 0.46 para el plano de azimut de 229° y 0.47 para el de azimut 128° y el momento sísmico escalar es  $1.0 \times 10^{17}$  Nm que corresponde a una magnitud de  $M_w = 5.3$ . Hemos seleccionado este plano como el plano de falla, correspondiente a una falla inversa en un plano que buza hacia el NW con el bloque sur desplazándose hacia abajo.

Esta solución es similar a la calculada por Stich et al. [STI05] mediante la inversión de formas de onda a distancias regionales y a la de CMT de Harvard, aunque la

	Planos nodales Strike/dip/ rake	h (km)	M <sub>0</sub> (Nm)	M <sub>w</sub>	rms
2003	229°/77°/41°	40	$1.0 \times 10^{17}$	5.3	0.46
	128°/50°/162°		$1.0 \times 10^{17}$		0.47
2007	246°/64°/51°	30	$8.1 \times 10^{17}$	5.9	0.55
	128°/46°/142°		$7.9 \times 10^{17}$		0.58
2009	217°/89°/ -58°	36	$2.0 \times 10^{17}$	5.5	0.50
	308°/32°/-179°		$2.0 \times 10^{17}$		0.49

Tabla 2. Parámetros calculados mediante la inversión de ondas internas: orientación de los planos nodales y profundidad momento sísmico escalar, magnitud  $M_w$  y *rms*

profundidad difiere de la propuesta por Stich et al. Es importante resaltar que la buena cobertura acimutal de los datos telesísmicos empleados en nuestro estudio permite una mejor determinación de este parámetro.

En el caso del terremoto de 2007, la profundidad se determinó llevando a cabo la inversión de ondas internas, bajo la aproximación de foco puntual, en un rango de profundidad de 10 a 80 km, obteniéndose valores mínimos del *rms* para una profundidad de 30 km y 35 km, con un mecanismo muy estable correspondiente a una falla inversa con planos orientados NEE-SWW y NWW-SEE. La solución obtenida para los dos planos es muy similar en cuanto al *rms* (0.55 y 0.58) y el momento sísmico escalar ( $8.1 \times 10^{17}$  Nm frente al  $7.9 \times 10^{17}$  Nm). La velocidad de ruptura en ambos casos es de 3 km/s. Este mecanismo es similar al obtenido por CMT, por el IGN y por Stich et al. [STI07].

En el caso del terremoto de 2009, la inversión de formas de onda mediante el modelo de fuente puntual a distintas profundidades, dio como resultado un valor mínimo del *rms* para el rango de profundidad de 35 a 40 km. Para afinar la solución, se llevaron a cabo varias inversiones con menor intervalo de profundidad, encontrándose la mejor solución a 36 km. El mecanismo focal aparece muy estable, mostrando una solución de deslizamiento sobre un plano vertical orientado NE-SW con el bloque NE desplazándose hacia abajo, siendo el segundo plano casi horizontal. Las dos posibles soluciones para el plano de falla mostraban valores del *rms* muy similares.

El momento sísmico escalar es el mismo para las dos soluciones,  $2.0 \times 10^{17}$  Nm, correspondiente a una magnitud de  $M_w = 5.5$ . Como en los terremotos anteriores, la velocidad de ruptura se estima en 3.0 km/s. Los valores de estos parámetros son similares a los propuestos por CMT pero diferentes a los del IGN.

En la Figura 1 se representa el mecanismo focal de estos tres terremotos junto a la distribución de epicentros de terremotos con magnitud  $m_b \geq 4.0$  para el periodo 2000-2011. Se observa como las soluciones obtenidas para los terremotos de 2003 y 2007 son muy similares mientras que para el terremoto de 2009 el tipo de mecanismo es diferente.

Como ejemplo, en la Figura 2 se muestran el resultado de la inversión de las formas de onda P y SH para el caso del terremoto de 2009. En la parte superior se muestra la función temporal de la fuente y el hemisferio inferior de la esfera focal. A continuación los sismogramas observados (trazo grueso) y los sintéticos (trazo fino) calculados mediante el modelo de varias fuentes puntuales alineadas.

---

Se puede concluir de este estudio que los terremotos del Cabo de San Vicente de 2003, 2007, 2009 tienen características similares (dimensiones, deslizamiento, función temporal de la fuente, velocidad de ruptura y profundidad focal), pero presentan diferencias en la geometría de la ruptura, resultantes de la complejidad de esta zona. Por tanto, es difícil establecer un único modelo sismotectónico que pueda explicar plenamente los mecanismos observados

---

## 5. DISCUSIÓN

A partir de la inversión de las ondas P y SH y de la distribución del vector deslizamiento, se han obtenido similares mecanismos para los terremotos de 2003 y 2007. Los planos de falla (azimut  $229^\circ$  y  $246^\circ$  respectivamente, con el bloque sur desplazándose hacia abajo) se han elegido teniendo en cuenta la tectónica de la región, el criterio de mínimo *rms* (con diferencias muy pequeñas entre los dos planos de falla), y la distribución del vector deslizamiento [PRO]. La ruptura comienza a 40 km y 30 km respectivamente.

Para el terremoto de 2009, el mecanismo calculado corresponde a un movimiento vertical con una componente de deslizamiento horizontal, bien a lo largo del plano vertical de orientación NNE-SSW o bien en un plano horizontal de orientación NNW-SSE. Teniendo en cuenta la tectónica de esta zona, el desplazamiento relativo en un plano horizontal en dirección NNW-SSE es menos probable que el desplazamiento vertical en la dirección NNE-SSW. Además, en la zona hay una serie de estructuras tectónicas activas de orientación NNE-SSW, siendo las más activas las localizadas entre las latitudes  $35.5^\circ$  N y  $37.0^\circ$  N, y sobre todo dentro de la corteza continental ([ZIT01], [ZIT04]). En consecuencia, hemos elegido el plano vertical como el plano de falla. La ruptura se inicia a 36 km de profundidad, siendo el movimiento hacia abajo en un plano vertical,

# S.Vicente-17/12/2009

$M_0[Nm]=0.197E+18$

$M_w= 5.46$

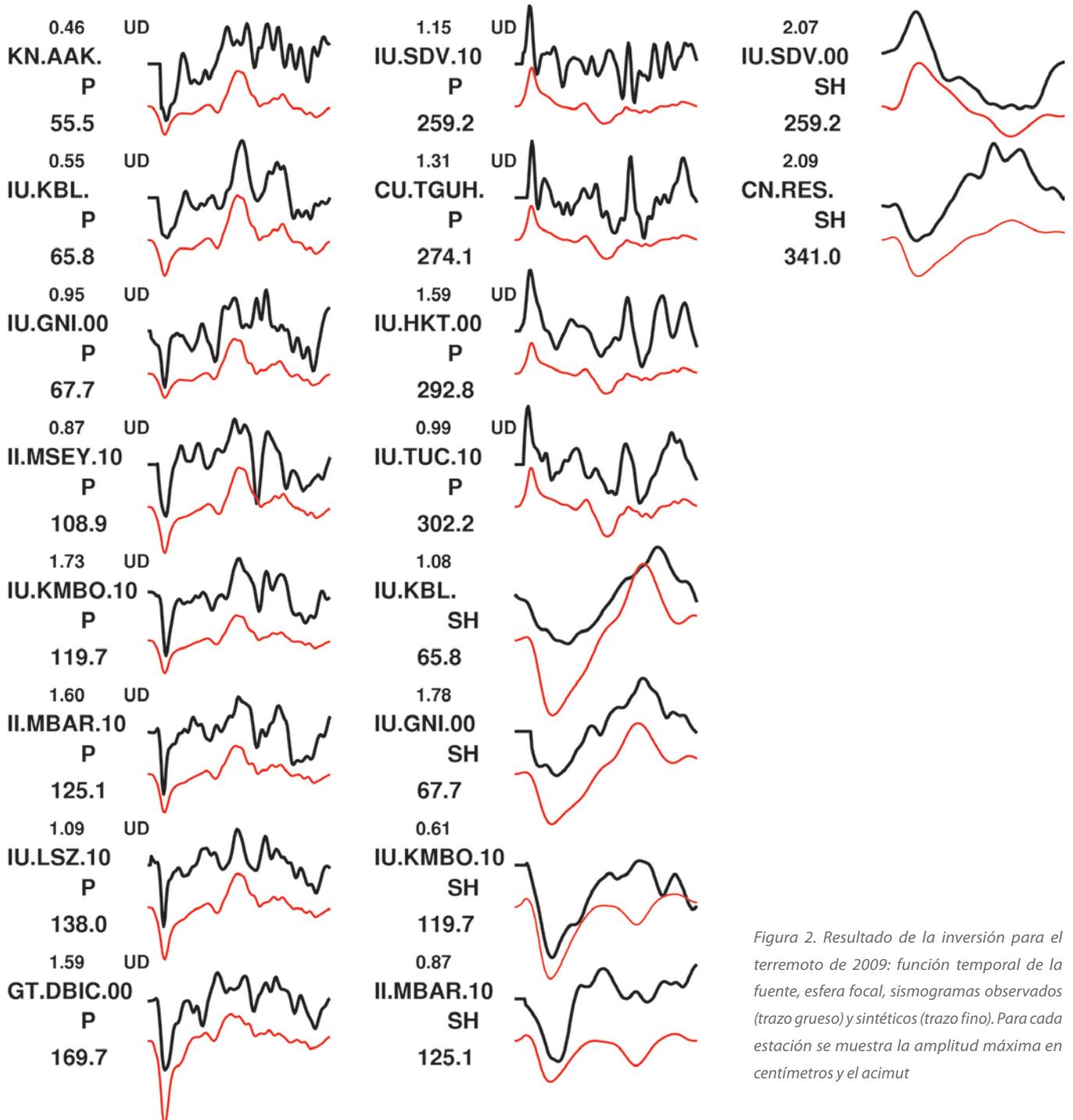
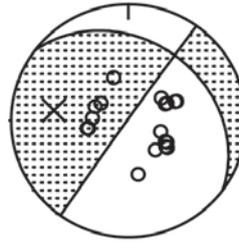
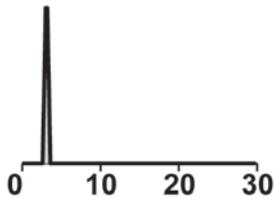
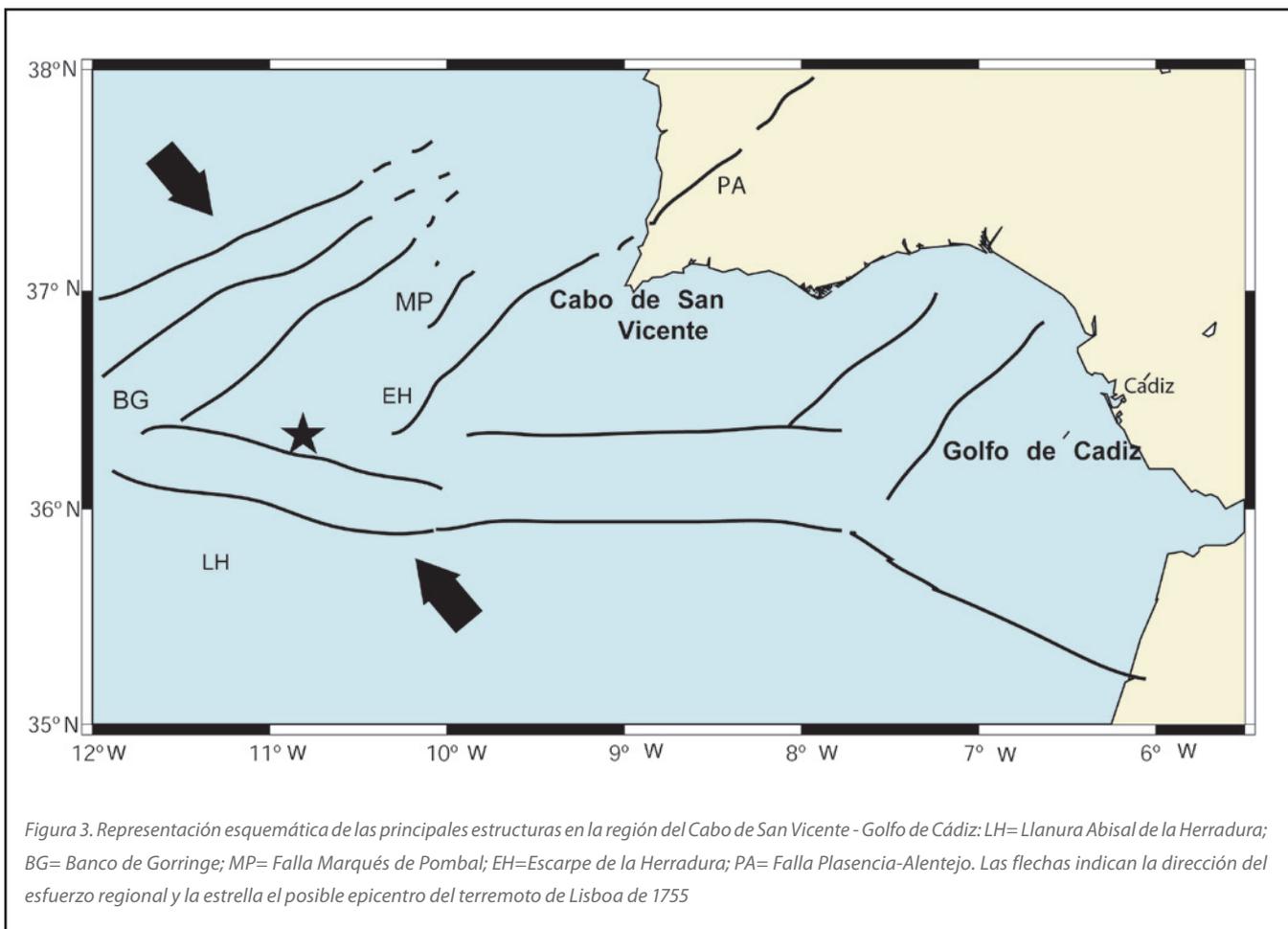


Figura 2. Resultado de la inversión para el terremoto de 2009: función temporal de la fuente, esfera focal, sismogramas observados (trazo grueso) y sintéticos (trazo fino). Para cada estación se muestra la amplitud máxima en centímetros y el acimut



mostrando así un comportamiento diferente al proceso de ruptura de los terremotos de 2003 y 2007 terremotos.

Se puede concluir de este estudio que los terremotos del Cabo de San Vicente de 2003, 2007, 2009 tienen características similares (dimensiones, deslizamiento, función temporal de la fuente, velocidad de ruptura y profundidad focal), pero presentan diferencias en la geometría de la ruptura, resultantes de la complejidad de esta zona. Por tanto, es difícil establecer un único modelo sismotectónico que pueda explicar plenamente los mecanismos observados. De hecho, se han propuesto diferentes modelos en los diversos estudios llevados a cabo en esta región. Por ejemplo, Stich et al. [STI07] llegan a la conclusión de que no hay ninguna evidencia sísmica de un proceso de subducción. Zitellini et al. [ZIT09] proponen que una colisión oblicua entre las placas Iberia y África originó fallas inversas en la Llanura Abisal de la Herradura y el margen SW portugués. Sin embargo, la ocurrencia del terremoto de 2009 no es coherente con su modelo. Geissler et al. [GEI10] encontraron dos casos de fallamiento normal casi puro en el manto superior (terremoto del 11 de enero 2008, Mw = 4.5, con epicentro próximo al del 2009 y terremoto del

10 de mayo 2008, Mw = 3.9), mecanismo para el que no encuentran explicación.

Como se observa en la Figura 3, el azimut del plano de ruptura de 2009 define muy bien la dirección de la estructura conocida como Escarpe de la Herradura, estructura que puede continuar hacia el interior como la falla de Alentejo-Plasencia. Hay otra alineación importante sismogénica con una dirección EW que parte del Banco de Gorringe y continúa hacia el este a través de la llanura de la Herradura hasta llegar a la longitud 8° W. En esta estructura, aproximadamente a una longitud de 10.5° W, se encuentran los epicentros de los terremotos de 1969, 2003 y 2007, en la zona donde se junta con el Escarpe de la Herradura.

El régimen de esfuerzos para la región en su conjunto, obtenido a partir de todos los mecanismos disponibles, corresponde a una compresión horizontal en la dirección NNW- SSE, en consonancia con la convergencia de las placas de Eurasia y África. Cunha et al. [CUN12] proponen que en el Golfo de Cádiz y SW de Iberia, esta convergencia se acomoda a lo largo de fallas inversas con direcciones entre NNE-SSW y NE-SW y también con dirección ENE-WSW y fallas de desgarre dextral con orientación WNW-ESE.

---

El estudio de los procesos de ruptura de los tres terremotos más recientes en la región del Cabo de San Vicente ha puesto de manifiesto la ocurrencia de desplazamientos a lo largo de fallas con orientación NE-SW compatibles con la compresión horizontal a escala regional en dirección NW-SE producida por la convergencia de las placas de Eurasia y África. Esto refleja la gran complejidad sismotectónica de la región, y puede explicar el mecanismo del gran terremoto de Lisboa 1755

---

Esta dirección de fallamiento NE-SW encontrada para los tres sismos de este estudio, puede ser aplicable a la generación del terremoto de Lisboa de 1755, mediante una ruptura mucho más grande a lo largo de varias fallas con esta orientación. Este terremoto y el gran tsunami que generó se podrían explicar en términos de una ruptura compleja a lo largo de fallas inversas con dirección NE-SW localizadas al SW del Cabo de San Vicente.

En conclusión, el estudio de los procesos de ruptura de los tres terremotos más recientes en la región del Cabo de San Vicente ha puesto de manifiesto la ocurrencia de desplazamientos a lo largo de fallas con orientación NE-SW compatibles con la compresión horizontal a escala regional en dirección NW-SE producida por la convergencia de las placas de Eurasia y África. Esto refleja la gran complejidad sismotectónica de la región, y puede explicar el mecanismo del gran terremoto de Lisboa 1755.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, proyecto CGL2010-19803-C03-01, por la Universidad Complutense de Madrid, proyecto BSCH-UCM, GR58-08, 910399, y por el proyecto TOPOEUROPE/0001/2007 de la European Science Foundation y de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia del Ministerio da Educação e Ciência (Portugal).

## REFERENCIAS

- [BAP88] Baptista, M.A., Heitor, S., Miranda, J.M., Miranda, P., Víctor, L.M. «*The 1755 Libon tsunami. Evaluation of the tsunami parameters*». *J. Geodynamics* 25, 159-174.
- [BAP03] Baptista, M.A., Miranda, P.M.A., Chierici, F., Zitellini, N. «*New study of the 1755 earthquake source based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling*», *Nat. Hazards Earth Sci. Syst.*, 3, 333-340.
- [BUF88-1] Buforn, E., Udías, A. Mézcua, J. «*Seismicity and focal mechanisms in South Spain*», *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 2008-2224.
- [BUF88-2] Buforn, E., A. Udías, M.A. Colombás. «*Seismicity, source mechanism and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary*». *Tectonophysics*, 152, 89 – 118.
- [BUF04] Buforn, E., Bezzeghoud, M., Udías, A., Pro, C. «*Seismic sources of the Iberia-African Plate Boundary*». *Pure appl. Geophys.*, 161, 623 – 646.
- [BUF10] Buforn, E., C. Pro, S. Cesca, A. Udías, and C. del Fresno. «*The 2010 Granada, Spain, Deep Earthquake*». *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 5, pp. 2418-2430.
- [CUN12] Cunha, T. A., Matias, L. M., Terrinha, P., Negredo, A. M., Rosas, F., Fernandes, R. M. S., and Pinheiro, L. M. «*Neotectonics of the SWIberia margin, Gulf of Cadiz and Alboran Sea: a reassessment including recent structural, seismic and geodetic data*». *Geophys. J. Int.* doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05328.x
- [FUK73] Fukao, Y., «*Thrust Faulting at a Lithosphere Plate Boundary: The Portugal earthquake of 1969*», *Eart Plan. Sci. Lett.* 18, 205-216.
- [GEI10] Geissler, W. H., Matias, L., Stich, D, Carrilho, F., Jokat, W., Monna, S., IbenBrahim, A., Mancilla, F., Gutscher, M.-A., Sallarès, V and N. Zitellini. «*Focal mechanisms for subcrustal earthquakes in the Gulf of Cadiz from a dense OBS deployment*». *Geophys. Res. Lett.*, 37, doi:10.1029/2010GL044289.
- [GON96] González, A., Torné, M., Córdoba, D., Vidal, N., Matias, L.M., Díaz, J. «*Crustal thinning in the Southwestern Iberia Margin*». *Geophys. Res. Lett.*, 23, 2477-2480.
- [GRA07] Grandin, R.; Borges, J.F.; Bezzeghoud, M.; Caldeira, B.; Carrilho, F. «*Simulations of strong ground motion in SWIberia for the 1969 February 28 (Ms = 8.0) and the 1755 November 1 (M = 8.5) earthquakes – II. Strong ground motion simulations*». *Geophys. J. Int.*, 171, 807-822.
- [GRI88] Grimison, N.L. and Chen, W.P. «*Source mechanisms of four recent earthquakes along the Azores – Gibraltar plate boundary*». *Geophysical Journal*, 92, 391-401.
- [GUT06] Gutscher, M.A., Baptista, M.A., Miranda, J.M. «*The Gibraltar Arc seismogenic zone. Part 2: constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modeling and seis-*

- mic intensity*», *Tectonophysics*, 426 (1–2), 153–166.
- [KIK91] Kikuchi, A. & Kanamori, H. «*Inversion of complex waves III*». *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 2335–2350.
- [LOP72] López-Arroyo, A. & Udías, A. «*Aftershock sequence and focal parameters of the February 28th, 1969 earthquake of the Azores-Gibraltar Fracture Zone*», *Bull. Seism. Soc. Am.*, 62 (3), 699–720.
- [MAR79] Martínez Solares, J.M., López Arroyo, A., Mezcua, J. «*Isoseismal map of the 1755 Lisbon earthquake obtained from Spanish data*». *Tectonophysics*, 53, 301–314.
- [MAR04] Martínez-Solares, J. M., & López Arroyo, A. «*The great historical 1755 earthquake. Effects and damage in Spain*». *J. Seismol.*, 8, 275– 294.
- [MCK72] McKenzie, D. «*Active Tectonics of the Mediterranean Region*», *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 30, 109–185.
- [PRO] Pro, C.; Bezzeghoud, M.; Buforn, E. and Udías, A. «*The earthquakes of 29 July 2003, 12 February 2007, and 17 December earthquake 2009 in the region of Cape Saint Vincent (SW Iberia)*». (Enviado a *Tectonophysics*)
- [RIB02] Ribeiro, A. «*Soft plate and impact tectonics*». Springer Verlag, Berlin, Germany, 324 pp.
- [STI05] Stich, D., Mancilla, F., and Morales, J. «*Crust-Mantle Coupling in the Gulf of Cadiz (SW-Iberia)*», *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2005GL023098.
- [STI07] Stich, D., Mancilla, F., Pondrelli, S., Morales, J. «*Source analysis of the February 12th 2007, Mw 6.0 Horseshoe earthquake: Implications for the 1755 Lisbon earthquake*». *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi: 10.1029/2007GL0300127
- [UDI76] Udías, A., López Arroyo, A. and Mezcua, J. «*Seismotectonic of the Azores-Alboran region*». *Tectonophysics*, 31, 259 – 289.
- [VIL03] Vilanova, S.P., Nunes, C.F. & Fonseca, J.F.B.D. «*Lisbon 1755: a case of triggered onshore rupture?*» *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 2056–2068.
- [ZIT01] Zitellini, N., Mendes, L. A., Córdoba, D., Dañobeitia, J., Nicolich, R., Pellis, G., Ribeiro, A., Sartori, R., Torelli, L., Bartolomé, R., Bortoluzzi, G., Calafato, A., Carrilho, F., Casoni, L., Chierici, F., Corela, C., Correggiari, A., Della Vedova, B., Gracia, E., Jorner, P., Landuzzi, M., Ligi, M., Magagnoli, A., Marozzi, G., Matias, L., Penitenti, D., Rodriguez, P., Rovere, M., Terrinha, P., Vigliotti, L., and Zahinos-Ruiz, A. «*Source of 1755 Lisbon Earthquake and Tsunami Investigated*, *EOS, Transactions*», *Am. Geophys. Union* 82, 26, 285– 282.
- [ZIT04] Zitellini, N., Rovere, M., Terrinha, P., Chierici, F., Matias, L. and Bigsets Team. «*Neogene Through Quaternary Tectonic Reactivation of SW Iberian Passive Margin*». *Pure appl. geophys.* 161, 565–587.
- [ZIT09] Zitellini, N., Gràcia, E., Matias, L., Terrinha, P., Abreu, M.A., DeAlteriis, G., Henriot, J.P., Dañobeitia, J.J., Masson, D.G., Mulder, T., Ramella, R., Somoza, L., Diez, S. «*The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar*». *Eart Plan. Sci. Lett.* 280, 13–50.

## Sobre los autores

### Carmen Pro

Dra. C.C. Físicas. Profesora Titular de Universidad en el área de Física de la Tierra en la Universidad de Extremadura, donde imparte docencia en Geofísica y Astronomía. Ha desempeñado cargos de gestión en el Centro Universitario de Mérida (UEX). Investigación centrada en procesos de ruptura de terremotos, sismicidad y sismotectónica. Coautor del texto *Solved problems in Geophysics* (Cambridge University Press, 2012).

### Elisa Buforn

Catedrática de Universidad en el área de Física de la Tierra. Universidad Complutense de Madrid. Su investigación se centra principalmente en los procesos de fractura en la fuente, sismicidad y sismotectónica. Es Editor Jefe de la revista *Física de la Tierra* y miembro del Consejo Editorial de *Journal of Seismology*. Coautora del texto *Solved problems in Geophysics* (Cambridge University Press, 2012).

### Agustín Udías

Profesor emérito de la Universidad Complutense de Madrid, es autor de un gran número de artículos sobre sismicidad, sismotectónica y la física de las fuentes sísmicas, así como el texto de *Sismología Principios of Seismology* (Cambridge University Press, 1999). Coautor del texto *Solved problems in Geophysics* (Cambridge University Press, 2012). Ha sido Editor en Jefe de *Física de la Tierra* y de *Journal of Seismology* y vicepresidente de la Comisión Sismológica Europea.

### Mourad Bezzeghoud

Profesor asociado en el Depto. de Física y Vice-Diretor del Centro de Geofísica de Évora de la U. de Évora. Lidera el grupo de investigadores «Tierra Sólida» del mismo centro. Ha sido profesor en la U. Pierre et Marie Curie (París, França), investigador y Diretor del Depto. de Sismología del «Centre en Astronomie, Astrophysique et Geophysique» em Argel (Algeria). Ha sido profesor/investigador invitado en la «École Nacional des Minas de París», en la U. Complutense de Madrid y en la «École Normal Supérieure de París». Su investigación se centra principalmente en los procesos de ruptura de terremotos, sismicidad, sismotectónica y riesgo sísmico.



**campus virtual**

**eGeoMapping**  
pone a su disposición  
una **plataforma de formación**  
donde encontrarás las últimas  
novedades en cursos  
relacionados con  
las **Ciencias de la Tierra**

## **Cursos**

- Ingeniería Geomática
- Ingeniería Civil
- Ordenación del Territorio
- Catastro y Propiedad
- Geoinformación
- Innovación social
- Biblioteconomía

Gracias a la formación e-learning se eliminan las barreras espacio-temporales de su aprendizaje  
ESTUDIE DONDE Y CUANDO QUIERA  
El equipo docente de eGeoMapping le espera

# Vías romanas del Noroeste Hispano: génesis, trazado y una nueva metodología para su estudio

REVISTA **MAPPING**  
Vol. 22, 160, 48-67  
julio-agosto 2013  
ISSN: 1131-9100

*Roman roads in Northwest of Hispania: genesis, layout and a new methodology for its study*

José Luis Vicente González<sup>(1)</sup>

## Resumen

A día de hoy, el conocimiento de la densa red viaria desplegada por los romanos en Hispania es, todavía, bastante deficiente. Al hecho de que son muy pocos los trazados descritos con un mínimo rigor, se suma la circunstancia de que las propuestas formuladas por la mayor parte de los investigadores que se han ocupado del tema, suelen evidenciar un divorcio bastante patente respecto a los datos que aportan la escasa documentación histórica legada por las fuentes greco-latinas y la realidad arqueológica.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten integrar óptimamente el conocimiento geográfico con el conocimiento arqueológico e historiográfico; por otra parte, la disponibilidad de cartografía en formato digital ha experimentado un avance vertiginoso en España durante la última década. Ambas circunstancias permiten abordar, actualmente, los estudios sobre caminería antigua desde una perspectiva inaccesible hasta hace pocos años. Esta comunicación tiene por objeto describir un proyecto SIG específicamente diseñado para investigar el desarrollo de la red viaria de la meseta septentrional de la península Ibérica durante la Edad Antigua, explicar los fundamentos metodológicos en que se basa su empleo y mostrar algunos de los resultados obtenidos mediante su aplicación.

## Abstract

*Today, dense road network knowledge deployed by the Romans in Hispania is still rather poor. To the fact that there are just a few roads that have been described properly in the classic documents, adds the circumstance that the proposals made by the majority of the investigators that have taken the case, show a stricken evident divorce knowledge with the poor data given by the greek-latin sources and the archaeological reality.*

*The Geographic Information Systems (GIS), allow optimously integrate the geographic knowledge with the Archaeologic and historiographic one. On the other side, the advances in digital mapping in the last decade, have experimented a vertiginous advance in Spain. Both circumstances make it possible to approach the studies of old roads, from a viewpoint inaccessible some years ago.*

*This paper wants to show the results of a project that combines the GIS and the archaeological data, building a system of research, specially designed to study old roman roads of the Northern plateau of the Iberian peninsula during the Old Ages, and to explain the methodological basis to employ it and some of the results obtained during the application.*

**Palabras clave:** Vías romanas, SIG, Noroeste de Hispania, Castilla y León.

**Keywords:** Roman roads, GIS, Northwest of Hispania, Castile and Leon.

(1)Ingeniero Técnico Forestal. Consultor SIG  
gis@jlv.g.es

Recepción: 06-05-2013  
Aprobación: 01-08-2013

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Las calzadas romanas: generalidades

Roma desplegó en su imperio circunmediterráneo la red viaria más relevante de la antigüedad, que integró, amén de cientos de miles de trazados de segundo orden (camino de herradura, senderos, etc.), cerca de 90 000 km de caminos carreteros.

Pese a la opinión contraria de unos pocos investigadores, es un hecho bien contrastado que las principales calzadas del Imperio se construyeron por el ejército por motivos iniciales de estricta índole militar. Las grandes vías romanas fueron un elemento estratégico imprescindible para facilitar el despliegue y la logística de los nutridos contingentes legionarios que conquistaron las provincias anexionadas por Roma, así como para defender las extensas fronteras exteriores. Por ello, la mayoría de las grandes vías del Imperio se suelen denominar por los autores greco-latinos *Viae militares*, *Viae consulares* o *Viae praetorias*, incluso en tiempos en los que los territorios que atravesaban llevaban siglos pacificados y desguarnecidos. Como es bien sabido, cónsules y pretores eran los magistrados que comandaban los ejércitos durante las campañas militares.

Con el paso del tiempo, las calzadas demostraron su utilidad para ejercer la administración de un territorio tan dilatado como fue el Imperio Romano, facilitando el funcionamiento del servicio estatal de correo (*cursus publicus*) y el desarrollo del comercio global, al posibilitar el transporte continuado de ingentes cantidades de mercancías en uno y otro sentido. Por las calzadas circuló todo tipo de bienes de consumo: alimentos de primera necesidad, objetos suntuarios, valiosos cargamentos de metales, la piedra empleada para monumentalizar la parte noble de todas las grandes ciudades del Imperio, pesados fustes de columnas de mármol o descomunales obeliscos. Es habitual que las excavaciones arqueológicas acrediten la fluidez del comercio soportado por las calzadas, dando fe, por ejemplo, de la intensidad del flujo exportador de aceite de oliva y *garum* béticos hacia las guarniciones periféricas de la frontera germana, o de la distribución de vasijas de *terra sigillata* manufacturada por talleres itálicos o gálicos a puntos del interior de Hispania, Britania o el norte de África.

Las calzadas estaban jalonadas por establecimientos destinados a facilitar los desplazamientos. Los de mayor entidad, denominados *mansiones*, se ubicaban en puntos estratégicos, generalmente encrucijadas, separados por una jornada de camino. En las *mansiones* se alojaban los viajeros al final de cada etapa, se relevaban los mensajeros oficiales, y se podía cambiar de montura y bestias de tiro. A medio camino entre dos *mansiones* consecutivas solían

situarse otros albergues de menor entidad, denominados *mutationes*, en los que también podían relevar los tiros y montar los funcionarios encargados del *cursus publicus*.

Como deja entrever el siguiente texto extraído del Digesto [GAR97], la complejidad de la red viaria romana llevó aparejada la aparición de una normativa sectorial proporcionalmente profusa en el derecho romano: «*Unas vías son públicas, otras privadas, y otras vecinales. Llamamos vías públicas a las que los griegos llaman reales, los nuestros pretorianas, y otras vías consulares. Son privadas, las que algunos llaman agrarias. Son vías vecinales las que se hallan en los poblados, o las que conducen a los poblados. Algunos dicen, que también éstas son públicas; lo que es verdad, si este camino no se estableció por contribución de los particulares; lo contrario, si fuera reparado por contribución de los particulares; porque si fuera reparado por contribución de los particulares, no es ciertamente privado, pues la reparación se hace con fondos comunes por esto, porque tiene uso y utilidad común*» (Ulpianvs; «Comentarios al Edicto», libro LVIII; Siglos II-III d. C.).

La velocidad de desplazamiento que permitían las carreteras romanas resulta altamente sorprendente a día de hoy. Según las fuentes de la época, Julio César llegó a cubrir jornadas de 150 km en un día; el emperador Tiberio recorrió 300 km en veinticuatro horas para visitar a su hermano Druso, accidentado repentinamente y mortalmente en Germania; el emperador Claudio, en viaje hacia Britania, recorrió 870 km en 10 días; el mensajero que llevó a Galba desde Roma la noticia de la muerte de Nerón, cubrió los 2 000 km que separan dicha ciudad de Clunia (Peñalba de Castro - Burgos) en 6 días y medio; y, por poner un último ejemplo, el correo público por tierra entre Roma y Alejandría (3 500 km) se demoraba 63-64 días, poco más del doble del tiempo necesario para realizar el mismo viaje por mar (2 000 km).

Los romanos no permitían enterrar a los muertos dentro de los recintos urbanos, por lo que fue práctica habitual disponer las sepulturas a lo largo de los accesos viarios a las ciudades. La *Via Apia*, una de las principales arterias de comunicación de Roma, considerada la «reina de las grandes calzadas», en las cercanías de la capital del Imperio albergó un cementerio lineal de 20 km de longitud, inicialmente reservado a las tumbas de los patricios. Esta circunstancia hizo afirmar a Cicerón, en una época tan temprana como mediados del siglo I a. C., refiriéndose a Roma: «*Se entra a través del espesor de los muertos*».

### 1.2. Técnica constructiva

Las calzadas, verdaderas obras de ingeniería destinadas a conformar la espina dorsal de la infraestructura viaria romana, fueron caminos carreteros, proyectados y construidos para permitir el tráfico rodado durante cual-

quier época del año. Precisamente por su especial tipología constructiva recibieron el nombre de calzadas, vocablo que hace referencia expresa a los materiales pétreos empleados en su cimentación.

Otras características constructivas específicas de las calzadas romanas fueron la rectitud y excelente geometría de sus trazados, la ausencia de pendientes inadecuadas para permitir el tráfico carretero de tracción animal, y la presencia de numerosas obras de fábrica anejas, destinadas a facilitar el paso de las corrientes de agua (puentes y alcantarillas) y a hacer cómodo y seguro el desplazamiento de los viajeros (miliarios, fuentes, apoyos para montar, etc.).

El drenaje del agua de lluvia se facilitaba mediante la curvatura y sobreelevación del perfil de rodadura (*agger*), y la elección generalizada de trazados alejados de los fondos de valle. En ocasiones, se drenaron extensos pantanos y humedales situados en el recorrido de las vías para evitar tener que dar rodeos indeseados.

La técnica constructiva aplicada para cimentar las calzadas (Figuras 1 y 2) variaba mucho según el tipo de terreno, a pesar de lo cual, los fundamentos generales seguidos por los ingenieros romanos ya eran bastante bien conocidos hace más de dos siglos por autores franceses como Nicolás Bergier, tal y como testimonia el siguiente texto de Albert Grenier [ROD10]:

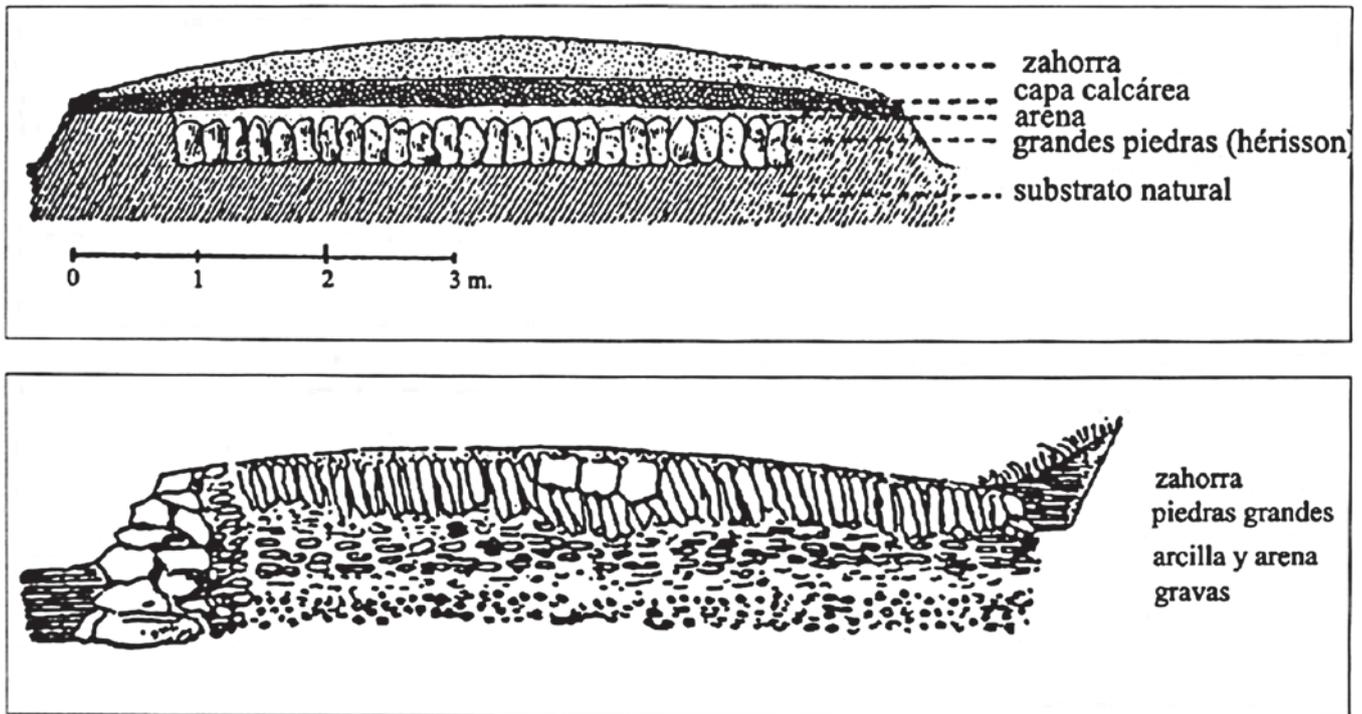


Figura 1. Sección de dos vías romanas documentadas en Francia a principios del siglo XX. Arriba: vía de Trèves a Cologne, según Hagen; abajo: vía en Calvados, según De Caumont [GRE34]



Figura 2. Restos de calzada en San Esteban del Molar (Zamora), localizados por el autor a principios de 2010. Se aprecian nítidamente las hiladas de piedras de canto del rudus, tal y como se describen por Grenier

«Estas primeras observaciones y las de los sucesores de Bergier del siglo XVIII, conservan todo su valor documental. Han establecido el principio y no han iniciado la tradición de una manera falsa. Este principio lo expone, entre otros, M. Besnier en el Diccionario de las Antigüedades [...] La palabra latina «statumen» explica perfectamente la idea: se trata de la base sobre la que reposará («stare») el conjunto de la obra. A continuación se trata de proteger la base de la construcción contra los peligros de la humedad, de donde el 'radier' (revestimiento, plataforma), «rudus». Este 'radier', de cantos bastante gruesos o más a menudo de piedras puestas de canto, de donde el término corriente de 'hérisson' –erizo, en francés-, se encuentra en la base de todos los muros.

Como en las áreas hormigonadas, a la carretera le hace falta un cuerpo inerte, que forme masa y en lo posible un poco elástico; es el «nucleus», a menudo de arena bien apretada. Después viene la superficie, «summum dorsum», preparada especialmente para el uso fácil de la ruta».

La capa de rodadura (*summum dorsum*) estaba generalmente formada por zahorra natural aprisionada. No obstante, en los tramos urbanos, donde la velocidad de circulación de jinetes y carruajes era menor, y las necesidades de limpieza de los residuos orgánicos evacuados por las cabalgaduras y bestias de tiro más exigentes, la superficie de las calzadas podía estar pavimentada con losas asentadas sobre cal y/o arena.

En su interesantísima obra *Histoire des Grandes Chemins de l'Empire Romain*, impresa en 1622, N. Bergier afirma, al respecto, lo siguiente: «En cuanto a los [camino]s de Francia

y los Países Bajos no están cubiertos en toda su longitud, sino por una simple capa de grava... Pero lo que sobrepasa toda admiración es que los menudos guijarros de los que la superficie de dichos caminos está compuesta, no se encuentran en los campos vecinos, por donde pasa el camino, y es muy difícil averiguar de dónde tales piedrecitas han podido ser traídas en tan grandes cantidades» (pp. 248-249) [ROD10].

La *Via Apia*, cuyo trazado inicial data del 312 a. C., se pavimentó, excepcionalmente, con losas a lo largo de la mayoría de su recorrido. Esta vía ha sido convertida erróneamente en el paradigma de todas las calzadas romanas subsecuentes, cuyo aspecto externo más habitual se asemejaba al presentado por los actuales caminos y pistas realizados para dar servicio a terrenos afectados por concentraciones parcelarias y repoblaciones forestales. El ancho del firme de las principales calzadas oscilaba entre 6 y 12 metros, mientras que las *viae vicinales* no solían superar los 4 metros, espacio suficiente para permitir la circulación en paralelo de dos carruajes.

Como ya se apuntó, la cimentación variaba mucho en función del sustrato geológico y de la naturaleza y grosor de los materiales disponibles. La cimentación de la vía documentada en la Figura 3 está realizada en piedra arenisca, al igual que la mostrada en la Figura 2, pero, al estar conformada por pedruscos de tamaño medio-grande bastante regulares, en vez de por los mendrugos de menor y más irregular tamaño que se observan en el tramo de vía fotografiado en San Esteban del Molar, la disposición de los mismos es netamente diferente.



Figura 3. Restos de la calzada entre Medina de Rioseco y el puente de Deustamben, sobre el río Esla, localizados por el autor en los alrededores de Vidayanes en enero de 2010

En las terrazas y en otras formaciones geológicas próximas a los cauces fluviales, donde abundan los cantos rodados, la cimentación de las vías solía estar constituida únicamente por este tipo de material (Figura 4), mientras que en zonas donde afloraba la roca en superficie o en algunos suelos duros del norte de África los caminos no se cimentaban, con independencia del tipo de tráfico para el que fueran proyectados.

### 1.3. El Itinerario de Antonino

De las escasas fuentes escritas de época romana que aluden con cierto detalle a la red viaria del Noroeste de Hispania, sólo se considera interesante hacer referencia específicamente en este breve prefacio al *Itinerario de Antonino*, ya que se trata del único texto clásico cuyo concurso tiene un protagonismo relevante en el trabajo que se presenta.

El resto de fuentes greco-latinas conocidas conservadas alusivas a la configuración de la red viaria de Hispania, apenas aporta información adicional de interés, por no estar contemplado el ámbito geográfico de estudio en las mismas (*Tabula Peutingeriana* y *Vasos de Vicarello*), ser reiterativas y poco precisas (*Anónimo de Rávena*), o estar seriamente cuestionada su autenticidad (*Tábulas de Astorga*).

El *Itinerario de Antonino* es la fuente histórica más importante para el estudio de la red viaria romana. Se trata de una recopilación de caminos del Imperio Romano, que se cree fue redactada inicialmente en época del emperador Caracalla (197-217 d.C.), aunque la versión conservada actualmente, recopilada de diversos códices elaborados por copistas medievales entre los siglos VII y XV, no puede ser anterior a los emperadores

Diocleciano y Maximiano (284-305 d.C.), pues contiene anotaciones que no pueden proceder de épocas anteriores a la indicada.

El *Itinerario de Antonino* fue conservado ligado a la *Cosmografía* de Julio Honorio, datando la primera edición recopilatoria de 1512 [ROL73]. La edición básica del *Itinerario* fue realizada por P. Wesseling en 1735: *Vetera Romanorum Itineraria* (Amsterdam). Posteriormente se compilaron otras ediciones, que son las más utilizadas por los investigadores de época contemporánea: G. Parthey et M. Pinder, *Itinerarium Antonini Augusti et Hierosolymitanum ex libris manuscriptis*, Berlín, 1848; O. Cuntz, *Itineraria Romana*, vol. I, Leipzig, 1929; K. Miller, *Itineraria Romana. Römische Reisewege an der Hand der Tabula Peutingeriana*, Stuttgart, 1916. Para el territorio español, la principal bibliografía de referencia sobre el *Itinerario* se completa con los siguientes títulos: E. Saavedra, *Discursos leídos ante la Real Academia de la Historia*, Madrid, 1862; A. Blázquez, «Nuevo estudio sobre el Itinerario de Antonino», *BRH*, 31, 1892. J.M. Roldán Hervás, *Itineraria Hispana. Fuentes antiguas para el estudio de las vías romanas en la Península Ibérica*, Valladolid-Granada, 1975 [CAR96].

La obra describe 372 rutas terrestres, de las cuales 34 circunscriben total o parcialmente su recorrido a Hispania. De cada ruta descrita, el *Itinerario de Antonino* detalla la longitud total, el nombre de los puntos de descanso intermedios (*mansiones*) y las distancias parciales entre dichos puntos. Las distancias terrestres entre una y otra *mansio* consecutivas aparecen reflejadas en millas romanas o *millia passum* (mpm) y, ocasionalmente, en leguas en Las Galias.



Figura 5. Itinerario de Antonino: fragmento de un manuscrito medieval.

Figura 4. Tramo de calzada cimentado exclusivamente con cantos rodados (Milles de la Polvorosa)

El valor de las millas que cuantifican las rutas reflejadas en el *Itinerario* ha sido objeto de intensa controversia, aunque existen argumentos consistentes [RUI97], coincidentes con el resultado de nuestras investigaciones, que permiten fijarla, inequívocamente, en un valor muy próximo o igual a 1 480 metros. Las distancias marítimas se contabilizan en el *Itinerario* en estadios itálicos (1 estadio = 185 metros).

Gracias a la descripción legada por Vitruvio, se sabe que los romanos disponían de vehículos dotados con instrumentos de precisión para medir recorridos viarios, al menos, desde el siglo I a. C. Este tipo de dispositivos funcionaba, básicamente, dejando caer cada milla en un cuenco de metal una pequeña piedra redondeada previamente almacenada en un tambor, gracias al concurso de varios engranajes conectados a una rueda del carro. Las ruedas de este tipo de carruajes debían tener un diámetro de cuatro pies romanos (1.2 m), y doce pies y medio de circunferencia (3.7 m.); de este modo, 400 vueltas de las ruedas equivalían a una milla romana [VAL10].

Las irregularidades de las etapas y los bruscos cambios de dirección de muchas de las rutas recopiladas en el *Itinerario de Antonino* han intrigado durante años a los estudiosos y han dado lugar a diversas y muy alejadas hipótesis sobre la naturaleza de este documento, que permanece siendo un misterio sin resolver por los historiadores.

## 2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### 2.1. Justificación y objetivo

La metodología desarrollada por el autor para investigar la red viaria existente en época romana se basa, fundamentalmente, en tecnologías directamente relacionadas con las ciencias geográficas.

Los métodos de estudio más acreditados entre los investigadores durante las últimas décadas, apuestan por supeditar mayoritariamente la identificación de los trazados viarios a la localización de sus restos arqueológicos [MOR04]. Esta forma de trabajar presenta el grave inconveniente de que los restos materiales de las infraestructuras viarias romanas han desaparecido totalmente de gran parte del territorio, lo que dificulta interpretar correctamente la posible relación existente entre vestigios de cimentación que afloran de forma muy dispersa y aleatoria.

La anterior conclusión fundada, en un principio, en el análisis del recorrido de las vías romanas mejor identificadas del territorio castellano-leonés, se refrendó de forma inapelable analizando con detenimiento los posibles corredores de las calzadas reseñadas en el *Itinerario de Anto-*

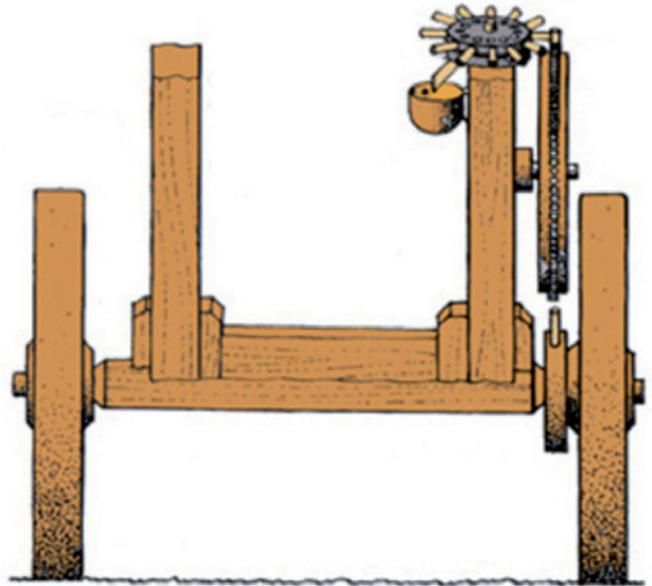


Figura 6. Recreación de un odómetro romano, según ilustración de P. Dennis y D. Bryant [HAM82], basada en descripción incluida en la obra *De Architectura* (Vitruvio, 10, 9)

nino que atraviesan la Tierra de Campos, y cuantificando y comparando los escasos segmentos donde se observaban restos patentes e inequívocos de su cimentación y obras de fábrica anexas, con la longitud total de las vías a las que tuvieron que pertenecer. La Tierra de Campos goza de unas características geológicas muy peculiares, que convierten dicho territorio en un laboratorio inmejorable para el estudio de la evolución de la red viaria desde la antigüedad. Las características que hacen de esta comarca un lugar tan especial son básicamente dos:

- En Tierra de Campos las piedras de cualquier tipo brillan por su ausencia, salvo en las inmediaciones de los escasos y poco caudalosos cauces fluviales que riegan precariamente la comarca. Por ello, los materiales pétreos de carácter exógeno son muy fáciles de localizar e identificar sobre el terreno.
- El sustrato arcilloso característico de la comarca exige grandes espesores de cimentación para construir en su interior cualquier carretera con unas mínimas pretensiones de solidez y durabilidad.

Si los restos de las grandes vías romanas que vertebran la Tierra de Campos habían desaparecido completamente en gran parte de los corredores prospectados, por los motivos que más adelante se justificarán, quedaba claro que centrar la investigación abordada en la localización en campo de los restos de las vías era poco eficiente, además de que obligaba a proponer hipótesis en las que los tramos imaginados, ajenos a cualquier razonamiento

científico sólido, superarían ampliamente en magnitud a los tramos refrendados por la presencia de indicios concluyentes. Por tanto, se hacía imprescindible intentar complementar los resultados derivados de las prospecciones en campo con otras prácticas que permitieran incrementar sensiblemente el porcentaje de los tramos de vía identificados de forma segura.

La herramienta idónea para diseñar una metodología que pudiera paliar las carencias detectadas en el procedimiento de investigación inicialmente aplicado resultó ser un Sistema de Información Geográfica, cuya estructura será descrita brevemente en el segundo punto de este apartado.

### 2.2. Descripción del proyecto SIG

La descripción del modelo de datos diseñado para abordar la investigación ya fue desarrollada en detalle en anteriores comunicaciones [VIC11] [VIC12], por lo que a ellas nos remitimos para solventar posibles dudas que pudieran presentarse a los lectores de este artículo relativas al proyecto SIG propiamente dicho. Por tanto, tras una breve referencia a dicha cuestión, se pasará a comentar otros aspectos más concretos de la metodología de trabajo seguida, no publicados hasta ahora.

En lo que se refiere a su vertiente vectorial, la *geodatabase* que almacena la mayor parte de las capas de información, integra las 851 hojas en formato digital del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25) correspondientes a la Comunidad Autónoma de Castilla y León, en sus modalidades ráster y vectorial (BCN25). El diseño del modelo de datos de la base cartográfica vectorial 1:25.000 (Figura 8) asume la estructura de la Base Topográfica Nacional de España a escala 1:25.000 (BTN25), elaborada y publicada por el IGN en 2009 (v 1.0, de 28/05/2009).

La *geodatabase* organiza la cartografía básica territorial en 10 carpetas o *Features Data Set* y 35 ficheros o *Feature Class*, que se almacenan en las distintas carpetas de acuer-

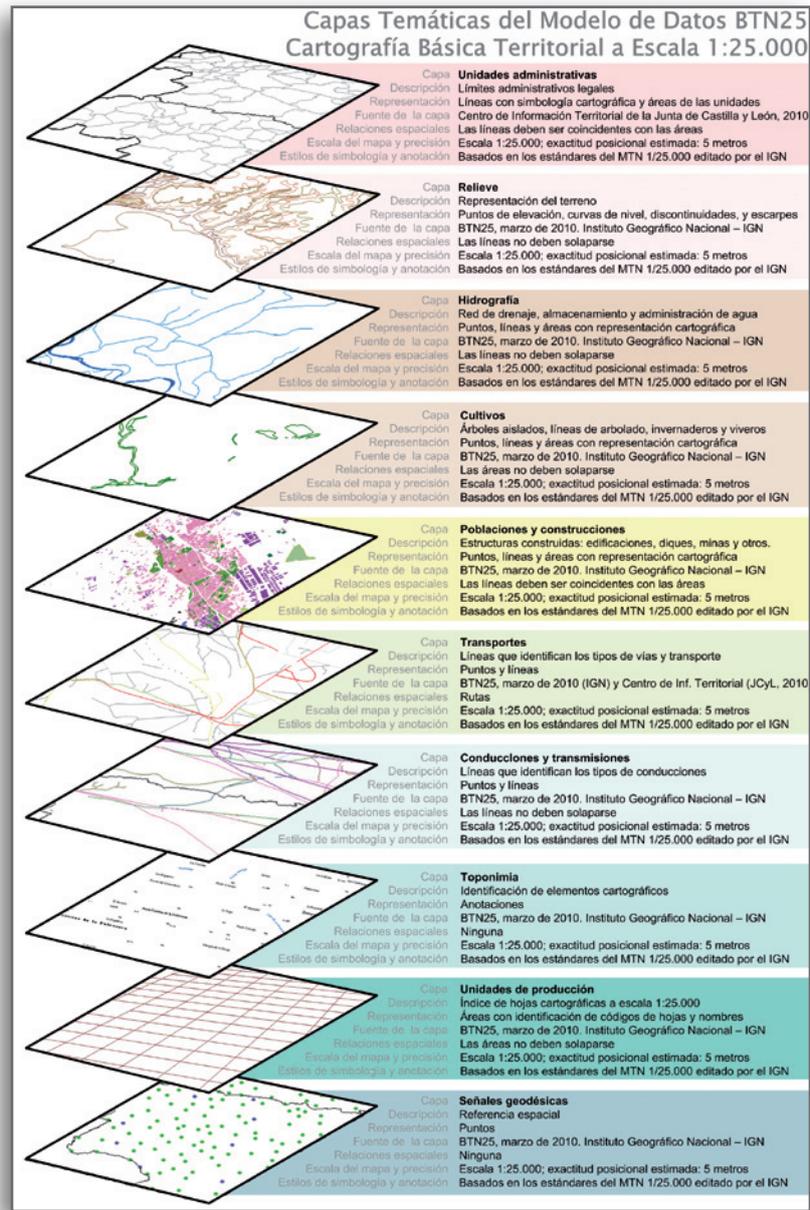


Figura 8. Modelo de datos. Estructura general.



Figura 7. Facies geológica Tierra de Campos, un entorno carente totalmente de piedras



En lo referente a esta última escala, se generaron dos *Raster Dataset*, uno con la información actualizada, y otro que integra las 239 hojas correspondientes a la primera edición del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:50.000 del territorio castellano-leonés, publicadas por el IGN entre los años 1877 y 1963. También se integraron en el SIG las algo más de 4.000 planimetrías originales a escala 1:25.000 realizadas para la ejecución de dicho sector de la 1ª edición del mapa a escala 1:50.000. Esta cartografía, realizada mediante métodos topográficos de precisión, ha sido recientemente digitalizada y georreferenciada por la Consejería de Medio Ambiente de la JCYL y por el IGN. Las planimetrías pueden consultarse a través de un cargador programado en *Visual Basic*, embebido en la interfaz de la aplicación SIG utilizada, también aprovechado para gestionar varias decenas de millares de ortofotografías a las que se aludirá seguidamente.

El SIG permite cargar de forma individualizada más de 50 000 imágenes del territorio de alta definición, correspondientes a vuelos realizados entre los años 1956 y 2011. Los vuelos más antiguos utilizados fueron elaborados por el *US Army Map Service* (1956-1957) y por el IRYDA en colaboración con el IGN (1977-1983). Los más modernos proceden del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), impulsado de forma conjunta por el Gobierno de España, a través del Ministerio de Fomento, y por las comunidades autónomas (2004-2011). Esta información se completa con varios vuelos regionales de ámbito más o menos local, elaborados por la Junta de Castilla y León durante el periodo comprendido entre 1997 y 2003.

Finalmente el SIG integra, asimismo, un potente Modelo Digital de Elevaciones de 5x5 m de malla, generado por el Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León a partir de la información en bruto obtenida a través del PNOA.

### 2.3. Descripción de la metodología utilizada para reconstruir la red viaria romana

El procedimiento de trabajo a seguir para reconstruir la red viaria romana, según la metodología desarrollada por el autor, se desglosa en los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se analiza la información arqueológica, historiográfica, topográfica y toponímica disponible sobre el área de estudio y, de acuerdo con las conclusiones de dicho análisis, se delimita el corredor más plausible para soportar el recorrido de la calzada cuyo trazado se pretende reconstruir.
2. El siguiente paso consiste en verificar, con ayuda del SIG, que el corredor predefinido permite dibujar un trazado continuo ajustado a la red de caminos históricos representada en las planimetrías elaboradas para realizar la primera edición del MTN 1:50.000 de España.
3. Seguidamente, se debe verificar, mediante las herramientas de medición soportadas por la aplicación SIG, que las distancias parciales entre las millas en que se subdivide la ruta se ajustan adecuadamente al registro arqueológico y a los hitos topográficos existentes (ríos, localidades, límites administrativos). Si la calzada está descrita en el *Itinerario de Antonino*, se comprueba, igualmente, que las distancias intermansionarias coinciden con las preservadas en dicho documento. Se recuerda que el valor de la milla romana constatado por el autor, para todo el área de estudio a la que se refiere esta comunicación, es de 1 480 m.
4. Una vez realizado el primer ajuste anteriormente descrito, el fichero 2D inicialmente creado se transforma en un fichero 3D ajustado al terreno, con el auxilio del Modelo Digital de Elevaciones de 5x5 metros de malla obtenido a partir del PNOA, y la correspondiente funcionalidad del SIG.
5. La exactitud del trazado obtenido en el paso anterior, aunque sea mucho mayor que la correspondiente a la generalidad de los estudios sobre viaria romana realizados hasta la fecha, viene limitada por la escala de elaboración de las planimetrías (1:25.000), así como por los condicionantes técnicos propios de la época en que se realizó la cartografía histórica utilizada (último cuarto del siglo XIX y principios del siglo XX). Puede realizarse un encaje más exacto de la traza, ajustando su recorrido con ayuda de las ortofotografías cargadas en el SIG. Esta operación es preferible realizarla utilizando vuelos de la mayor antigüedad posible, siempre y cuando estén correctamente ortorectificados y georreferenciados. Para las áreas donde no se disponga de dicho material, es preciso realizar el ajuste final de la vía de un modo bastante artesanal, que combina la consulta de los vuelos actuales, de gran exactitud, pero en los que el camino actual que asume la traza de la vía romana puede estar significativamente desplazado del curso original de ésta, con la observación de vuelos históricos deficientemente ortorectificados, que no se pueden superponer con total fidelidad con el resto de capas del SIG, pero permiten apreciar los posibles desplazamientos experimentados por el trazado. Como ya se indicó en la introducción, hay que tener presente que, tanto cuantitativa como cualitativamente, la alteración de la red viaria tradicionalmente existente es un fenómeno que data, generalmente, de tiempos bastante recientes.
6. Finalmente, se procede de nuevo a comprobar la posición de todas y cada una de las millas que jalonan la vía, aunque hay que advertir que el ajuste descrito en el paso anterior no suele tener demasiada repercusión sobre las longitudes de los tramos de la traza. Al traba-



Figura 10. Miliarios de Bolaños de Campos (izqda.) y Aguilar de Campos (dcha.)

jar en una *geodatabase* de ArcGIS, esta comprobación es bastante inmediata, ya que las longitudes de los segmentos se actualizan automáticamente al alterar la geometría de cada fichero de líneas.

7. Una vez completado el trabajo de gabinete, la bondad del trazado reconstruido deberá verificarse en campo, mediante la búsqueda de vestigios de cimentación y obras de fábrica. En los recorridos de campo deberá tenerse en cuenta que la reutilización de los materiales causa, en numerosas ocasiones, que estos se encuentren actualmente algo desplazados de la traza, embutidos en construcciones de épocas posteriores.

La metodología descrita asume la hipótesis, bastante acertada a tenor de los resultados obtenidos, de que la información preservada en el *Itinerario de Antonino* es mayoritariamente correcta, tanto en lo referente al recorrido de las vías, como en lo tocante a las distancias entre mansiones que recoge.

#### 2.4. Medición de los trazados

En las localidades vallisoletanas de Bolaños de Campos

y Aguilar de Campos se conservan dos miliarios «in situ», que en el Inventario Arqueológico de Castilla y León figuran consignados como «Rollos de Justicia» de época medieval (Figura 10).

El motivo inicial que llevó a suponer que ambos cipos pudieran ser dos miliarios romanos que hubieran perdido su inscripción, fue su cercanía al corredor de la ruta XXVII del *Itinerario de Antonino*, que enlaza Astorga y Zaragoza. En el término de Bolaños se localiza uno de los principales yacimientos romanos de Tierra de Campos (56 Has.), que el autor identifica con la antigua *civitas vaccea* de *Intercatia*.

Al comprobar, por medio del SIG, la distancia que separa estos dos peculiares «rollos», por un trazado dibujado sobre lo que parece fue la ruta carretera más idónea entre ambos, según recogen las planimetrías ejecutadas en el año 1907 (n<sup>os</sup> 470041 y 470005), se observó que tal recorrido sumaba 10 370.35 metros.

Esta distancia se corresponde casi exactamente con 7 millas romanas de 1 480 metros (10 360 metros). Posteriormente se obtuvieron más evidencias que certificaban el paso de la vía por el trazado indicado, lo que permitió

constatar que el error cometido por los romanos al posicionar un miliario respecto al otro fue, pues, de poco más de 10 metros; o lo que es lo mismo, poco más de 1 metro por milla. El procedimiento de medición de los trazados se representa gráficamente a continuación (Figuras 11 y 12).

La aplicación utilizada para realizar la medición trabaja con precisión por debajo del milímetro, y la ruta dibujada para ilustrar este ejemplo, que discurre íntegramente sobre caminos históricos preservados en las planimetrías, está adaptada al relieve del terreno (refleja distancias reales, no reducidas) mediante el empleo del Modelo Digital de Elevaciones PNOA, que asigna cota real cada 5 m., con errores submétricos en zonas totalmente desarboladas, como la representada.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Las vías romanas del Noroeste de Hispania

Según nuestras investigaciones, el origen militar de la red viaria del noroeste ibérico está fuera de toda duda, y la

fecha de inicio del replanteo y construcción de las mismas se remonta a la época de las Guerras Cántabras. El trazado de todas las rutas citadas está supeditado a las dos finalidades principales para las que fueron proyectadas: la conquista del territorio y su posterior explotación por Roma.

La participación de las legiones de *Avgvsto* en el despliegue de la red viaria de los conventos *Astvrvm*, *Bracarvm* y *Lvcensis*, además de por la existencia de una consistente documentación epigráfica [PON07], queda avalada por el recorrido de los principales trazados que articulan el territorio, que se ajusta a los yacimientos arqueológicos más afines a los escenarios donde se desarrollaron las principales campañas militares de las guerras, así como por la localización y encuadre temporal de varias canteras que proporcionaron la piedra para cimentar las vías.

Seguidamente, se incluye un mapa en el que se representa la red viaria romana correspondiente a las provincias de León, Salamanca y Zamora, según el estado actual de las investigaciones realizadas por el autor (Figura 13).

Tras este primer mapa, se incluye un segundo plano en el que se perfilan los tramos más próximos a Astorga de las

rutas XVIII (*Via Nova*) y XIX descritas en el *Itinerario de Antonino*, según el autor (Figura 14). El recorrido de ambas calzadas se detalla en dos tablas que completan este apartado, que desglosan las vías siguiendo la nomenclatura preservada en las planimetrías realizadas a principios del siglo XX por los topógrafos del Instituto Geográfico y Catastral (IGC).

Algunos autores consideran que las rutas XVIII, XIX y XX del *Itinerario* describen un tramo común entre *Astvrca Avgvsta* y las dos mansiones que la anteceden, ya que consignan las mismas distancias parciales entre ellas. Sin embargo, en el atrio de la iglesia parroquial de San Justo de Cabanillas (León) se conserva un miliario de la *Via Nova* cuya inscripción desmiente rotundamente tal teoría: *Via nova facta ab Asturica Bracar(am)* (Se construyó la *Via nova* desde Astorga a Braga). La ruta XVIII sería, pues, posterior y diferente a las rutas XIX y XX, que sí discurrirían por un mismo corredor en sus 50 millas finales.

Los emperadores flavios tenían numerosos motivos para abrir una nueva ruta en el 79 d. C. que enlazara

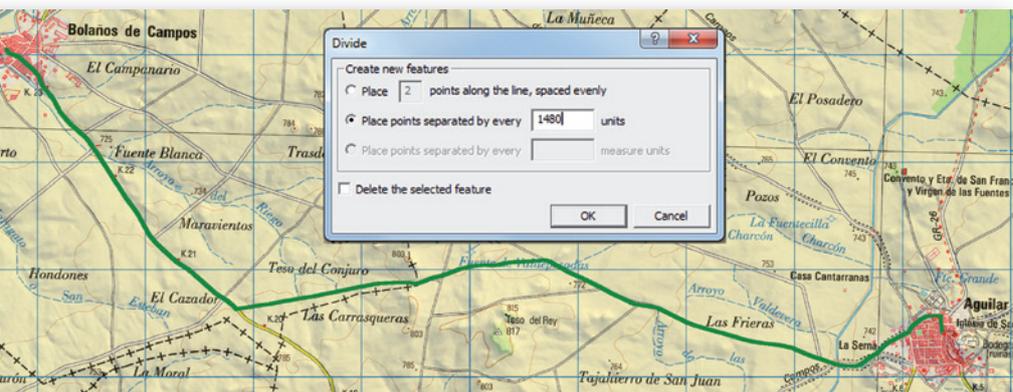


Figura 11. División automática de la traza de la vía entre los miliarios de Bolaños de Campos y Aguilar de Campos en tramos de 1 milla romana (1 480 metros)

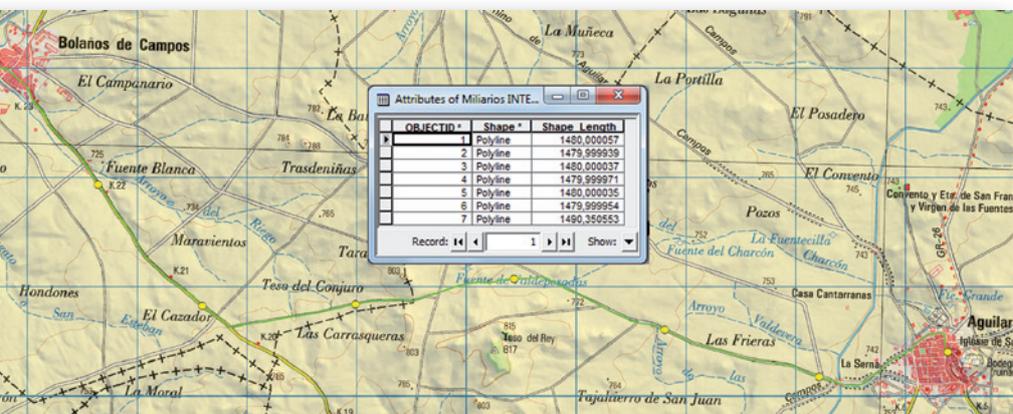


Figura 12. Imagen del sector de la ruta XXVII del Itinerario de Antonino entre Bolaños de Campos y Aguilar de Campos. El trazado de la vía romana es la línea de color verde. Los miliarios son los puntos de color amarillo

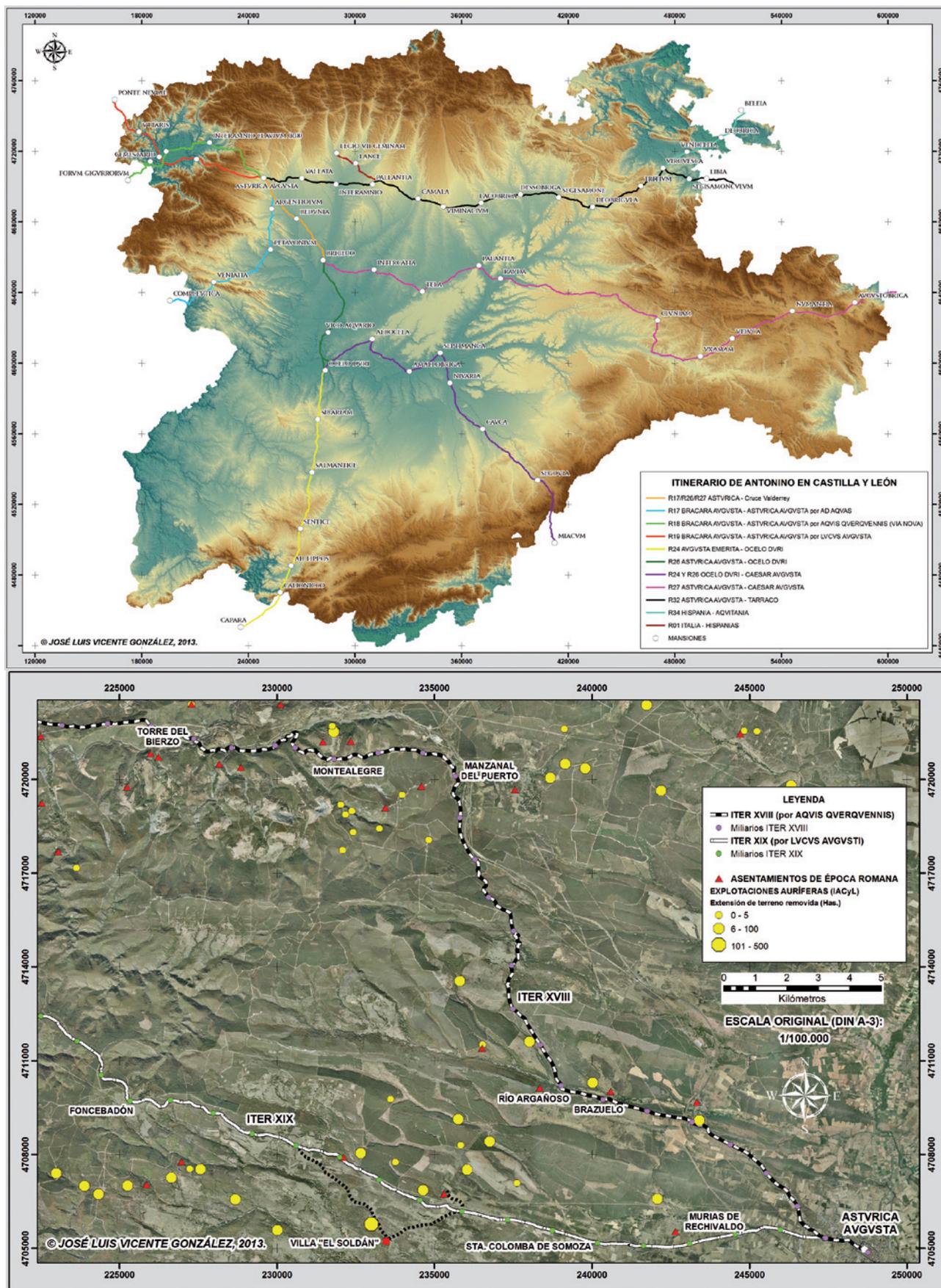


Figura 13. VIAE MILITARES (trazo negro grueso) y VIAE VICINALES (trazo blanco fino) en el entorno de Zamora. Estado actual de las investigaciones  
 Figura 14. Vías XVIII (Via Nova) y XIX del Itinerario de Antonino en las proximidades de Astorga

Astorga con el Bierzo: poner en explotación nuevas áreas de extracción aurífera (subcuencas del Argañoso, Boeza, Tremor, etc.), mejorar la comunicación con las ciudades de *Interamnio* y *Bergido*, situadas algo a trasmano de la calzada de conquista, y facilitar el paso invernal a través de los Montes de León, poniendo en servicio un puerto afectado por una climatología menos adversa que la existente en Foncebadón.

Los trazados identificados, aparte de disponer de notables avales toponímicos, cumplen todos los requisitos exigibles a una vía militar romana:

- Ambas fueron vías logísticas de importantes explotaciones mineras auríferas localizadas en León, Lugo y Orense. La ruta XIX, además, fue una importantísima arteria de conquista durante las Guerras Cántabras, por lo que está orlada de establecimientos militares y asentamientos indígenas sojuzgados por las legiones romanas. Según nuestro parecer, a lo largo de su recorrido se sitúan los siguientes enclaves, mencionados por Floro

al describir el desarrollo del conflicto: *Aracelivm* (Castro de Borrenes o Corona del Cerco -León-), *Bergidae* (Castro Ventosa -León-), *Vindivm Montem* (Monte Cido/Serra das Travesas, en O Courel -Lugo-) y *Medvlli Montis* (Sierra de La Encina de la Lastra -Orense/León-).

- Su trazado y su pendiente son óptimas para el tráfico carretero y para unir sus puntos intermedios de destino por los caminos más cortos.
- Ambas calzadas conservan vestigios constructivos bien reconocibles como romanos en diversos lugares situados a lo largo de su trayecto.
- Los trazados propuestos comunican yacimientos romanos asimilables con *mansiones* y *civitates* situadas a las distancias exactas donde debían estar, según el *Itinerario*.
- Las millas que jalonaron las trazas, contadas desde el punto de intersección de las dos cloacas romanas principales de Astorga, coinciden, en gran medida, en puntos característicos de las rutas: pasos de ríos, *civita-*

MILLA	DENOMINACIÓN CAMINO (PLANIMETRÍAS 1º Ed. MTN50)	OBSERVACIONES
0	-	Cruce de las dos cloacas principales de Astorga
1	Cª de Sª Colomba	Intersección vías XVIII y XIX/XX
2	Cª de Bonillos a Astorga	-
3	Carretera 1º Orden Madrid - La Coruña	-
4	Cº de Brazuelo a Astorga	-
5	Cº de Brazuelo a Astorga	-
6	Cº de Brazuelo a Astorga	-
7	Cº de Brazuelo a Astorga	Brazuelo
8	Camino de Viforcos a Brazuelo	Puente sobre el río Argañoso. Acceso castro Carriluengo
9	Camino de Veldedo á Brazuelo	-
10	Camino de Veldedo á Brazuelo	Intersección límites administrativos
11	Camino de Veldedo á Brazuelo	-
12	Camino de Veldedo á Brazuelo	-
13	Camino de Veldedo a Manzanal	-
14	Camino de Veldedo a Manzanal	Cruz de Braña. Límite administrativo
15	Carretera 1º Orden Madrid - La Coruña	-
16	Carretera 1º Orden Madrid - La Coruña	Manzanal del Puerto. Acceso a coronas Peña del Aliga
17	Camino de Montealegre a Manzanal del Puerto	-
18	Camino de Montealegre a Manzanal del Puerto	-
19*	Camino de Montealegre a Manzanal del Puerto	Montealegre. Miliario en parque pueblo. Acceso minas
20*	Camino de San Juan	¿Miliario junto al ábside, dentro iglesia San Juan de Monteal.?
21*	Perdido (escombreras minas y FFCC)	Miliario en fuente plaza de Montealegre
22*	Carretera 1º Orden de Madrid a La Coruña	Miliarios encontrados por Lemaur a 720 toesas puente Torre
23*	Carretera 1º Orden de Madrid a La Coruña	Torre del Bierzo. Puente sobre el río Tremor. Miliario en Iglesia de San Justo de Cabanillas

Tabla 1. Ruta XVIII entre Astorga y Torre del Bierzo. (\* Miliario total o parcialmente conservado.)

MILLA	DENOMINACIÓN CAMINO (PLANIMETRÍAS 1º Ed. MTN50)	OBSERVACIONES
0	-	Cruce de las dos cloacas principales de Astorga
1	C <sup>a</sup> de S <sup>ta</sup> Colomba	Intersección vías XVIII y XIX/XX
2	C <sup>a</sup> de S <sup>ta</sup> Colomba	Cruce C <sup>o</sup> de las Cruces
3	C <sup>a</sup> de S <sup>ta</sup> Colomba	Localidad de Santa Colomba de Somoza
4	C <sup>o</sup> del Francés	Cruce C <sup>o</sup> de los Oteros
5	C <sup>a</sup> vecinal de S <sup>ta</sup> Catalina	-
6	C <sup>a</sup> vecinal de S <sup>ta</sup> Catalina	Localidad de Santa Catalina de Somoza
7	C <sup>a</sup> de S <sup>ta</sup> Catalina de Somoza	-
8	C <sup>a</sup> vecinal de El Ganso	Crucero moderno
9	C <sup>a</sup> vecinal de El Ganso	Accesos Villa del Soldán y Corona del Ganso
10	Camino de Astorga a Rabanal del Camino	-
11	Camino de Astorga a Rabanal del Camino	Topónimo "Calzada"
12	C <sup>o</sup> de Astorga a Rabanal del Camino	Corona de Rabanal Viejo/Puente Pañote
13	C <sup>o</sup> de Astorga a Rabanal del Camino	Accesos Villa del Soldán; Ermita del Cristo
14	Camino de Foncebadón á Rabanal del Camino	-
15	Camino de Foncebadón á Rabanal del Camino	-
16	Camino de Rabanal del Camino á Foncebadón	-
17	Camino de Rabanal del Camino á Foncebadón	Localidad de Foncebadón; crucero
18	Camino de Foncebadón a Molinaseca	-
19	Camino de Foncebadón a Molinaseca	Límite administrativo
20	Camino de Folgoso del Monte á Foncebadón	Alto del Reguero; Intersección límites administrativos

Tabla 2. Ruta XIX\*\* entre Astvrica Avgusta y Molinaseca. (\* Los tramos de esta ruta entre Astvrica e Interamnio (30 m.p.), y entre Interamnio y Bergido (20 m. p.) son coincidentes con los de la ruta XX).

tes, localidades actuales, yacimientos romanos y otros establecimientos de población, cruces viarios, asentamientos militares de la época de la conquista del territorio que atraviesan, etc.

#### 4.2. ¿Cómo y por qué desaparece una calzada romana?

Mientras se mantuvo la hegemonía del Imperio Romano, el firme de las calzadas gozó de un mantenimiento continuado que, aunque debió ser más intenso en las rutas de mayor importancia estratégica para las clases gobernantes, benefició en mayor o menor medida a toda la red viaria. Esta afirmación está avalada por testimonios epigráficos y literarios. Así, son frecuentes los miliarios que atestiguan la realización de obras de reparación y reconstrucción de determinados tramos viarios, mediante la indicación expresa de tales actuaciones: *refecit, restitvi*, etc. Por su parte, los jurisperitos romanos testimonian la existencia de una normativa específica relativa a asegurar la conservación y reparación de las vías [PON07].

La decadencia del Imperio trajo consigo la finalización de las labores de mantenimiento que, salvo casos muy

puntuales, no volverían a realizarse durante la Edad Media ni durante las épocas históricas que fueron sucediéndose hasta tiempos modernos.

Como puede apreciarse en la figura incluida a continuación (Figura 15), la degradación de la capa de rodadura de una calzada hace aflorar las piedras que forman parte de su cimentación basal, convirtiendo en muy incómoda o imposible la andadura de los peatones y la rodadura de los carruajes. Por ello, muchos de los trazados originarios romanos más concurridos fueron substituidos paulatinamente por caminos paralelos inmediatos a ellos, dejando de utilizarse y quedando abocados a su desaparición.

En localizaciones como Tierra de Campos, donde la piedra es un material muy escaso, la arenisca y la caliza extraídas por los romanos en las canteras abiertas en lo alto de algunos de los tesos que salpican la campiña para construir las calzadas y sus obras de fábrica anejas, fueron objeto de una intensa reutilización posterior, fácil de rastrear actualmente.

Los materiales extraídos para cimentar las calzadas, además de en la cimentación de las edificaciones de las localidades situadas junto al trazado de las vías (Figura 16),

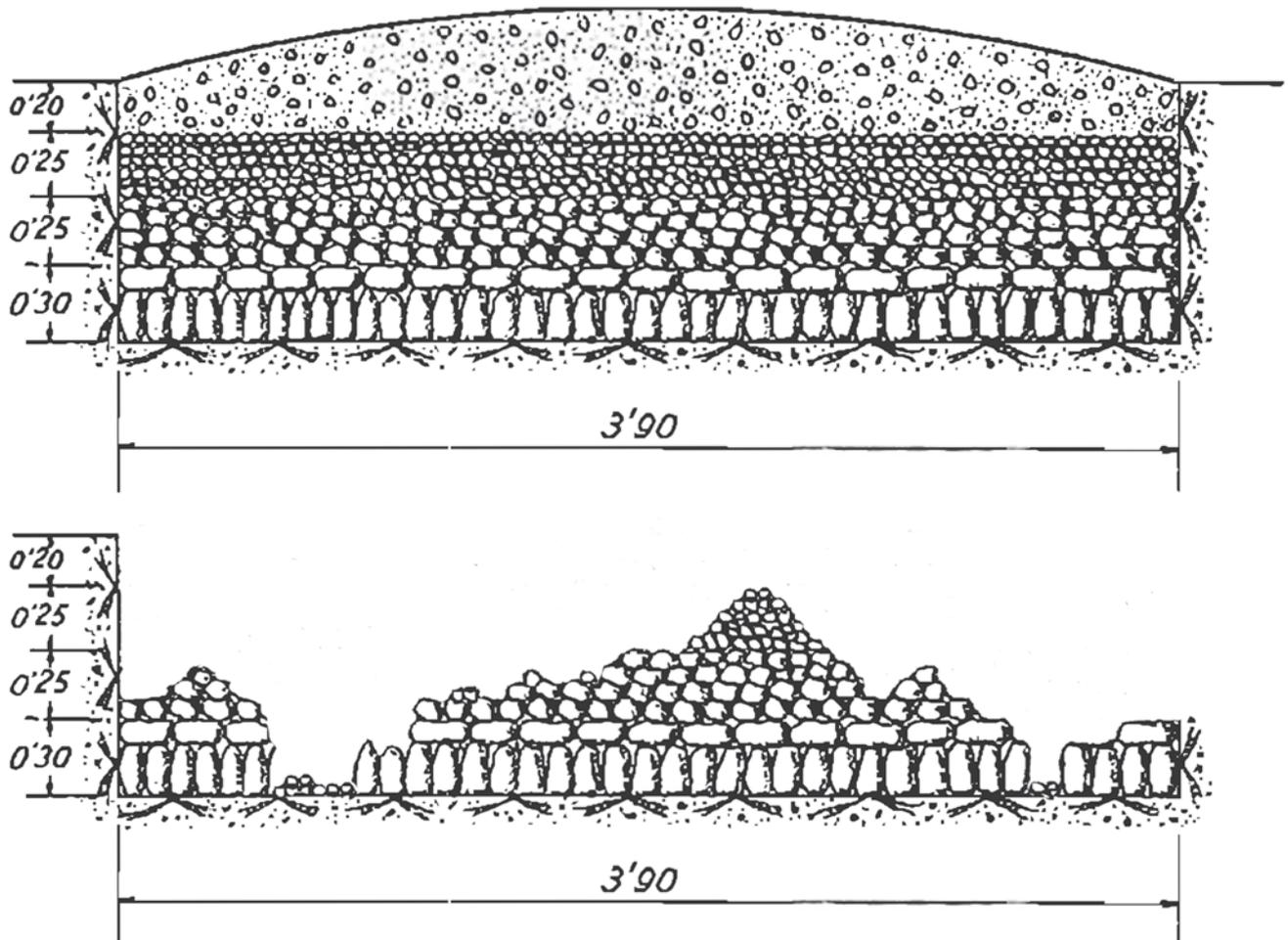


Figura 15. Degradación del firme de una calzada; simulación a partir de sección tipo tomada de J. L. Escario, 1943 [ESC43]

pueden observarse hoy en día en los muros de las escasas construcciones de cierta relevancia existentes en la zona (iglesias, fundamentalmente; Figura 17), y dan solidez al firme de carreteras y caminos implantados en tiempos recientes.

Madoz cita varias canteras de piedra arenisca, «ya explotadas», en los términos municipales de Castrogonzalo, San Esteban del Molar y Fuentes de Ropel que, según este autor, habrían surtido piedra para realizar, entre otras obras, la moderna carretera posteriormente conocida como Nacional VI, Madrid-La Coruña [MAD46]. No se ha podido obtener constancia visual directa, ni toponímica, ni documental que avale la existencia de tales canteras (existen algunos pequeños afloramientos, de muy reducida dimensión), por lo que todo parece indicar que los correspondientes de Madoz confundieron con canteras los nutridos regueros de piedra arenis-



Figura 16. Reutilización de piedras procedentes de la cimentación de una calzada de Tierra de Campos en la cimentación de un edificio de reciente construcción (Cerecinos de Campos, Zamora).

ca conformados por los restos de cimentación de las grandes calzadas que existieron en dichos términos, atravesados por las rutas XXVI y XXVII de *Itinerario de Antonino*.

Los fragmentos más menudos de arenisca de las vías citadas, que estorbaban la labranza de los extensos cultivos de cereal de secano, fueron retirándose año tras año de las tierras de labor, o se relegaron a las linderas (Figuras 18 y 19).

En áreas donde la piedra es relativamente abundante, los materiales de cimentación de las vías fueron objeto de menor atención por la población local, por lo que permanecen con más persistencia en el terreno, aunque vayan quedando ocultos, siglo tras siglo, bajo un espeso manto de tierra, debido a la acción de la erosión y los agentes meteorológicos (Figura 20).

Una última casuística la constituirían las calzadas cimentadas exclusivamente con cantos rodados u otros materiales abundantes en el entorno que las rodeaba. En estos casos, cuando las vías dejan de utilizarse y son roturados los terrenos que atraviesan, las acumulaciones de piedras del interior de la calzada terminan por «disolverse» de nuevo en el terreno del que proceden. Este fenómeno, que se acelera enormemente en caso de ser



Arriba: Figura 17. Reutilización de piedras procedentes de la cimentación de una calzada de Tierra de Campos en la iglesia de San Agustín del Pozo (Zamora)

Figura 18. Retirada de piedras procedentes de la calzada entre Brigegeo y Vico Aqvario (Ruta XXVI del Itinerario de Antonino) de una finca de cultivo de secano (San Esteban del Molar, 2010)



Figura 19. Restos de cimentación de la calzada entre Brigegeo y Vico Aqvario (Ruta XXVI del Itinerario de Antonino) en la lindera de una finca de cereal (San Esteban del Molar)

transformada la estructura tradicional del territorio por la realización de concentraciones parcelarias o repoblaciones forestales, afectó, por ejemplo, a la calzada que enlazó el campamento de *Petavonivm* con el río Esla, en las proximidades de Milles de la Polvorosa.

Existe la creencia generalizada de que algunas obras romanas eran más sólidas, incluso, que las construcciones modernas, y no precisaban de ninguna atención para soportar incólumes el paso del tiempo. Tal suposición es un mito que se corresponde muy poco con la realidad; los tramos de calzada mejor conservados actualmente, deben su buen estado a un temprano abandono, como sucede con la legendaria vía conocida bajo la poco afortunada denominación de Ruta de la Plata, que no se identifica, ni mucho menos, con el corredor más transitado entre Andalucía y la meseta septentrional a lo largo de la historia, pese a lo que afirma la moderna mitología que la envuelve.

Por contra, la cimentación romana de la *Via Nova*, paso obligado entre Galicia y León hasta bien avanzado el siglo

XVIII, ha desaparecido en la mayor parte de su recorrido, habiéndose rebajado su firme actual en muchos puntos más de 2 metros respecto de la cota que mantuvo en época romana. El camino medieval que asumió el trazado de esta vía llegó a erosionarse en algunos tramos hasta alcanzar la roca madre, que muestra las cicatrices grabadas por las llantas metálicas de los incontables carros que transitaron sobre su superficie (Figura 21).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El esquema general de la red viaria desplegada por Roma en Hispania se mantuvo sobre el terreno, sin cambios demasiado significativos, hasta tiempos muy recientes. Los trazados viarios proyectados por los romanos evolucionaron durante todo este tiempo, perdiendo o ganando protagonismo, y quedando enmascarados, a



Figura 20. Restos inéditos de la *Via Nova* (Ruta XVIII del Itinerario de Antonino), entre *Interamnio Flavio* y *Astvriva Avgvsta*, localizados por el autor en Montealegre (León) a principios de 2013. La cimentación de la vía está, actualmente, por debajo de más de 1 metro de tierra

veces, entre la maraña conformada por otros caminos de factura posterior.

Los restos materiales de las infraestructuras viarias romanas, carentes de mantenimiento tras la caída del Imperio, a pesar de su robustez, fueron degradándose siglo tras siglo por causas naturales o, más frecuentemente, debido a la intervención humana, pues en el medio rural la reutilización de los materiales se produce de forma constante, sobre todo en las áreas más empobrecidas o faltas de materias primas.

Sin embargo, hasta finales del siglo XIX y principios del siglo XX, no se produciría la gran debacle de la red viaria romana, que sufrió un tremendo y acelerado deterioro por causa de las grandes alteraciones del medio que caracterizan la época contemporánea: concentraciones

---

Los restos materiales de las infraestructuras viarias romanas, fueron degradándose siglo tras siglo por causas naturales o, más frecuentemente, debido a la intervención humana, pues en el medio rural la reutilización de los materiales se produce de forma constante, sobre todo en las áreas más empobrecidas o faltas de materias primas

---



Figura 21. Camino de San Juan, en Montealegre (León). Desde el desgastado firme del camino medieval que heredó el trazado de la vieja Vía Nova romana, se pueden observar todas las infraestructuras desplegadas en épocas recientes para enlazar la meseta castellana con Galicia: camino real ejecutado por C. Lemaur (Ilustración -s. XVIII-), ferrocarril (revolución industrial -s. XIX-) y autovía (época contemporánea -s. XX-)

parcelarias, construcción de nuevas urbanizaciones, ampliación de los cascos urbanos de ciudades y localidades de mediano tamaño, despliegue de la moderna red de carreteras, autopistas y autovías, construcción de líneas férreas, embalses y canalizaciones, ejecución mecanizada de extensas repoblaciones forestales, etc.

La metodología que se propone en este artículo para reconstruir el viario romano se apoya, en gran medida, en la información preservada en las planimetrías levantadas por los topógrafos del Instituto Geográfico y Catastral para elaborar la 1ª edición del MTN 1:50.000, e incluye la obligatoriedad de evaluar únicamente trazados que discurren por caminos existentes antes de las concentraciones parcelarias, verificables en dicha cartografía, como alternativas de estudio, descartando, por regla general, inventar nuevos trayectos a libre antojo del investigador.

Las planimetrías citadas, el Modelo de Reflectancia de 5x5 m y la capa generada para geolocalizar los yacimientos arqueológicos de las primeras edades históricas, se revelan, según nuestra experiencia, como las fuentes de datos fundamentales para reconstruir la red viaria del mundo antiguo.

Entre las claves más importantes para progresar en la recreación de las vías destacan las siguientes:

- Las distancias del *Itinerario* son asombrosamente exactas. Los romanos medían con extraordinaria y pasmosa precisión sus calzadas, y hacían, por regla general, coincidir los pasos de los cursos de agua, la ubicación de *mansiones* y *mvtationes*, y los desvíos de caminos secundarios que confluyen con las calzadas con millas exactas. Por otra parte, multitud de evidencias observadas parecen indicar que los miliarios fueron aprovechados en épocas históricas posteriores a la Edad Antigua para fijar límites administrativos o para emplazar asentamientos humanos de nuevo cuño.
- Las mansiones que se denominan igual que *civitates* en el *Itinerario de Antonino* no se corresponden espacialmente con la ubicación concreta de dichas poblaciones, sino con yacimientos próximos, que pueden estar situados a varios km de las mismas, pero siempre en importantes nudos viarios.
- Los trazados de las vías romanas son siempre muy rectilíneos, aunque pueden presentar giros bruscos, que conducen, de nuevo de forma muy rectilínea, hacia los siguientes puntos de destino de las vías.
- Las pendientes son, generalmente, suaves; sin embargo, las vías de montaña suelen buscar las cuerdas, por lo que pueden mantener durante cortos tramos pendientes cercanas al 15%. En estos casos, la orientación de la calzada siempre es de solana.
- La división de las polilíneas que representan las vías en unidades acordes con la metrología empleada por sus

---

La metodología que se propone en este artículo para reconstruir el viario romano se apoya, en gran medida, en la información preservada en las planimetrías levantadas por los topógrafos del Instituto Geográfico y Catastral para elaborar la 1ª edición del MTN 1:50.000, e incluye la obligatoriedad de evaluar únicamente trazados que discurren por caminos existentes antes de las concentraciones parcelarias

---

constructores (millas de 1 480 m) se revela como una operación de insustituible utilidad para verificar la bondad de los trazados que se pretende recrear.

Finalizamos esta comunicación haciendo hincapié, de nuevo, en la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica para integrar óptimamente el conocimiento geográfico con el conocimiento arqueológico e historiográfico. Estamos seguros de que la generalización del uso de este tipo de herramientas entre arqueólogos e historiadores se traducirá en la elaboración de nuevas lecturas

---

Hacemos hincapié en la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica para integrar óptimamente el conocimiento geográfico con el conocimiento arqueológico e historiográfico. La generalización del uso de este tipo de herramientas entre arqueólogos e historiadores se traducirá en la elaboración de nuevas lecturas históricas

---

históricas, en las que el análisis de la configuración de la red viaria antigua tendrá fuerte protagonismo, que pondrán en cuestión algunas interpretaciones, a día de hoy, mayoritariamente aceptadas en los ámbitos académicos.

## REFERENCIAS

- [CAR96] Carrasco Serrano, G. (1996). Viaria romana del ámbito provincial de Ciudad Real: bases para su análisis. In M. Criado de Val (Ed.), *Actas del II Congreso Internacional de Caminería Hispánica*. Tomo I, pp. 71-84.
- [ESC43] Escario, J. L. (1943). *Caminos*, Tomo I. Madrid: Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [GRE34] Grenier, A. (1934). VI, *Archéologie gallo-romaine*. Deuxième part: *L'Archéologie du sol*. In J. Dechelette (Ed.), *Manuel d'Archéologie préhistorique, celtique et gallo romaine*. (pp. 469–1095) Paris: A. Picard.
- [GAR97] García del Corral, I. L. (1987). *Cuerpo del derecho civil romano a doble texto, traducido al castellano del latino, publicado por los hermanos Kriegel, Hermann y Osenbrüggen, con las variantes de las principales ediciones antiguas y modernas, y con notas de referencias*. Primera parte: *Digesto*, Tomo III. Barcelona.
- [GIL03] Gillani Martín, G. y Santiago Pardo, J. (2003). Documentación arqueológica de la Vía de la Plata en las provincias de Salamanca, Zamora y León. Junta de Castilla y León, Estudio inédito.
- [HAM82] Hamey, L. A. y Hamey J. A. (1982). *The Roman engineers*. Minneapolis: Lerner Publications Co & Cambridge University Press.
- [MAD46] Madoz, P. (1846). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar*. Tomo IV. Madrid: Imprenta Madoz.
- [MOR04] Moreno Gallo, I. (2004). *Vías Romanas. Ingeniería y técnica constructiva*. Madrid: CEHOPU.
- [MOR12] MORENO GALLO, I.; Identificación y descripción de la vía romana de Astorga a Lugo. De Bergido a Vtarris y a Lvcvs Avgvsti. 32 Km. (2012). [www.viasromanas.net](http://www.viasromanas.net).
- [PON07] Ponte Arrebola, V. (2007). *Régimen jurídico de las vías públicas en Derecho Romano*. Madrid: Dykinson.
- [ROD10] Rodríguez Morales, J. (2010). Las vías romanas en la erudición moderna. Reivindicación de Nicolás Bergier. In Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas (Ed.), *Actas del V Congreso de las Obras Públicas Romanas. Las Técnicas y las construcciones en la Ingeniería romana*, pp. 119-134.
- [ROL73] Roldán Hervás, J. M. (1973). *Itineraria Hispana. Fuentes antiguas para el estudio de las vías romanas en la Península Ibérica*. Anejos de Hispania Antiqua. Universidad de Valladolid, pp. 271-272.
- [RUI97] Ruíz de Elvira, A. (1997). «Passüs- ūs». *Cuadernos de Filología Clásica: Estudios latinos*, nº 12. Madrid. UCM, pp. 9-16.
- [VAL10] Valencia Giraldo, A. (2010). *Marco Lucio Vitruvio Polión. Los diez libros de la arquitectura (Selección)*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía.
- [VIC11] Vicente González, J. L. (2011). GIS and Roman ways research in Hispania. *2011 European User Conference*. 26-28 October 2011. Environmental Systems Research Institute, Madrid.
- [VIC12] Vicente González, J. L. (2012). Estudio de la red viaria romana de Hispania mediante tecnologías SIG: las planimetrías de la 1ª edición del MTN 1/50.000 de España, una capa de información imprescindible para el investigador. *Revista Catalana de Geografía*, IV época, vol. XVII, nº 46, 20 pp.

## Sobre el autor

### José Luis Vicente González

*Ingeniero Técnico en Explotaciones Forestales (Universidad Politécnica de Madrid, 1989) y máster en Veterinaria y Fauna Salvaje (Universidad de León, 1997), el autor ha desarrollado como consultor en ejercicio libre la mayor parte de su trayectoria profesional. Durante la última década, su ejecutoria se ha centrado, principalmente, en la aplicación de tecnologías SIG a labores de gestión de fauna silvestre y espacios naturales protegidos, consultoría medio ambiental de obras de ingeniería civil, y gestión de iniciativas de desarrollo rural. También ha impartido formación en el uso de aplicaciones SIG a personal de administraciones y empresas privadas, siendo coautor de dos manuales de iniciación al uso de SIG, que pueden descargarse en Internet de forma gratuita. Entre junio de 2007 y enero de 2010, el autor colaboró en un proyecto de investigación sobre la red viaria romana de Castilla y León, financiado por la administración regional, donde, entre otras funciones, se responsabilizó del diseño, ejecución y mantenimiento de la base de datos cartográfica elaborada para gestionar y analizar la información recopilada por todos los colaboradores del proyecto.*

*A lo largo de los últimos cinco años, el autor ha publicado cerca de una decena de artículos relacionados con la conquista del Noroeste de Hispania por los romanos y con el desarrollo de la red viaria de dicho territorio durante la Edad Antigua.*

## Conferencia ESRI España 2013



02-10-2013 / 03-10-2013

- Madrid, España
- Contact: <http://www.esri.es/es/contacto/>
- Website: <http://www.esri.es/es/eventos/conferencia-esri-espana-2013/>

## Intergeo 2013



08-10-2013 / 10-10-2013

- Essen, Alemania
- Contact: [dwenzel@hinte-messe.de](mailto:dwenzel@hinte-messe.de)
- Website: <http://www.intergeo.de>

## International Conference on adaptation and movement in Architecture (ICAMA2013)



11-10-2013 / 12-10-2013

- Toronto, Canada
- Contact: [secretariat@icama2013.com](mailto:secretariat@icama2013.com)
- Website: <http://www.icama2013.com/>

## 3er Congreso Iberoamericano y XI Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio (COIBRECOPA2013)

16-10-2013 / 18-10-2013

- La Plata, Argentina
- Contact: [direccion@lemit.gov.ar](mailto:direccion@lemit.gov.ar)
- Website: <http://www.coibrecopa.com.ar/>

## XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección (AET)



22-10-2013 / 22-10-2013

- Madrid, España
- Contact: [outkom@outkom.com](mailto:outkom@outkom.com)
- Website: <http://www.congreso2013aet.es/>

## Latin American Remote Sensing Week (LARS 2013)



23-10-2013 / 25-10-2013

- Santiago, Chile
- Contact: [viviana.barrientos@saf.cl](mailto:viviana.barrientos@saf.cl)
- Website: <http://www.lars.cl>

## Congreso Internacional de Geoturismo



28-10-2013 / 30-10-2013

- Córdoba, España
- Contact: [eventos@gruposubbetica.com](mailto:eventos@gruposubbetica.com)
- Website: <http://www.congresointernacionalgeoturismo.com/>

## Congreso Internacional de Geografía

31-10-2013 / 03-11-2013

- Chubut, Argentina
- Contact: [informes@gaea.org.ar](mailto:informes@gaea.org.ar)
- Website: <http://www.gaea.org.ar/semananueva.htm>

## 6th International Urban Desig Conference



09-11-2013 / 11-11-2013

- Sydney, Australia
- Contact: [conference@urbandesignaustralia.com.au](mailto:conference@urbandesignaustralia.com.au)
- Website: <http://urbandesignaustralia.com.au/>

## IV Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales JIIDE2013



13-11-2013 / 15-11-2013

- Toledo, España
- Contact: [jiide@cnig.es](mailto:jiide@cnig.es)
- Website: <http://www.jiide.org>

9<sup>as</sup>

# JORNADAS INTERNACIONALES

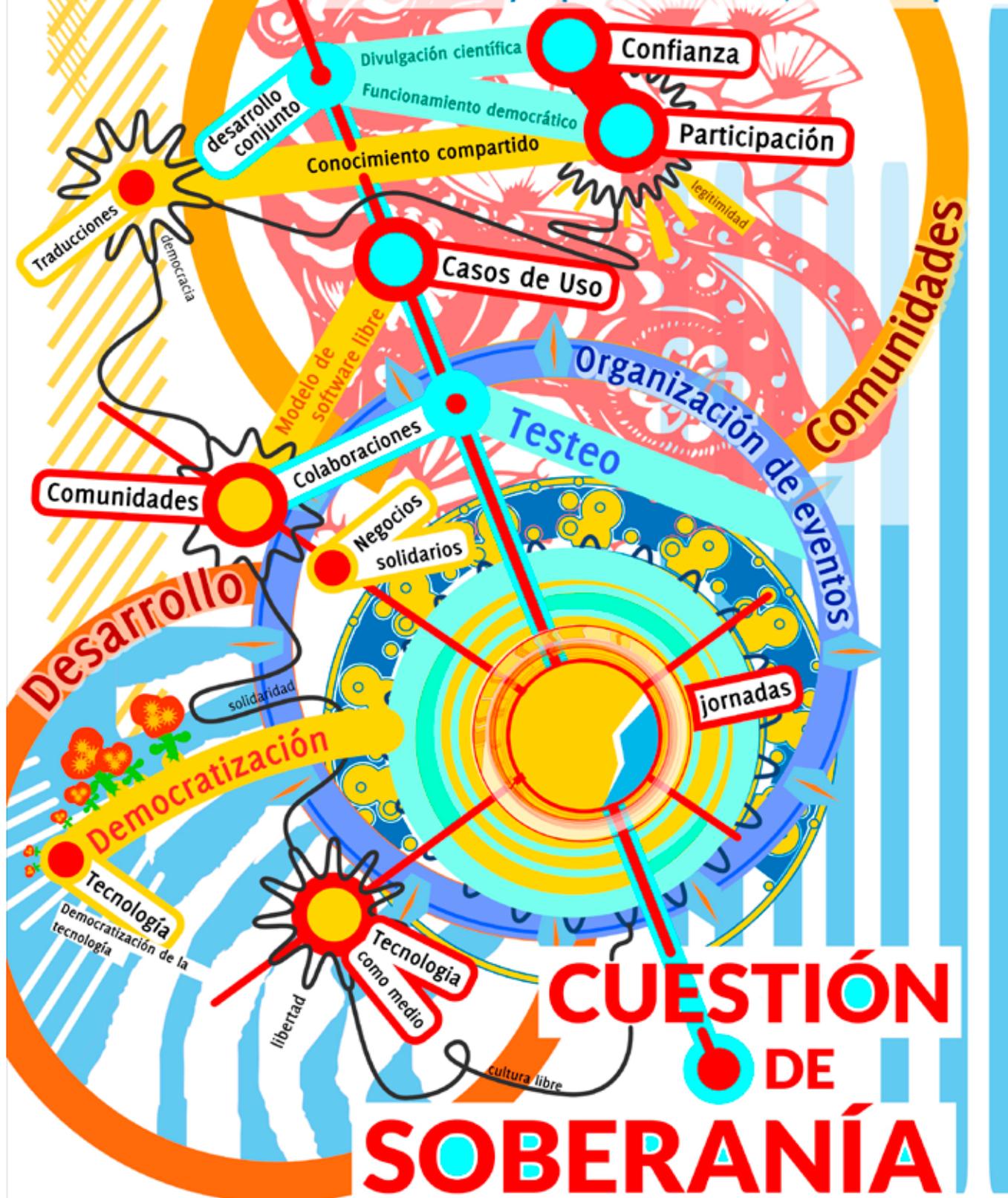
## gvSIG



gvSIG association

27, 28 y 29 de noviembre de 2013

Centro Cultural y Deportivo La Pechina, Valencia España



# CUESTIÓN DE

# SOBERANÍA

<http://jornadas.gvsig.org>



## Centro de Documentación y Biblioteca de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid

El pasado 18 de julio, eGeoMapping actual propietaria de la revista MAPPING, visitó las instalaciones del Centro de Documentación y Biblioteca de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, donde se ha entregado una copia completa de los ejemplares de la revista MAPPING.

La compilación de los 158 ejemplares de esta publicación con 22 años de historia, fue entregada a D<sup>a</sup> Alicia Plaza - Jefa de Unidad Técnica de Documentación y Biblioteca de la citada Consejería - en el marco de colaboración con instituciones públicas vinculadas a la difusión del conocimiento. Además del cordial recibimiento por parte de los responsables de la Biblioteca y la visita a las instalaciones de la misma, hemos

podido conocer de primera mano la importante labor que realiza esta Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en materia de **biblioteconomía y documentación**; tareas puesta de manifiesto en el importante legado documental ya catalogado por la Comunidad de Madrid.

Quedan, así, estrechados los lazos entre eGeoMapping y este Centro de Documentación, con el compromiso de mantener una comunicación fluida entre ambas instituciones que garantice el envío periódico de nuestras publicaciones al Centro y la recepción de artículos técnicos o estudios de Biblioteconomía y Documentación relacionados con cualquier Ciencia de la Tierra. El Centro de Documentación y Biblioteca también dispondrá de un espacio en el portal Web de **MAPPING Interactivo** para la difusión de sus boletines informativos.

Estas iniciativas están alineadas con la filosofía empresarial de eGeoMapping que fomenta, entre otras iniciativas, el ofrecer un canal de comunicación y difusión científica como lo es la revista MAPPING a todas aquellas organizaciones públicas

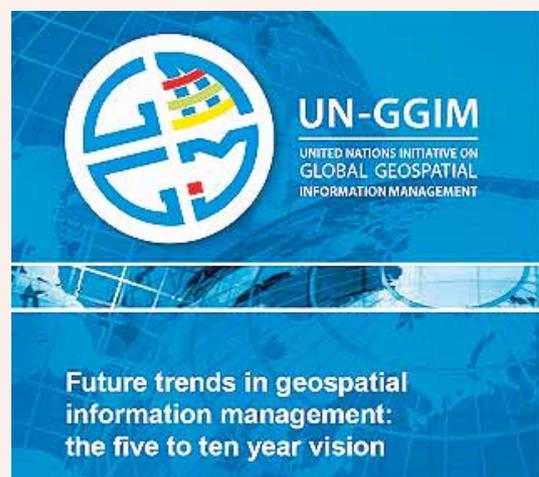
y privadas que deseen presentar sus artículos de investigaciones al Consejo de redacción de esta publicación. Nos consta que son muchos los organismos españoles e internacionales que realizan interesantes actividades técnicas y científicas cuya finalidad es el tratamiento de la información, sirva como ejemplo la **Catalogación de Información Geográfica**.

## Tendencias futuras en la gestión de la información geoespacial según el UN-GGIM

El pasado mes de julio se ha publicado un nuevo documento de la ONU titulado "Tendencias futuras en la gestión de la información geoespacial: visión de cinco a diez años". El documento ha sido publicado a petición de la Secretariat for the United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (**UN-GGIM**) y sus autores principales son John Carpenter y Jevon Snell del **Ordnance Survey de Gran Bretaña**.

Se trata de un documento que describe las tendencias del sector de la información geoespacial, desarrollados en 28 puntos y en función de los siguientes apartados:

- Tendencias en la tecnología y dirección futura en la creación, man-



- tenimiento y gestión de datos.
- Evolución política y legal.
  - Requisitos de habilidades y mecanismos de formación.
  - El papel de los sectores privados y no gubernamentales.
  - El futuro papel de los gobiernos en la gestión y provisión de datos geoespaciales.

Según el resumen ejecutivo, el uso de la información geoespacial está aumentando rápidamente, hay un reconocimiento creciente entre los gobiernos y el sector privado acerca de la importancia de la componente espacial en la toma eficaz de decisiones.

Por su parte los ciudadanos, independiente de su nivel de experiencia con la información geoespacial, están familiarizados con el término e interactúan cada vez más con este tipo de información, llegando incluso a contribuir en su creación (a menudo de manera involuntaria).

Es probable que una serie de tendencias tecnológicas en el sector geoespacial tengan un importante impacto, ofreciendo oportunidades y desafíos en términos de políticas y beneficios potenciales.

Además se reconocen las diferencias existentes entre los países en cuanto al estado de desarrollo, sofisticación y el uso de las infraestructuras geoespaciales, lo que conlleva un riesgo en cuanto a las condiciones de inversión y desarrollo de la información geoespacial, por lo cual las Naciones Unidas debería ayudar a minimizar las diferencias, a fin de destacar el valor e importancia de la inversión y el desarrollo de la información geoespacial para reducir la brecha digital.

En cuanto a los actores involucrados, los cuales se han incrementado notablemente en los últimos 10 años, se prevé que continuarán proliferando. El sector público y el privado seguirán desempeñando un papel clave, tanto en el suministro de información como en la generación

de tecnología y servicios. Aunque como en todos los sectores con una fuerte base tecnológica el futuro es difícil de predecir, las tendencias planteadas se han realizado en base a la visión de un reconocido grupo de expertos del mundo geoespacial y autoridades de agencias cartográficas con el fin de ofrecer una mirada al futuro.

El documento completo puede descargarse en este enlace:

<http://ggim.un.org/docs/meetings/3rd%20UNCE/UN-GGIM-Future-trends.pdf>

Fuente: Jenny Muñoz Negrete

## Visualizando el pasado a través de IDE. Madrid a principios del s. XX

Este es un proyecto de colaboración entre el **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**, a través del **Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS)**, y la **Dirección General de Estadística del Ayuntamiento de Madrid**. Está enmarcado en un proyecto de investigación más amplio cuyo objetivo principal será analizar, históricamente, el efecto de los flujos migratorios hacia Madrid sobre su estructura urbana en una

época de profundas transformaciones en la ciudad. El estudio pretende, por un lado, conocer cómo los movimientos de población pueden afectar a las variables socio-demográficas (fecundidad, nupcialidad, mortalidad, etc.) en una gran ciudad y, por otro, analizar el efecto de la afluencia de migrantes a instituciones de beneficencia y salud, y cómo estas influyeron en la mortalidad general y en otros indicadores demográficos de la capital a principios del siglo pasado

La información demográfica está vinculada a una base de datos cartográfica coetánea: "El Plano de Madrid y pueblos colindantes" de Facundo Cañada López, del año 1902. Este plano —joya de nuestra cartografía— posee elementos muy significativos, como el hecho de que, por primera vez, se refleje el valor económico del suelo para la ciudad de Madrid, ya sea solar o edificado, lo que hace de este plano uno de los más apreciados e importantes documentos cartográficos históricos de Madrid con fines catastrales.

El plano de Facundo Cañada lleva asociada, asimismo, una "Guía" muy extensa en la que se refiere información literal diversa del Madrid de la época, como por ejemplo la lista alfabética de estatuas y escultores



«HISDI-MAD: IDE histórica de la ciudad de Madrid» es un geoportal de cartografía y demografía histórica del Madrid de principios del siglo XX: <http://idehistoricamadrid.org/hisdimad/index.htm>.

que las han tallado, la relación de edificios públicos, escuelas públicas y el tipo de educación que impartían, la ubicación de las torres de campanadas de incendios, la relación alfabética de las vías públicas, el directorio general de edificios y construcciones singulares, etc.; todo ello debidamente referenciado de acuerdo a una cuadrícula dibujada en el plano.

Desde la página principal del geoportal HISDI-MAD se puede acceder a tres visualizadores: Cartográfico, Socio-Demográfico y Comparador de Mapas.

El Comparador de Mapas, permite comparar visualmente cartografías, fotografías aéreas y ortofotografías de Madrid desde finales del siglo XIX hasta principios del s.XXI.

El Visualizador Socio-Demográfico presenta una colección de mapas cartográficos y demográficos realizados con los datos históricos procedentes del plano y los "Anuarios Estadísticos de Ayuntamiento de Madrid" desde el año 1904 hasta 1929.

Con este Geoportal se pretende contribuir con la filosofía de compartir los datos científicos geoespaciales, —en nuestro caso, datos históricos de Madrid— ofreciendo además la posibilidad de visualizar y descargar las hojas originales del plano y la guía que le acompaña.

Fuente: Blog de la IDEE

## Revista *Mapping* en el curso de aplicación de aviones no tripulados (UAV) en el ámbito agroforestal



Entre los meses de junio y julio, la dirección de *Mapping* asistió al



curso y aplicación de aviones no tripulados (UAV), que se desarrolló en colaboración con el Laboratorio de SIG y Teledetección (TreeSatLab) del grupo de investigación ERSAF del Dpto. de Ingeniería Forestal y el Dpto. de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba así como con un conjunto de empresas públicas y privadas del sector.

EL objetivo del curso fue dar a conocer a los alumnos, a través de una formación por plataforma online, los equipos de aviones no tripulados, así como sus aplicaciones en el ámbito agroforestal proporcionando conocimientos acerca de los distintos sistemas y dispositivos

El curso se inició con una breve introducción de la aparición de estos

equipos, su evolución y desarrollo, haciendo hincapié en las modalidades de UAV de gran envergadura y equipos livianos para investigación. Se abordaron temas relacionados con la adquisición y procesado de datos procedentes de aviones no tripulados y sus sistemas de instrumentalización (productos, sensores basados en la geometría, espectral, térmico, hiperespectral, etc.) y sistemas inerciales (adquisición y sincronización de dispositivos).

Se profundizó en las extensas aplicaciones que presentan estos equipos de seguimiento y detección, centrándonos en el campo agroforestal (malas hierbas, gestión forestal, etc.) y describiendo los diferentes tipos de infraestructuras necesarias

para implementar este tipo de tecnologías.

Se contará con la participación de varias empresas relacionadas con estas tecnologías y el sector de la aviación no tripulada, que expusieron sus iniciativas así como su experiencia con estos equipos, los cuales están experimentando una curva de aplicabilidad y expansión exponencial.

Por último, se realizaron prácticas presenciales en el Campus Universitario de Rabanales (Universidad de Córdoba), donde se llevaron a cabo demostraciones de vuelo con equipos drones, a cargo de personal experimentado, así como instrucciones de autoconstrucción e informatización, técnicas de aerotriangulación, mosaicado, etc., y prácticas online sobre recogida y análisis de datos espectrales con UAV.

## Presentación Guía Vías Verdes Accesibles para Todas las Personas

La Guía recoge 10 **Vías Verdes Accesibles** españolas.

Ha sido elaborada por la Plataforma Representativa Estatal de personas con discapacidad física y la Fundación de Ferrocarriles Españoles.

Contiene **información** sobre la **accesibilidad física, visual y auditiva**, así como de la **oferta turística de su entorno**. También tiene contenidos en lectura fácil dirigidos a personas con discapacidad intelectual y/o con dificultades de comprensión lectora.

La información detalla las condiciones de accesibilidad de los tramos de Vía Verde mejor adaptados para personas con movilidad reducida, así como de alojamientos, restaurantes, oficinas de turismo, monumentos, museos, espacios en la naturaleza, instalaciones deportivas y actividades de ocio para cualquier persona. Tiene carácter descriptivo, con el fin



de que **cada persona planifique su viaje y elija su destino en función de sus necesidades** específicas. Por ello, dispone también de contenidos en lectura fácil dirigidos a personas con discapacidad intelectual y/o con dificultades de comprensión lectora

La Guía, que cuenta con la colaboración de **Fundación ONCE** y **Fundación Vodafone España**, se ha realizado íntegramente en una web accesible ([www.viasverdesaccesibles.es](http://www.viasverdesaccesibles.es)) que se adapta a **todo tipo de dispositivos**: ordenador, tableta o móvil.

En este sentido, se ha prestado la máxima atención para que las funcionalidades y los contenidos sean **usables y accesibles para todas las personas**, en especial para las que tienen discapacidad visual. Además, **la web se mantendrá viva** con la actualización de los contenidos existentes y la introducción de nuevas Vías Verdes.

Las Vías Verdes son antiguos trazados ferroviarios en desuso que se han rehabilitado como itinerarios abiertos a senderistas y ciclistas. Existen 100 Vías Verdes en España que suman una longitud de 2 000 Km. Su trazado cómodo para pasear permite a los visitantes conocer y disfrutar el entorno natural. Pueden recorrerse con seguridad y autonomía por personas con movilidad reducida, familias con niños, personas mayores

y personas con discapacidad, que frecuentan estos caminos.

El **Geoportal de Turismo Accesible**, aporta un nuevo modelo de promoción y difusión de los recursos turísticos accesibles porque permite acceder a la información de los mismos a través de la navegación geográfica. También se puede acceder al Geoportal a través de la web móvil, lo que se conoce como **Responsive Web Design**. Además, cuenta con un modelo de vista con **realidad aumentada**.

*Fuente: Predif*

## El Instituto de Investigaciones Espaciales de Brasil cumple 52 años

Creado el 3 de agosto de 1961, el **Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE)** es actualmente reconocido en todo el mundo por sus sistemas de monitoreo del medio ambiente, estudios climáticos y previsión del tiempo, las ciencias espaciales y atmosféricas, ingeniería de satélites y por la excelencia de sus cursos de postgrado.

El INPE le dio a Brasil la capacidad de desarrollar satélites, producir ciencia espacial de calidad, monitorear su territorio, tener una previsión del tiempo moderna, entender los cambios globales y lograr que el Espacio sea parte de la sociedad brasileña.

El INPE distribuye **gratuitamente** por internet las imágenes de los satélites que benefician al sistema de gestión del territorio del propio gobierno, a la investigación en las universidades y al desarrollo de las empresas privadas que generan empleo y renta con tecnología espacial.

*Fuente: MundoGeo*



# UAVs: Patrimonio y precisión

Cuatro jóvenes ingenieros han creado la empresa española Soluciones Aéreas no Tripuladas Azor, S.L. Este equipo multidisciplinar diseña, construye, pilota y gestiona la información de sus propios UAVs de ala fija y multihélices; los cuales utilizan en múltiples labores, tales como teledetección en agricultura y medio ambiente, gestión de emergencias, defensa y seguridad o aplicaciones en ingeniería civil.

En el diseño y construcción de sus drones destacan el constante desarrollo para proporcionar a estos de mayor autonomía y realizar labores cada vez más complejas, utilizando materiales muy ligeros y baterías de alto rendimiento que consiguen, con la misma carga nominal que las convencionales, una reducción de peso de un 25%.

Actualmente participan en proyectos de investigación que consisten en la aplicación de diversas técnicas para la documentación y puesta en valor del patrimonio ingeniero-arquitectónico, en colaboración con Digitalizados3D empresa marcada por el carácter tecnológico e investigador para el tratamiento de información en tres dimensiones.

En los últimos años existe una demanda emergente de nuevos métodos de documentación y estudio, que reduzcan costes y aumente eficacia, por lo que Azor, S.L. apuesta por una integración de esta tecnología y participa activamente dando respuesta en el ámbito de los vehículos aéreos no tripulados mediante el uso de drones de despegue vertical. Junto con Digitalizados3D han garantizado su participación en diversos trabajos de investigación donde se pondrá en práctica esta técnica la cuál mostrará al público una reconstrucción virtual de una antigua muralla en la Edad Media mientras pasean por el entorno real.



# Suscripción a la revista Mapping

## Subscriptions and orders

### Datos del suscriptor / Customer details:

Nombre y Apellidos / Name and Surname: \_\_\_\_\_

Razón Social / Company or Institution name: \_\_\_\_\_ NIF-CIF / VAT Number: \_\_\_\_\_

Dirección / Street address: \_\_\_\_\_ CP / Postal Code: \_\_\_\_\_

Localidad / Town, City: \_\_\_\_\_ Provincia / Province: \_\_\_\_\_

País - Estado / Country - State: \_\_\_\_\_ Teléfono / Phone: \_\_\_\_\_

Móvil / Mobile: \_\_\_\_\_ Fax / Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_ Fecha / Order date: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**SUSCRIPCIÓN / SUSSCRIPTION:**

- España / Spain : 60€
- Europa / Europe: 90€
- Resto de Países / International: 120€

Precios de suscripción por año completo 2013 (6 números por año) Prices year 2013 (6 issues per year):

**NÚMEROS SUELTOS / SEPARATE ISSUES:**

- España / Spain : 15€
- Europa / Europe: 22€
- Resto de Países / International: 35€

Los anteriores precios incluyen el IVA. Solamente para España y países de la UE The above prices include TAX Only Spain and EU countries

### Forma de pago / Payment:

Transferencia a favor de eGeoMapping S.L. al número de cuenta CAIXABANK, S.A.:

**2100-1578-31-0200249757**

Bank transfer in favor of eGeomapping S.L., with CAIXABANK, S.A.:

**IBAN nº: ES83-2100-1578-3102-0024-9757 (SWIFT CODE: CAIXAESBXXX)**

### Distribución y venta / Distribution and sale:

Departamento de Publicaciones de eGeoMapping S.L.

C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera central. 28005-Madrid

Tels: (+34) 91 301 05 64 ; (+34) 655 95 98 69

Fax: (+34) 91 746 70 06

e-mail: [info@mappinginteractivo.es](mailto:info@mappinginteractivo.es)

[www.mappinginteractivo.es](http://www.mappinginteractivo.es)

Firma \_\_\_\_\_

**1 Envío y aceptación.**- Los trabajos para la publicar en la revista MAPPING en su versión papel, tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente y que no hayan sido enviados a otras revistas. Es única responsabilidad del autor, garantizar que la obra enviada es inédita, no habiendo sido publicada anteriormente. Se devolverán a sus autores los que no cumplan con los requisitos descritos en estas normas.

**2 Admisión de originales.**- Todos los originales recibidos serán examinados como mínimo por dos evaluadores externos en la modalidad de «revisión por pares», cuyas sugerencias se enviarán a los autores con el fin de que realicen las modificaciones pertinentes previa a su publicación. La extensión de los originales no podrá ser superior a 8000 palabras, incluyendo tablas y figuras.

**3 Título.**- El título de los trabajos deberá ser explícito y preciso, reflejando sin lugar a equívocos su contenido, en español e inglés. A continuación, se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y direcciones de correo electrónico de las personas de contacto.

**4 Resumen.**- Los artículos deberán ir precedidos de un resumen en español e inglés (150 palabras cada uno como máximo) que incluirá una descripción clara de los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo desarrollado.

**5 Palabras clave.**- Se incluirán al menos 4 palabras clave en español y en inglés.

**6 Redacción del texto y presentación.**- La redacción será lo más clara y concisa posible. Los trabajos deberán enviarse en formato electrónico Microsoft Word u Open Office, con las imágenes en su lugar, a la dirección de correo electrónico [info@mappinginteractivo.es](mailto:info@mappinginteractivo.es), y en caso necesario se enviará un CD a la empresa responsable de la gestión y dirección de la revista Mapping:

**eGeoMapping S.L.**  
C/Arrastraría nº 21  
Oficina 8. Edificio A  
28022 Madrid  
España

Se aceptarán notas a pie de página, siempre que sean las mínimas indispensables. La publicación impresa se realizará en color.

**7 Bibliografía.**- La bibliografía deberá reducirse a la indispensable que tenga relación directa con el trabajo enviado. Serán citadas entre corchetes, con las 3 primeras letras del primer apellido del primer autor del artículo (o entidad si es una página web), y 2 números indicando el año. Ejemplo: [RU112] hace referencia al artículo de Antonio Ruiz Martínez con fecha 2012. Las referencias citadas se incluirán por orden de citación en el artículo. Cuando la referencia disponga de DOI (Digital Object Identifier) deberá indicarse al final de la misma. En cada cita se consignarán los datos en el formato APA:

**Para libros de un autor:**

- Jurado, Y. (2002). *Técnicas de investigación documental*. México: Thompson.
- Muñoz, R. (2002). *Estudio práctico de la fusión y escisión de sociedades*. México: ISEF.

Se anota un punto después del paréntesis, el título se escribe en cursiva y, si la obra es en lengua española, las palabras del título se escriben con minúscula, salvo por supuesto la primera palabra y los nombres propios; en el caso de las obras en inglés, los sustantivos, los verbos y los adjetivos se escriben con mayúscula inicial.

**Para libros de dos o más autores:**

- Kurosawa, J., y Armistead, Q. (1972). *Hairball: An intensive peek behind the surface of an enigma*. Hamilton, Ontario, Canada: McMaster University Press.

**Para capítulo en un libro:**

- McDonalds, A. (1993). *Practical methods for the apprehension and sustained containment of supernatural entities*. In G. L. Yeager (Ed.), *Paranormal and occult studies: Case studies in application* (pp. 42-64). London, England: OtherWorld Books.

**Para Tesis o disertación (de doctorado o de maestría):**

- McDonalds, A. (1991). *Practical dissertation title* (Tesis doctoral no publicada). Gainesville, FL.: University of Florida.

**Para artículo en un diario impreso:**

- Wrong, M. (2005, 17 de agosto). "Never gonna give you up," says mayor. *Toronto Sol*, p. 4.
- Rottweiler, F. T., & Beauchemin, J. L. (1987). Detroit and Narnia: Two foes on the brink of destruction. *Canadian/American Studies Journal*, 54, 66-146.
- Kling, K. C., Hyde, J. S., Showers, C. J., & Buswell, B. N. (1999). Gender differences in self-esteem: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 125, 470-500. doi:10.1037/0033-2909.125.4.470

**Para artículo en una sección de un periódico con numeración no continua:**

- Crackton, P. (1987). The Loonie: God's long-awaited gift to colourful pocket change? *Canadian Change*, 64(7), 34-37.
- Si se especifica el volumen, irá en cursivas. Si sólo se especifica el número, no es necesario.

**Para artículo en una revista semanal:**

- Henry, W. A., III. (1990, 9 de abril). Making the grade in today's schools. *Time*, 135, 28-31.

**Para artículo en una revista semanal que también tiene sitio web:**

- Hoff, K. (2010, 19 de marzo). Fairness in modern society. *Science*, 327, 1467-1468. doi:10.1126/science.1188537

**Para hacer referencias electrónicas:**

- Para referencias a sitios de Internet, artículos en línea y similares, el estilo APA tiene algunas reglas básicas:
- Incluir la fecha de revisión solo cuando el contenido puede cambiar (por ejemplo en wikis).
- Incluir todos los otros detalles relevantes para la búsqueda.

**8 Tablas, figuras y fotografías.**- Se enviarán solo tablas y figuras que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto. Cada figura tendrá su pie explicativo, indicándose el lugar aproximado de colocación. Las tablas y figuras se mandarán en ficheros aparte a ser posible en formato comprimido. Las fotografías deben enviarse en formato JPEG o TIFF, las gráficas en EPS o PDF y las tablas en word, excel u open office. Las fotografías y figuras deben ser diseñadas con una resolución mínima de 300 píxeles por pulgada (ppp).

**9 Fórmulas y expresiones matemáticas.**- Debe perseguirse la máxima claridad de escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio. En el texto se numerarán entre corchetes.

**10 Sobre los autores:** se deberá incluir una breve referencia profesional sobre los autores al final del artículo.

**11 Pruebas.**- Se enviarán a los autores las pruebas de imprenta en formato electrónico y deberán revisarlas en un plazo máximo de una semana. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

**12 Publicación «en-línea».**- Los trabajos pueden publicarse «en-línea» posteriormente a la publicación impresa en formato papel, en la página web de Mapping ([www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com)). Esta publicación «en-línea» podrá tener su versión en inglés suministrada por el propio autor, sometida a correcciones por el departamento de traducciones de la revista Mapping.

**13 Entrega de ejemplares.**- De cada trabajo publicado, se entregará a todos los autores un archivo en formato PDF, revista completa en formato electrónico mediante enlace descargable y 3 ejemplares en formato papel.

**14 Normativa y jurisprudencia.**- El artículo después de ser publicado en la revista Mapping seguirá siendo de Propiedad Intelectual de su autor.

**15 Otras consideraciones.**- Se evitará siempre que sea posible toda información que pueda parecer publicidad o propaganda injustificada de cualquier marca comercial o solución tecnológica concreta.

Las únicas menciones a marcas, soluciones, empresas y nombres comerciales se harán siempre por motivos estrictamente científico-técnicos y con la máxima objetividad y neutralidad.

Se evitará también toda información que pueda ser considerada opiniones subjetivas no fundamentadas y razonadas. Todo lo publicado debe ser información objetiva y demostrable, apoyada en evidencias o bien, opiniones argumentadas y justificadas, nunca gratuitas.

*Good things  
come in  
small packages*



**MAGNET™**  
CLOUD CONNECTION

**HIPERSR**  
POWER. PERFORMANCE. PRICE.

- Todas las constelaciones con 226 canales
- Tecnología GNSS Vanguard™
- Tecnología RTK LongLink™ libre de interferencias

MINISTERIO DE FOMENTO  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

# cartografía digital



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@cniq.es](mailto:consulta@cniq.es)

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS

<http://centrodedescargas.cniq.es/CentroDescargas/index.jsp>

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN 1000, 50, 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.