

MAPPING

VOL. 23 • Nº 168 • NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2014 • ISSN: 1131-9100

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO MOULOUYA aguas arriba de la presa Mohamed V

EVOLUCIÓN DEL FACTOR USO DEL SUELO COMO FIJADOR DEL CARBONO en el municipio de Almonte, Huelva (España)

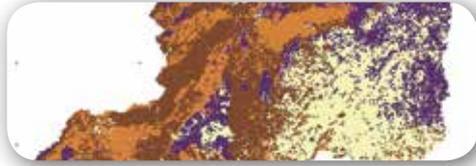
DETERMINACIÓN DE COORDENADAS INICIALES PARA ESTACIONES GNSS DE LA RED PERMANENTE REMOS ampliada en Venezuela – Época 2014.3

EXPERIENCIAS DE GEORREFERENCIACIÓN DIRECTA en Tucumán, Argentina

HISTORIA DE LA CARTOGRAFÍA LA METROLOGÍA POSTAL DE CAMPOMANES



Sumario



Pág. 04

Estimación de la erosión potencial en la cuenca del río Moulouya aguas arriba de la presa Mohamed V. *Estimation of the potential erosion in the Moulouya river watershed upstream of the dam Mohamed V.*

María del Mar Saldaña Díaz, Abderrahim Nemmaoui, María Yolanda Cantón Castilla, Manuel Ángel Aguilar Torres, Fernando José Aguilar Torres



Pág. 18

Evolución del factor uso del suelo como fijador del carbono en el municipio de Almonte, Huelva (España). *Geographic and quantitative changes of land use factor as a carbon crown in the town of Almonte, Huelva (Spain).*

Fabián Romero Pichardo



Pág. 28

Determinación de coordenadas iniciales para estaciones GNSS de la red permanente REMOS ampliada en Venezuela – Época 2014.3. *Determination of initial coordinates for GNSS stations of REMOS extended permanent network in Venezuela – Epoch 2014.3.*

Gustavo Acuña, Freddy Balcázar, Napoleón Hernández, Ruber Álvarez, Giovanni Royero, Manure Barrios, Samuel Rincón, María Ocando



Pág. 42

Experiencias de Georreferenciación Directa en Tucumán, Argentina. *Experiences of Direct Georeferencing in Tucumán, Argentina.*

Javier A. Carelli, José E. Juliá, Héctor R. Herrero, Carlos E. Valdez



Pág. 48

Historia de la Cartografía

La Metrología postal de Campomanes. *Campomanes's postal Metrology.*

Mario Ruiz Morales



Pág. 66

Mundo Tecnológico



Pág. 70

Noticias y Eventos

El conocimiento de hoy es la base del mañana

MAPPING es una publicación técnico-científica con 23 años de historia que tiene como objetivo la difusión de las investigaciones, proyectos y trabajos que se realizan en el campo de la Geomática y las disciplinas con ella relacionadas (Información Geográfica, Cartografía, Geodesia, Teledetección, Fotogrametría, Topografía, Sistemas de Información Geográfica, Infraestructuras de Datos Espaciales, Catastro, Medio Ambiente, etc.) con especial atención a su aplicación en el ámbito de las Ciencias de la Tierra (Geofísica, Geología, Geomorfología, Geografía, Paleontología, Hidrología, etc.). Es una revista de periodicidad bimestral con revisión por pares doble ciego. MAPPING está dirigida a la comunidad científica, universitaria y empresarial interesada en la difusión, desarrollo y enseñanza de la Geomática, ciencias afines y sus aplicaciones en las más variadas áreas del conocimiento como Sismología, Geodinámica, Vulcanología, Oceanografía, Climatología, Urbanismo, Sociología, Planificación, Historia, Arquitectura, Arqueología, Gobernanza, Ordenación del Territorio, etcétera.

La calidad de la geotecnología hecha revista

MAPPING is a technical- scientific publication with 23 years of history which aims to disseminate the research , projects and work done in the field of Geomatics and related disciplines with her (GIS, Cartography, Geodesy , Remote Sensing , photogrammetry , Surveying , GIS , Spatial Data Infrastructure , Land Registry , Environment, etc.) with focus on its application in the field of Earth Sciences (Geophysics , Geology, Geomorphology , Geography, Paleontology, Hydrology, etc.). It is a bimonthly magazine with double-blind peer review. MAPPING is aimed at interested in the dissemination , development and teaching of Geomatics , allied sciences and their applications in the most diverse fields of knowledge as seismology , geodynamics , volcanology , oceanography , climatology , Urban Planning , Sociology scientific, academic and business community, planning , History, Architecture , Archaeology , Governance, planning, etc.

MAPPING

VOL.23 Nº168 NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2014 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

Atlis Comunicación - atlis.es

IMPRESIÓN

Fatality Studio

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:

Presa de El Grado. La construcción de esta presa concluyó en 1969, represando las aguas del río Cinca junto al pueblo de El Grado (Huesca). Se trata de una presa de gravedad que ocupa una superficie de 1273 hectáreas y embalsa una capacidad máxima de 400 Hm³. Se utiliza para regar las tierras de la zona y la producción de energía eléctrica.

Autor: Miguel Ángel Ruiz

Depósito Legal: B-4.987-92

ISSN: 1131-9100 / eISSN: 2340-6542

Los contenidos de la revista MAPPING aparecen en: CSIC/ICYT, GeoRef, Dialnet, Latindex, Geoscience e-Journals, REBIUN, Recolecta, Catálogo BNE, Copac, IN-RECS, CIRC, MIAR, DULCINEA

PRESIDENTE

Benjamín Piña Patón

DIRECTOR

Miguel Ángel Ruiz Tejada
maruiz@geomapping.com

REDACTORA JEFA

Marta Criado Valdés
mcriado@egeomapping.com

CONSEJO DE REDACCIÓN

Julián Aguirre de Mata
ETSITGC. UPM. Madrid

Manuel Alcázar Molina
UJA. Jaén

Marina A. Álvarez Alonso
ETSITGC. UPM. Madrid

Carlos Javier Broncano Mateos
Escuela de Guerra del Ejército. Madrid

Joan Capdevilla Subirana
IGN. Cataluña

Daniel Emilio Carrasco Díaz
Indra Espacio. Madrid

Diego Cerda Seguel
KMLLOT.COM. Chile

Efrén Díaz Díaz
Abogado. Bufete Mas y Calvet. Madrid.

Mercedes Farjas Abadía
ETSITGC. UPM. Madrid

Carmen Femenia Ribera
ETSIGCT. UPV. Valencia

Javier Fernández Lozano
Fac. Ciencias. USAL. Salamanca

M^a Teresa Fernández Pareja
ETSITGC. UPM. Madrid

Florentino García González
Abogado

Diego González Aguilera
EPSA. USAL. Salamanca

Francisco Javier González Matesanz
IGN. Madrid

Luis Joyanes Aguilar
UPSAM. Madrid
Álvaro Mateo Milán
CECAF. Madrid.

Ricardo Rodríguez Cielo
ETSIT. UPM. Madrid

Antonio Federico Rodríguez Pascual
IGN. Madrid

Roberto Rodríguez-Solano Suárez
EUITF. UPM. Madrid

Andrés Seco Meneses
ETSIA. UPNA. Navarra

Cristina Torrecillas Lozano
ETSI. US. Sevilla

Antonio Vázquez Hoehne
ETSITGC. UPM. Madrid

CONSEJO ASESOR

Maximiliano Arenas García
Acciona Infraestructuras. Madrid

Rodrigo Barriga Vargas
IPGH. México

Miguel Bello Mora
Elecnor Deimos. Madrid

Andrés Díez Galilea
INITE. Madrid

Ignacio Durán Boo
Informática El Corte Inglés. Madrid

Ourania Mavrantza
KTIMATOLOGIO S.A. Grecia

Julio Mezcua Rodríguez
Fundación J. García-Siñeriz

Javier Peñafiel de Pedro
TOPCON POSITIONING SPAIN. Madrid

Benjamín Piña Patón
Área de Fomento de la Delegación del
Gobierno. Cantabria

Jesús Velasco Gómez
ETSITGC. UPM. Madrid

Estimación de la erosión potencial en la cuenca del río Moulouya aguas arriba de la presa Mohamed V

REVISTA **MAPPING**
Vol. 23, 168, 4-16
noviembre-diciembre 2014
ISSN: 1131-9100

Estimation of the potential erosion in the Moulouya river watershed upstream of the dam Mohamed V

María del Mar Saldaña Díaz, Abderrahim Nemmaoui, María Yolanda Cantón Castilla, Manuel Ángel Aguilar Torres, Fernando José Aguilar Torres

Resumen

Este estudio constituye una primera aproximación a la identificación de los procesos de degradación de la cuenca del río Moulouya y la consecuente dinámica de colmatación observada en la presa Mohamed V (Marruecos). En este sentido, se ha llevado a cabo la estimación de la tasa de erosión y pérdida de suelos anual en la cuenca del río Moulouya aguas arriba de dicha presa. Para ello se seleccionó un modelo sencillo como el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) con el fin de cuantificar el proceso de erosión hídrica. EL modelo USLE se basa en la estimación de varios parámetros determinantes en el proceso de erosión hídrica como son: (i) la agresividad de las precipitaciones o factor de erosividad de la lluvia (R), (ii) la erodibilidad de los suelos o factor K, (iii) la pendiente y longitud de la ladera vertiente como factor combinado LS, (iv) además de la cobertura vegetal (factor C) y (v) las prácticas de conservación del suelo (factor P). Los valores de tasa de erosión obtenidos para la cuenca Mohamed V se sitúa en unas $12.11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, con un aporte estimado de sedimentos a la presa próximo a $225 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

Abstract

This study is a first approach headed up to the identification of degradation processes in the Moulouya River watershed and the subsequent dynamics of silting registered in the dam Mohamed V (Morocco). In this sense, the estimate of the annual erosion rate and soil loss in the catchment area of the Moulouya River upstream of the dam Mohamed V has been carried out. A simple model like USLE approach (Universal Soil Loss Equation) was selected in order to quantify the water erosion process. The USLE model is based on the estimation of a determining key parameters in the process of water erosion such as: (i) the aggressiveness factor of the rainfall or rainfall erosivity (R), (ii) the soil erodibility or K factor, (iii) the slope length and steepness like a combined factor LS, (iv) in addition to the vegetation cover factor (C) and (v) the practices of soil conservation (factor P). The average erosion rate obtained for the entire catchment area took a value close to $12.11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}$, meanwhile the annual amount of sediment reaching the dam could be at about $225 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$.

Palabras clave: erosión del suelo, cuenca vertiente, USLE, colmatación de embalses, Marruecos.

Keywords: soil erosion, catchment area, USLE, silting of dams, Morocco.

Departamento de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería
msd452@ual.es
abdo.nemmaoui@gmail.com
ycanton@ual.es
maguilar@ual.es
faguilar@ual.es

Recepción 10/10/2014
Aprobación 15/11/2014

1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo en la cuenca Mediterránea es cada vez más preocupante, causando una significativa pérdida de tierras cultivables y la colmatación de las presas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En el caso concreto de los países del Magreb varios estudios han demostrado que la erosión ha causado importantes pérdidas de suelo y, sobre todo, de recursos hídricos debido a la colmatación de los embalses (Laouina, Nafaa, Coelho, Chaker, Carvalho, Boulet y Ferreira, 2000; Morsli, Habi, Mazour, Hamoudi y Halitim, 2012).

Por otro lado, numerosos trabajos han puesto en evidencia que la tasa de erosión presenta una alta variabilidad a lo largo de la cuenca mediterránea. Por ejemplo, en la cuenca vertiente de Oued El Maleh (Prerif-Marruecos) se estimó una tasa de erosión entre 5 y 150 t.ha-1.año-1 (El Aroussi, Mesrar, El Garouani, Lahrach, Beaabidate, Akdim y Jabrane, 2011), mientras que el caso del Líbano la tasa de erosión estimada variaba entre 50 y 70 t.ha-1.año-1 (FAO, 1986). En un estudio realizado en Turquía (Celik, Aydin y Yazici, 1996) se estimó una pérdida de suelo global entre 500 y 600 Mt.año-1. Chevalier, Pouliot, Thomson y Boussema (1995) indican que el 40 % de los suelos en Marruecos y el 50 % en Túnez se encuentran amenazados por la erosión.

La modelización de los procesos de erosión hídrica a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una excelente herramienta para determinar, de forma cuantitativa y cualitativa, la magnitud y distribución espacial de la pérdida de suelo y su movilización o transporte de sedimentos a través de la cuenca vertiente, lo que permite mejorar de forma significativa el conocimiento sobre las causas que originan la erosión (abandono de cultivos, deforestación, etc.) y la determinación de las zonas más vulnerables. En este sentido conviene indicar que aunque la erosión es considerada como un fenómeno natural, se ha visto acelerada por la deforestación y el uso intensivo y manejo inadecuado de los suelos agrícolas (FAO, 1990). Por otra parte, todas las predicciones derivadas del escenario de cambio climático global apuntan a un claro incremento de la aridez en la región mediterránea (IPCC, 2007). En relación a Marruecos, y en comparación con el periodo 1961-1990, el decremento de la precipitación afectará a todo el país, especialmente durante el periodo 2071-2099. Por ejemplo, y de acuerdo con el escenario más pesimista, la lluvia anual disminuirá en torno a un 20% desde ahora hasta 2050, cayendo incluso hasta un 40% si nos trasladamos a 2080 (World Bank & Government of Morocco, 2008). Al mismo tiempo se prevé un aumento de temperatura en Marruecos que podría llegar hasta los 3o C en 2080, lo que produciría un incremen-

to en la evapotranspiración de un 20% en 2050 y hasta un 40% en 2080. Obviamente esta situación derivaría en un grave déficit hídrico que afectaría negativamente a la actual cubierta vegetal que protege contra la erosión hídrica. Por otra parte se pronostica el aumento de los eventos meteorológicos extremos como lluvias torrenciales puntuales, que son las que verdaderamente provocan los procesos de erosión más pronunciados. En definitiva, las zonas semiáridas mediterráneas se enfrentan a un escenario donde se producirá, con una elevada probabilidad, un aumento neto de la erosión hídrica, circunstancia que hace imprescindible el disponer de modelos eficaces que permitan identificar las zonas más vulnerables y predecir el efecto de las posibles medidas correctoras que se lleven a cabo.

La modelización USLE (Universal Soil Loss Equation), implementada por Wischmeier y Smith (1978), proporciona una estimación de las partículas del suelo susceptibles de ser desagregadas y determina, por tanto, las zonas más sensibles a la erosión sin tener en cuenta las dinámicas de transporte/sedimentación de los materiales del suelo. El modelo ha sido desarrollado a partir de datos recolectados a lo largo de veinte años a través de más de 10 000 ensayos de erosión en parcelas y en pequeñas cuencas vertientes en 46 estaciones situadas en la Gran Llanura Americana (Roose, 1994). Aunque ha sido concebida y calibrada en Estados Unidos, la ecuación universal de pérdida de suelo USLE constituye uno de los modelos más aceptados para la estimación anual de la erosión hídrica potencial de los suelos a nivel mundial. De hecho, esta ecuación ha sido aplicada en varios países y adaptada en función del contexto climático, pedológico y topográfico, desarrollándose varias ecuaciones derivadas de la misma.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Zona de estudio

La zona de estudio se sitúa en la cuenca vertiente del Río Moulouya situada aguas arriba de la presa Mohamed V, en la zona Oriental de Marruecos. La cuenca del río Moulouya, centrada en las coordenadas UTM 466 161 m este y 3 713 140 m norte (sistema de referencia WGS84), presenta una superficie próxima a los 55 500 km². El río Moulouya, con una longitud de unos 600 km, surge en Alemsid, a una altitud de 1170 m, en el cruce del macizo del Medio Atlas y del Alto Atlas, desembocando en Saïdia (Ras el Ma) en el mar Mediterráneo. La aportación media en la desembocadura del río Moulouya es de 920 Mm³.año-1 (periodo 1970-98). En el transcurso del río Moulouya nos encontramos con la cuenca vertiente a la presa Mohamed V, constituida por una llanura árida con

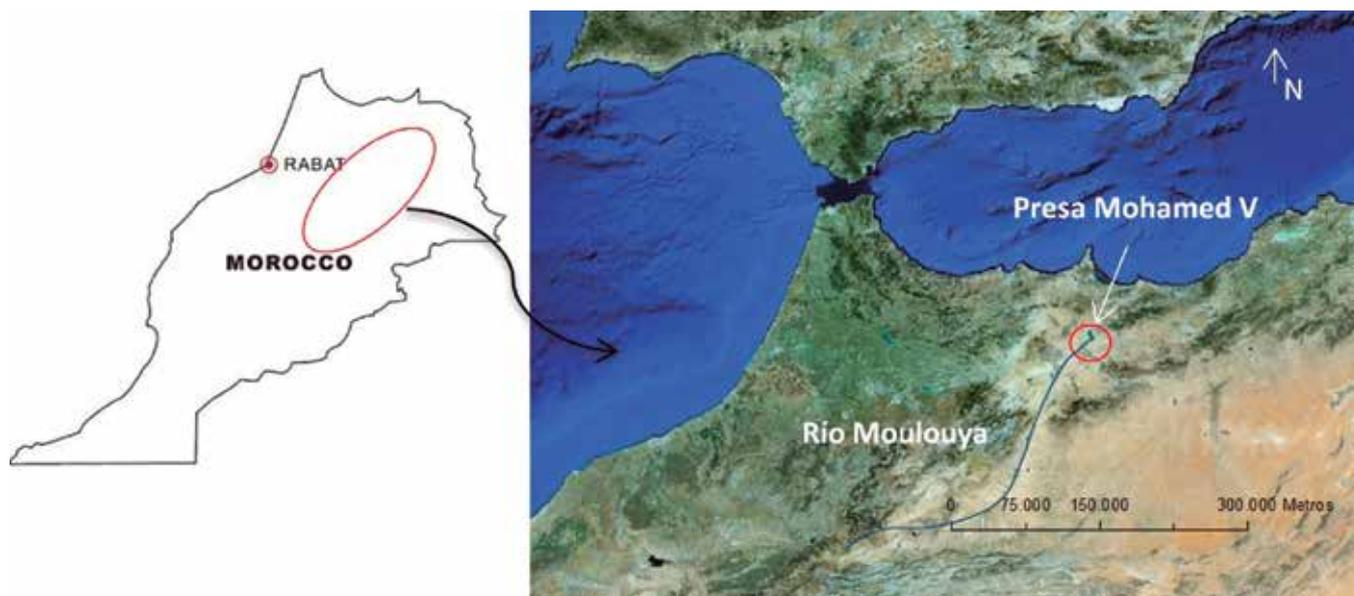


Figura 1. Localización de la zona de estudio

una degradación específica en principio baja, aunque con formas de erosión concentradas y reactivadas periódicamente (Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification, 1996).

En la Figura 1 podemos ver la localización por donde discurre el río Moulouya y la localización de la presa Mohamed V.

2.2. Modelo digital de elevaciones

El Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) anunciaron en 2011 el lanzamiento de un nuevo Modelo Digital de Elevaciones Global (Global Digital Elevation Model, GDEM) conocido como ASTER GDEM v2.

La primera versión del ASTER GDEM fue lanzada en junio de 2009 y se generó utilizando aproximadamente 1.3 millones de imágenes estéreo tomadas por el sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). La cobertura del ASTER GDEM abarca un 99 % de la superficie de la tierra. Posteriormente se realizó una actualización incorporando 260 000 estéreo pares adicionales para mejorar la cobertura y la reducción de la aparición de artefactos. El algoritmo refinado para la producción de dicho modelo proporciona una mejora en la resolución espacial obteniendo una mayor precisión planimétrica y altimétrica.

Este modelo puede ser descargado en formato Geo-Tiff y coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), sistema de referencia WGS84, con una resolución de 30 m/píxel y elevaciones expresadas como cotas ortométricas. Presenta una precisión vertical estimada de 20 m con un nivel de confianza del 95 % (ASTER, 2009).

2.3. Obtención de la cuenca vertiente

Para poder llevar a cabo el desarrollo de los trabajos necesarios para el estudio del impacto de la erosión del suelo en la colmatación de la presa Mohamed V, fue necesaria la delimitación de la cuenca vertiente del río Moulouya aguas arriba de la presa citada. Para ello, a partir del Modelo Digital de Elevaciones, previo relleno de los pequeños sumideros ("pits") que pueden afectar al cálculo de la cuenca, se calculó la dirección de flujo y a partir de ésta se construyó el mapa de flujo acumulado que permitió la delineación automática de la cuenca. Para todo ello se usó el módulo de análisis hidrológico de ArcGIS v. 10.2.

2.4. Aplicación del modelo USLE

Para el cálculo de la tasa de erosión potencial en la cuenca del Río Moulouya aplicamos la ecuación USLE (Ecuación 1) como modelo de estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica ampliamente recomendado por numerosos autores (Chen, 2007). La USLE es un modelo paramétrico totalmente empírico que se aplica para predecir la tasa de erosión anual promedio de suelos con una determinada topografía y bajo unas condiciones de uso y manejo del suelo específicas. El modelo no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación de forma mecánica. La ecuación de la USLE viene dada por la siguiente expresión:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad [1]$$

Donde A es la pérdida de suelo anual en t.ha⁻¹, R es la erosividad de las precipitaciones (MJ.mm.ha⁻¹.h-1.año⁻¹), K es la erosionabilidad del suelo (t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹), L es la longitud de la ladera (adimensional), S la pendiente de

la ladera (adimensional), C es el cultivo y manejo del suelo (adimensional) y P la práctica de conservación (adimensional).

A continuación se presenta una descripción de los parámetros que intervienen en la ecuación de la USLE.

2.4.1. Factor R: erosividad de las precipitaciones

La pérdida de suelo está estrechamente relacionada con la intensidad y energía de la lluvia debido al poder de desprendimiento del impacto de las gotas al golpear el suelo y, en parte, por la contribución de la lluvia a la escorrentía (Le Bissonnais, Thorette, Bardet y Daroussin, 2002).

Wischmeier y Smith (1978) comprobaron que la pérdida de suelo, tanto por salpicadura, flujo superficial y/o en regueros, está relacionada con un índice compuesto por la energía cinética (E) y la máxima intensidad de lluvia en 30 minutos (Ecuación 2). En definitiva, la energía cinética de las gotas de lluvia es capaz de desagregar el suelo en partículas individuales que posteriormente serán transportadas por salpicadura o por escorrentía. El término R de erosividad queda definido por la siguiente expresión:

$$R = E * I_{30} \quad [2]$$

Donde E es la energía cinética de la lluvia e I_{30} la intensidad máxima de lluvia en un período de 30 minutos. Para el cálculo de la erosividad de la lluvia anual será necesario realizar la sumatoria de los productos de las energías cinéticas de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos (Ecuación 3).

$$R = \sum (E * I_{30}) \quad [3]$$

Para el cálculo de R se determina si existe una precipitación mayor a 12.7 mm en un intervalo de 6 h. De este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm.h⁻¹ en 15 minutos (Wischmeier y Smith, 1978).

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la siguiente ecuación (Ecuación 4):

$$ei = 1.213 + 0.89 * \log I_M \quad [4]$$

Donde I_M es la intensidad de la lluvia en el intervalo considerado. El uso de esta ecuación para el cálculo de la energía cinética parcial se determina en función de las unidades de I, que en este caso son mm.h⁻¹, siendo las unidades finales las de energía por unidad de superficie y mm de precipitación en la forma J.m⁻².mm⁻¹.

El cálculo de la energía total para cada intervalo se calcula mediante la siguiente ecuación (Ecuación 5):

$$E_i = e * pp_i \quad [5]$$

Donde E_i es la energía total de cada intervalo, e_i la energía descrita en la ecuación 4 y pp_i es el total de milímetros de lluvia caídos en el intervalo considerado.

Mediante la suma de las energías calculadas para cada intervalo llegamos al cálculo de la energía total de la tormenta considerada (Ecuación 6) que suele expresarse en MJ.ha⁻¹:

$$E = \sum E_i \quad [6]$$

En el caso de disponer del registro de precipitaciones a lo largo de varios años suele recomendarse determinar un factor R promedio como más representativo de la zona de estudio.

Como puede intuirse, la medición directa del factor R es una labor costosa. Para su cálculo hay que acudir a medidas experimentales en parcelas tipo durante varios años con el fin de obviar la variabilidad temporal de la intensidad y frecuencia de los episodios de tormenta.

Debido a la falta de datos para el cálculo de los parámetros I_{30} y E en nuestra área de estudio, se empleó un método alternativo para el cálculo de la erosividad (factor R). Tras una profunda revisión bibliográfica, se optó por utilizar la metodología propuesta por Arnoldus (1977), aproximación empleada en otros trabajos como los llevados a cabo por Irvem, Topaloglu y Uygur (2007) o Payet, Dumas y Pennober (2011). Se trata de una metodología muy útil para zonas donde no se disponga de datos de pluviometría de forma continua, sino solo de datos medios diarios o mensuales. En este caso se recomienda la determinación del parámetro R mediante la aplicación del Índice de Fournier (IF) que emplea para su cálculo las precipitaciones totales mensuales (Ecuación 7):

$$IF = p^2/P \quad [7]$$

Donde p (mm) corresponde a la precipitación del mes más lluvioso y P (mm) al total anual de lluvia acumulada.

Si se disponen de datos suficientes conviene aplicar el Índice Modificado de Fournier (IMF) que utiliza como dato de entrada las precipitaciones totales mensuales (Ecuación 8):

$$IMF = \sum p_i^2 / P \quad [8]$$

Donde p_i (mm) corresponde a la precipitación mensual del mes «i» y P (mm) al total anual de lluvia acumulada.

El término IF es empleado para reemplazar directamente a la metodología tradicional aplicada para el cálculo del factor R en zonas donde no se dispone de los datos necesarios. Cabe destacar que el uso de dicho factor, o en su caso la aplicación del índice modificado IMF, debe ser cuidadoso ya que su correlación con el índice de erosividad real (factor R) es variable según la zona de estudio (Irvem et al. 2007). Por ello Arnoldus (1977) estableció un mapa de isoerentas donde se relaciona el factor de erosividad R para Marruecos con el índice IMF según la siguiente expresión (Ecuación 9):

$$R = 0.264 * IMF^{1.50} \quad [9]$$

Los datos necesarios para el cálculo del factor R de la ecuación de la USLE, tal y como se ha descrito en este apartado, han sido obtenidos a partir de los datos de precipitación publicados por WorldClim¹ los cuales fueron generados a partir de la interpolación de datos mensuales de clima obtenidos en diferentes estaciones meteorológicas con una resolución de 1 km de tamaño de píxel. En realidad la base de datos WorldClim integra los datos climáticos ya existente en otras bases de datos como: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO), Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization, WMO), Centro Internacional de Agricultura Tropical (International Center for Tropical Agriculture, CIAT) y diferentes bases locales de datos adicionales. A partir de esta información de base, se seleccionaron las estaciones meteorológicas con registros históricos de varios años, obteniendo los promedios para el período 1960-1990 y eliminando aquellas series de menos de 10 años. En algunos casos se ha ampliado el período a 1950-2000 para incluir datos de zonas para las que había un registro de datos escaso (Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005).

2.4.2. Factor K: erosionabilidad del suelo

La erosionabilidad expresa la susceptibilidad de un suelo a la erosión, dependiendo principalmente de variables intrínsecas del suelo como su contenido en materia orgánica, textura, estabilidad estructural, etc. (Roose y Sarrailh, 1990). El factor K de la USLE trata de explicar la pérdida potencial de suelo por unidad de erosividad en la parcela estándar.

Varios autores han propuesto que el factor K puede ser expresado en función de las propiedades del suelo por medio de ecuaciones de regresión múltiple (Römken, 1985). Por ejemplo, en 1969 se realizó un estudio para describir el factor K mediante el análisis de 55 suelos en los que se consideraban tanto propiedades físicas como

químicas (Wischmeier y Mannering, 1969). El resultado de dicho estudio fue una ecuación de regresión múltiple de 24 términos o variables explicativas que posteriormente, y de cara a su aplicación práctica, tuvo que ser simplificada por su alta complejidad.

Más tarde, Wischmeier y Smith (1978) proponen la siguiente ecuación para el cálculo de la erosionabilidad (Ecuación 10):

$$K = 2.1 * M^{1.14} * 10^{-6} (12 - MO) + 0.0325 * (b - 2) + 0.025 * (c - 3) \quad [10]$$

Donde MO corresponde al contenido en materia orgánica del suelo, b es el índice de estructura, c es la permeabilidad y M representa un término dependiente de la textura que se calcula mediante la siguiente expresión (Ecuación 11):

$$M = (Arenafina(\%) + Limo) * (100 - Arcilla(\%)) \quad [11]$$

TIPOS DE SUELOS PRESENTADOS EN LA CUENCA VERTIENTE DEL RÍO MOULOUYA	FACTOR K t.ha.h.ha ⁻¹ .MJ ⁻¹ .mm ⁻¹
Andosols	0.15
Arenosols	0.19
Calcisols	0.22
Cambisols	0.25
Fluvisols	0.20
Kastanozems	0.16
Leptosols	0.20
Luvisols	0.20
Phaeozems	0.10
Regosols	0.15
Vertisols	0.11

Tabla 1. Variación de K en función del tipo de suelo

Dado que no se han encontrado datos suficientes en la cuenca vertiente del río Moulouya para la aplicación de la fórmula descrita en la metodología expuesta por Wischmeier y Smith (1978), se optó por asignar a los diferentes tipos de suelos de la zona un valor de K en función de diferentes estudios publicados (Arnoldus, 1977; Payet et al., 2011; Ashiagbor, Forkuo, Laari y Aabeyir, 2013). Las tipologías de suelos dentro de la cuenca se obtuvieron de la base de datos global en formato ráster proporcionada por SoilGrids1km² (<http://soilgrids1km.isric.org>). En este caso los datos descargados representan los diferentes tipos de suelo que se encuentran en la zona de estudio. Estos mapas se actualizan de forma regular con el objetivo de mejorar el posible uso de los mismos aportando datos

adicionales (perfiles de suelo y capas de covarianza). Los datos obtenidos para este estudio fueron actualizados el 2 de abril de 2013.

Una vez delineados en formato ráster los diferentes tipos de suelo de la cuenca vertiente del río Moulouya se procedió a la asignación del valor K en función del tipo de suelo (Tabla 1) gracias a la cartografía publicada en el trabajo de Arnoldus (1977).

2.4.3. Factor LS: longitud y pendiente de la ladera

Los efectos de la topografía del terreno en la determinación de la tasa de erosión vienen determinados en el modelo USLE por el factor combinado LS. Este factor tiene en cuenta el efecto de la longitud e inclinación de la ladera vertiente para la cuantificación de la erosión hídrica (Roose, 1994). El incremento de la pendiente de la ladera aumenta la velocidad de la escorrentía y, por lo tanto, la capacidad de arranque de partículas de suelo.

PORCENTAJE DE LA PENDIENTE (%)	FACTOR m CORRESPONDIENTE-1
≥ 5	0.5
3.5 – 4.5	0.4
1 - 3	0.3
< 1	0.2

Tabla 2. Variación de m en función de la pendiente (según Wischmeier y Smith, 1978)

El cálculo del factor LS responde a la siguiente expresión formulada por Wischmeier y Smith (1978) (Ecuación 12):

$$LS = (\lambda/22.1)^m * (65.4 \sin \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad [12]$$

Donde λ representa la longitud de la ladera en metros, calculada como proyección horizontal, θ es el ángulo de la pendiente y m es el factor establecido por Wischmeier y Smith (1978) en función de la pendiente del terreno (Tabla 2).

Actualmente el cálculo del factor combinado LS está implementado en diversos programas informáticos, de forma que puede determinarse en formato ráster a partir de un DEM adecuado. Para ello es necesaria la obtención de mapas derivados del DEM inicial como son el mapa de pendientes y el de acumulación de flujo. En nuestro caso se empleó el software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) que implementa los algoritmos necesarios para el cálculo del factor LS a partir de un DEM. Como paso previo al cálculo de LS se realizó un suavizado del ASTER GDEM v2 para la eliminación de ruido y posibles

artefactos que pudiesen afectar, y por tanto desvirtuar, el resultado obtenido para dicho factor (Desmet, 1997). Por ello se procedió a realizar un suavizado previo del modelo mediante: i) decimación del DEM original consistente en el paso de una malla de resolución 30 m a otra de resolución 120 m y ii) subsecuente aplicación al modelo de resolución 120 m de un filtro de paso bajo (filtro de medias en una ventana móvil de 3x3 píxeles).

El cálculo del mapa de pendientes se realizó a partir del DEM suavizado mediante la aplicación del método propuesto por Zenvenger y Thorne (1987), basado en un ajuste polinómico de segundo orden de nueve parámetros. Para calcular la acumulación de flujo en cada píxel se utilizó el procedimiento conocido como Mass Flux Method (MFM) propuesto por Gruber y Peckham (2008). Finalmente se calculó el factor LS mediante la combinación de los mapas de pendiente y acumulación de flujo a través del algoritmo propuesto por Desmet y Govers (1996).

2.4.4. Factor C y P: cultivo y manejo del suelo

La cobertura vegetal protege los suelos y amortigua el impacto de las gotas de lluvia, influyendo, por tanto, sobre la velocidad de la escorrentía superficial y la infiltración. Así pues, las pérdidas de suelo disminuyen con el aumento de la cobertura vegetal (Soutter, Mermoud y Musy, 2007).

Tipo de cultivo	Valor del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque degradados	0.7
Árboles y arbustos	0.3
Área de reforestación	0.18

Tabla 3. Coeficientes del factor C en función del tipo de cobertura del suelo.

El factor C se define como la relación entre la tasa de erosión potencial del suelo desnudo bajo unas condiciones específicas y la tasa de erosión correspondiente a una determinada cobertura vegetal y/o sistema de explotación (Wischmeier y Smith, 1978). En este sentido un suelo con vegetación natural bien desarrollada apenas presentará erosión por muy abrupto que sea el terreno. El valor de C oscila entre 0 y 1, asignándose el valor 1 a suelos totalmente desnudos y el valor 0 a tipos de suelo que no son susceptibles de sufrir ninguna erosión.

La información del tipo de cobertura vegetal y uso del suelo que ocupa la zona de estudio se ha obtenido a partir de la interpretación de imágenes Landsat 8 y de la digitalización de diversa cartografía de la zona como,

por ejemplo, el mapa de coberturas del suelo «Esquisse Préliminaire de la carte des sols du Maroc» a escala 1/1 500 000 (Cavallar, 1950).

La asignación de valores de C en función de la cobertura vegetal (Tabla 3) se ha realizado de forma similar a la realizada por Payet et al. (2011).

El valor del factor P depende de las prácticas de conservación del suelo. Estas prácticas consisten en un conjunto de técnicas de cultivo que tienen como objetivo la disminución de la escorrentía y la erosión tales como la labranza o la formación de caballones en las zonas de cambio de pendiente. Ante la ausencia de datos globales para la zona de trabajo se decidió asignar un valor de $P = 1$ para toda el área de estudio tal y como recomiendan varios autores (Payet et al., 2011).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Obtención de la cuenca vertiente

La cuenca vertiente delimitada presenta una superficie total de 49 536 km², con una longitud de unos 378 km y una anchura media de unos 203 km, delimitada tal y como ha sido descrito en el apartado 2.3.

3.2. Aplicación del modelo USLE

Los resultados obtenidos se refieren, por un lado, a los cálculos detallados de los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo de la ecuación de la USLE: R, K, LS, C y P (Ecuación 1). Por otro lado, el uso de los mismos factores para el cálculo final de la distribución espacial de A (tasa de erosión o pérdida del suelo en t.ha⁻¹) en la cuenca vertiente del río Moulouya.

3.2.1. Factor R: erosividad de las precipitaciones

La incorporación de los datos mundiales climáticos ofrecidos por WorldClim para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia, R, nos ha permitido evaluar la distribución espacial de la agresividad de la lluvia en la zona de estudio. Así, el análisis del valor medio de las precipitaciones anuales, pone de manifiesto que, como era de esperar, las mayores precipitaciones anuales se localizan en las zonas elevadas, llegando a alcanzar valores medios de hasta 850 mm.año⁻¹.

En relación a la distribución de las precipitaciones en función de la altitud, en el mapa temático obtenido tras calcular el factor R podemos observar un crecimiento de los valores de dicho factor en relación con la elevación sobre el nivel del mar, variando entre 18 y 190 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹. En efecto, los valores más elevados se corresponden con las zonas de mayor altitud, aunque son los menos abundantes, predominando los valores en el inter-

valo de 18 a 80 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹. La distribución espacial del factor R en el área de estudio puede observarse en el mapa temático de la Figura 2. Estos valores del factor R son similares a los obtenidos por Arnoldus (1977) para la cuenca vertiente del río Moulouya que oscilaban entre 10 y 300.

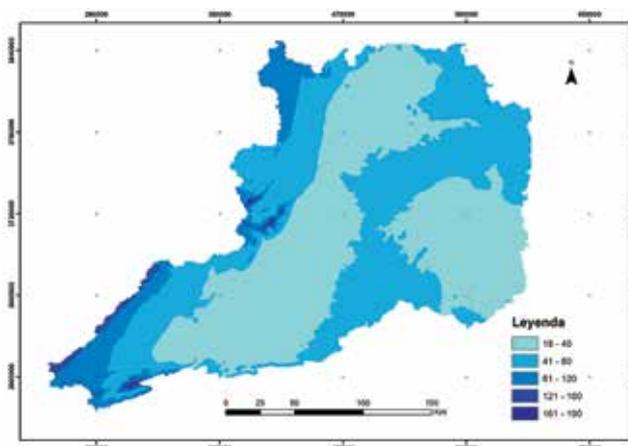


Figura 2. Valores del Factor R (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹)

3.2.2. Factor K: erosionabilidad del suelo

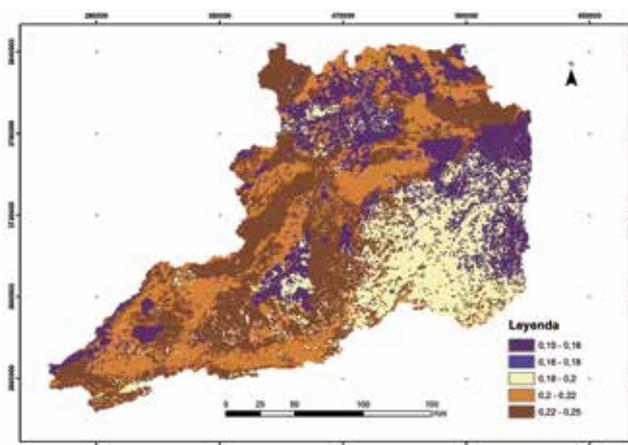


Figura 3. Valores obtenidos para el Factor K (t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) en función del tipo de suelo

La presencia de diferentes tipos de suelo en la zona de la cuenca vertiente del río Moulouya hace que los valores del factor K varíen entre 0.10 y 0.25 t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹ (Figura 3). En efecto, si nos fijamos en el mapa de la Figura 3 y tenemos en cuenta la relación entre el factor K y los tipos de suelo de la Tabla 1, podemos localizar donde se encuentran los tipos de suelo que presentan una menor susceptibilidad a la erosión (menor valor del factor K), variando estos en un rango entre 0.10 y 0.16 t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹, frente a los tipos de suelo con valores de K más elevados, situándose dichos valores entre 0.22 y 0.25 t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹.

3.2.3. Factor LS: longitud y pendiente de la ladera

El DEM elegido juega un papel fundamental en el cálculo del factor LS. Debido a la pobre precisión vertical del modelo ASTER GDEM v2 empleado en este trabajo, lo que es usual en el caso de DEM globales, y por tanto para evitar errores significativos en la determinación del mapa de pendientes y acumulación de flujo, se procedió al suavizado del DEM como paso previo al cálculo del factor combinado LS. Dicho suavizado se realizó, como hemos comentado en el apartado de «Material y Métodos», mediante una decimación y posterior aplicación de un filtro de medias al ASTER GDEM v2 original.

Una vez realizado el DEM original, fue empleado para calcular el factor LS a partir de la determinación del mapa de pendientes y el mapa de acumulación de flujo.

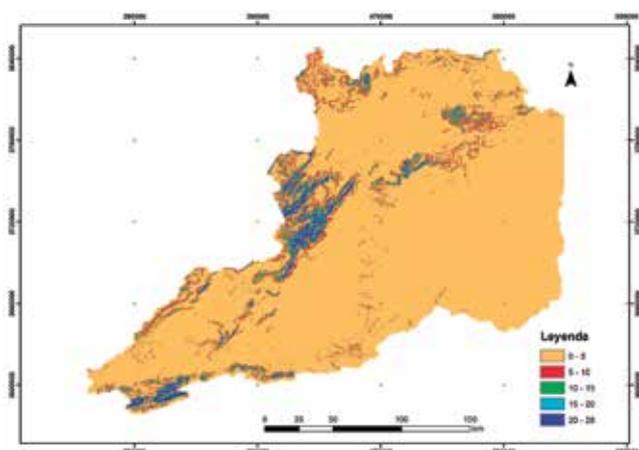


Figura 4. Distribución espacial de los valores obtenidos para el Factor LS

Los resultados obtenidos para el factor LS (Figura 4) muestran la importancia de la inclinación y la longitud de la pendiente en la susceptibilidad a la erosión a lo largo de la cuenca hidrográfica estudiada. La topografía de la cuenca vertiente del río Moulouya da lugar a unos valores de LS que varían entre 0 y 28. El rango de valores inferiores, que oscila entre 0 y 5, es el rango que predomina en toda la cuenca vertiente, ya que se trata de una zona relativamente plana. En la Figura 4 podemos observar también como a medida que el terreno se eleva se produce un aumento de los valores correspondientes a LS, alcanzando en las zonas más elevadas valores situados entre 20 y 28. Los valores obtenidos en este estudio para el factor LS son coherentes con los valores obtenidos para el mismo factor en estudios similares (e.g. Sadiki, Bouhlassa, Auajjar, Faleh y Macaire, 2004; Payet et al., 2011).

3.2.4. C: Cultivo y manejo del suelo

El procedimiento desarrollado para el cálculo del factor de cobertura del suelo, C, ofrece una estimación global del efecto sobre la tasa de erosión de los usos del suelo

predominantes en el área de estudio.

Tras analizar los datos disponibles para el cálculo de dicho factor y asignar los valores de C en función de la cobertura del suelo estimada, tal y como se ha descrito anteriormente (ver 4.2.4 FACTORES C Y P: CULTIVO Y MANEJO DEL SUELO) obtenemos como resultado el mapa presentado en la Figura 5.

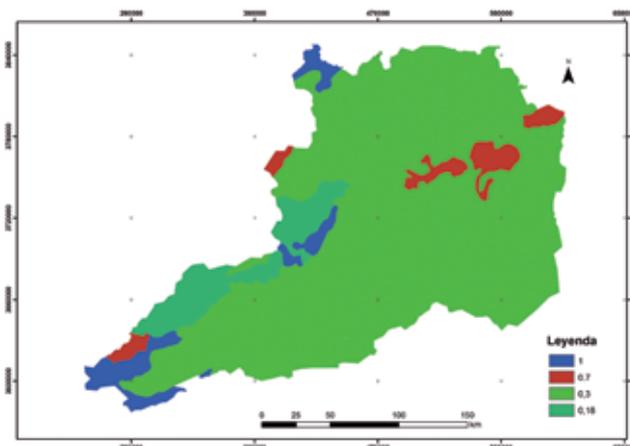


Figura 5. Cartografía de la distribución espacial de los valores empleados para el Factor C

El mapa correspondiente a los valores de C muestra la sensibilidad de los diferentes tipos de suelo y los procesos erosivos. En este caso los valores varían entre 0.18 y 1. Las zonas con una alta vegetación en la zona de estudio, correspondientes a áreas de reforestación, presentan el menor coeficiente de C, ya que la erosión en las zonas de mayor vegetación es menor que en zonas donde la vegetación es escasa. Por el contrario, en las zonas desérticas de la cuenca hidrográfica, los valores de C aumentan hasta 1, siendo éste el mayor valor que pueda tomar dicho factor, ya que al no existir ningún tipo de vegetación en la zona, la erosión es mucho más elevada. En este caso, el tipo de vegetación que predomina en la zona de estudio son árboles y arbustos, por lo que el valor que predomina para el factor C es de 0.3.

3.2.5. Tasa de erosión

El modelo de la USLE presenta una estimación promedio anual del potencial de pérdida del suelo por erosión hídrica expresada en $t \cdot ha^{-1}$. En general, los suelos desnudos o frágiles, situados en zonas escarpadas y expuestos a una lluvia agresiva, son los más susceptibles al proceso de erosión. En la Figura 6 se muestra la variabilidad espacial de la tasa de erosión estimada en este trabajo cuyos valores se sitúan entre 0 y $1000 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ a lo largo de la cuenca vertiente. Aproximadamente el 85 % de la zona de estudio presenta una baja tasa de erosión, oscilando entre 0 y $5 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$. Los valores más altos, situados entre 400

y 1000 t.ha⁻¹.año⁻¹, se concentran en solo un 0.2 % de la superficie total de la cuenca vertiente del río Moulouya.

Conviene indicar que en el mapa de tasas de erosión para Marruecos elaborado por Arnoldus (1977) se presentan valores que llegan a alcanzar hasta 2000 t.ha⁻¹.año⁻¹, por lo que los resultados del presente estudio quedan dentro del rango propuesto en el citado trabajo.

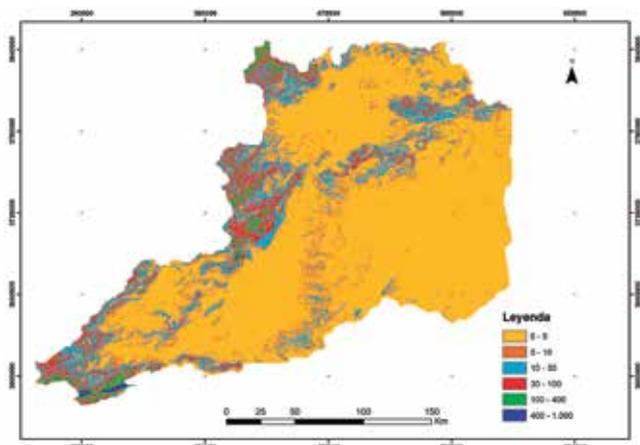


Figura 6. Distribución espacial de la tasa de erosión estimada mediante la aplicación de la ecuación de la USLE en t.ha⁻¹

Si realizamos la sumatoria del total de material erosionado aguas arriba de la presa Mohamed V, obtenemos un total de 58 327 658.30 t.año⁻¹. Ésta sería la masa media de partículas de suelo potencialmente movilizadas por procesos de erosión hídrica a lo largo de un año. Sin embargo, no todo el material erosionado que hemos calculado mediante la ecuación de la USLE llegaría a depositarse en el embalse Mohamed V como sedimento contribuyendo a su paulatina colmatación, ya que parte del material quedará depositado o atrapado a lo largo de la cuenca. A la fracción de la cantidad de suelo que se moviliza por procesos erosivos y que llega a depositarse en el embalse aguas abajo se le denomina «Sediment Delivery Ratio» o proporción de desplazamiento de sedimentos. En este sentido, la cantidad de sedimento que finalmente llega al embalse se convierte en m³ de sedimentos depositados en el fondo de la presa, disminuyendo así su capacidad de

almacenamiento. Lane y Koelzer (1943) propusieron, en base a mediciones realizadas en numerosos embalses, una expresión para estimar el peso específico de los sedimentos depositados (Ecuación 13) teniendo en cuenta el tamaño de las partículas de los sedimentos, la forma de operación del vaso y el tiempo transcurrido en años:

$$WT = W_1 + k * \log(T-1) \quad [13]$$

Donde WT es el peso específico del sedimento después de T años en el embalse, W₁ es el peso específico inicial y K una constante en función de la consolidación del sedimento.

Cuando el sedimento está compuesto por una mezcla de materiales, la ecuación adopta la siguiente forma (Ecuación 14):

$$WT = (X_1/100)*(W_1 + B_1 \log T) + (X_2/100)*(W_2 + B_2 \log T) + (X_3/100)*(W_3 + B_3 \log T) \quad [14]$$

Siendo WT el peso específico del sedimento después de T años en el embalse, X₁, X₂ y X₃ corresponden a los porcentajes de arena, limo y arcilla de la muestra, W₁, W₂ y W₃ son los pesos específicos iniciales para arena, limo y arcilla y B₁, B₂ y B₃ son las constantes de consolidación en función del material (Tabla 4):

Considerando que el porcentaje de arena, arcilla y limo es el mismo (33.3 % de cada material) y que se calcula para un tiempo estimado de T= 10 años, la densidad aparente del sedimento que colmata el embalse puede estimarse en WT = 1117.914 kg.m⁻³. Si aplicamos este valor como factor de conversión para pasar de t.año⁻¹ a Mm³.año⁻¹ llegamos a la conclusión de que llegarían al embalse una cantidad aproximada de 52.18 Mm³.año⁻¹ de sedimentos si la proporción de desplazamiento de sedimentos fuera igual a la unidad. Pero, tal y como se ha expuesto anteriormente, no todo el material erosionado pasa a ser sedimento en el embalse. Según datos relativos a la presa Mohamed V, el volumen medio de colmatación se aproxima a 10 Mm³.año⁻¹ (Haut Commissariat, 1996), lo que supondría

Condiciones del Embalse	Arena		Limo		Arcilla	
	W ₁	B ₁	W ₂	B ₂	W ₃	B ₃
Sedimentos siempre sumergidos	1490	0	1040	91.3	480	256
Embalse moderadamente vacío	1490	0	1185	43.2	737	171.4
Embalse considerablemente vacío	1490	0	1265	16.0	961	96.1
Embalse normalmente vacío	1490	0	1314	0	1249	0

Tabla 4. Valores para el cálculo del peso específico del sedimento después de T años.

una proporción de desplazamiento de sedimentos del 19.17 % del suelo total erosionado o, lo que es lo mismo, 225 t.km⁻².año⁻¹. Este dato se aproxima al obtenido por la Agencia Estadounidense de Desarrollo Regional (Ouazar, 2010), donde se estima que la cantidad de sedimentos que llegan a la presa se sitúa alrededor de 240 t.km⁻².año⁻¹. Este valor concuerda a su vez con un trabajo anterior presentado por Lahlou (1996).

Un estudio similar realizado por De Vente (2007) propone una ecuación para el cálculo del sedimento que llega a la presa en función del área total de la cuenca vertiente para cuencas situadas en Marruecos (Ecuación 15):

$$S = 19\,193 A^{-0.43} \quad [15]$$

Donde S representa el sedimento depositado en la presa (t.km⁻².año⁻¹) y A es el área total de la cuenca vertiente en km².

Tras aplicar la ecuación 15 a la zona de la cuenca vertiente del río Moulouya aguas arriba de la presa Mohamed V (superficie total de 49 563 km²), estimamos una tasa de sedimentos depositada en el embalse de unas 183 t.km⁻².año⁻¹, valor muy próximo al obtenido en nuestros cálculos.

Los valores de tasa de erosión obtenidos en este estudio se sitúan dentro del rango de valores publicados en otros trabajos realizados en el Reino de Marruecos. La tasa de erosión media de la cuenca estudiada se sitúa en unas 12.11 t.ha⁻¹.año⁻¹, lo que equivale a una pérdida de perfil de suelo de unos 0.089 mm.año⁻¹ para un suelo de textura media (franco-arenoso a areno-limoso). Aunque se han efectuado progresos diversos en la determinación de la intensidad de la erosión en numerosos suelos y en muy diferentes medios climáticos, surge un problema cuando se trata de analizar la cantidad de degradación permisible o tolerable por un suelo manteniendo un nivel de productividad similar al iniciar el análisis. Para Estados Unidos se han dado cifras que oscilan entre 2 y 12.5 t.ha⁻¹.año⁻¹, según los tipos de suelo, su profundidad y propiedades físicas. En general se ha venido admitiendo que una pérdida de 12.5 t.ha⁻¹.año⁻¹ es el máximo aceptable para suelos bastante profundos, permeables y bien drenados, mientras que tasas de erosión de 2 a 4 t.ha⁻¹.año⁻¹ han sido también consideradas como admisibles para suelos con un subsuelo desfavorable y que presenten escasa profundidad. En el caso de la cuenca del río Moulouya se podría situar una tolerancia a pérdidas de suelo de unas 4 - 8 t.ha⁻¹.año⁻¹ para las zonas más elevadas aguas arriba de la presa Mohamed V, incrementándose hasta 10 t.ha⁻¹.año⁻¹ a lo largo de las llanuras fluviales. Estos valores límite han

resultado ligeramente superados, en términos de tasa media de erosión, según los resultados del presente trabajo.

Por último, la capacidad de embalse de la presa Mohamed V ha pasado de 726 Mm³, en la fase inicial, a 331 Mm³, lo que representa una reducción del 46 %. Según las estimaciones del Plan Nacional de Ordenación de las Cuencas Vertientes de 1994 (Plan National d'Aménagement des Bassins Versants) (Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, 1994), la capacidad útil de esta presa sería prácticamente nula en 2020 y la colmatación sería completa en 2030, es decir, 64 años después de su puesta en marcha (Ouazar, 2010). Este escenario obliga a tomar en consideración la aplicación de medidas de conservación de suelos que reduzcan significativamente el actual aporte de sedimentos al embalse.

4. CONCLUSIONES

Con el fin de estimar la erosión hídrica potencial de la cuenca vertiente del río Moulouya aguas arriba del embalse Mohamed V, muy relacionada con su degradación ambiental y productiva, se ha empleado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) como modelo sencillo de fácil aplicación en zonas donde escasean datos de campo disponibles para la aplicación de modelos más complejos. La estimación de la erosión hídrica en t.ha⁻¹ permite determinar con gran exactitud el horizonte de vida útil de embalses aguas abajo, en este caso la presa Mohamed V que constituye una infraestructura vital para la supervivencia y sostenibilidad del sistema agrícola compuesto por los productivos perímetros irrigados de Triffa, Zebra, Garet y Bou Areg situados en el Bajo Moulouya.

A través de la integración, mediante un Sistema de Información Geográfica, de las variables o geodatos que soportan el modelo USLE podemos llegar a delimitar espacialmente y de forma eficiente cuáles son las zonas más sensibles a la erosión y, por lo tanto, establecer medidas preventivas a nivel local y de forma muy precisa que limiten la pérdida de suelo en dichas áreas.

La evaluación del aporte de sedimentos procedentes de erosión hídrica a la presa Mohamed V ha sido contrastada con los datos aportados por la ORVAM y diferentes estudios realizados para la zona de Marruecos, llegando a la conclusión de que la tasa de desplazamiento de sedimentos hasta el embalse de 225 t.km⁻².año⁻¹ obtenida en este trabajo es una estimación razonable que puede emplearse como valor de referencia para futuros estudios.

Como posible línea de actuación se plantea un estudio más exhaustivo del aporte de sedimento producido por la erosión hacia la presa Mohamed V a través de la aplicación de modelos más sofisticados que integran pérdida de suelo y distribución espacial de tasas de deposición de sedimentos como el modelo waTEM/SEDEM (Van Rompaey, Verstraeten, Van Oost, Govers y Poesen, 2001). En cualquier caso, la aplicación de este tipo de modelos requeriría una mayor cantidad y calidad de datos de campo.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este artículo ha sido cofinanciado y desarrollado en el marco del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores POCTEFEX 2008-2013 (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER) a través del proyecto de referencia 0065_COPTRUST_3_E denominado «Optimización de flujos productivos entre ámbitos territoriales ribereños mediante el aprovechamiento de sus complementariedades económicas».

REFERENCIAS

- Arnoldus, H. M. J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, 34, 39-51.
- Ashigbor, G., Forkuo, E. K., Laari, P., y Aabeyir, R. (2013). Modeling soil erosion using rusle and Gis tools. *International Journal of Remote Sensing y Geoscience (IJRSG)*, 2(4), 7-17.
- Cavallar, W. (1950). Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc. Recuperado de http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/africa/lists/k10_cma.htm
- Celik I., Aydin M., y Yazici U. (1996). A review of the erosion control studies during the republic period in Turkey. En S. Kapur, E. Akça, H. Eswaran, G. Kelling, Vita-Finzi, A-R. Mermut, A-D. Ocal (Ed.), 1st International Conference on land degradation, Adana, Turkey, 10-14 June 1996, (pp. 175-180). Adana, Turkey: International Working Group on Land Degradation and Desertification (IWGLDD-ISSS).
- Chen, Y. (2007). Using GIS for calculating soil erosion in Toutunhe River Bassin or arid Xin-Jian. En J. M. Lafften, J. Tian, C. H. Huang, (Eds): *Soil erosion and dry land farming* (pp. 359-379). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Chevalier, J. J., Pouliot J., Thomson K., y Boussema, M. R. (1995). *Systèmes d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Systèmes d'information géographique utilisant les données de télédétection. Actes du colloque scientifique international*, 4-12.
- De Vente, J. (2007). The sediment delivery problem revisited. *Progress in Physical Geography*, 31(2), 155-178. doi: 10.1177/0309133307076485
- Desmet, P. J. J., y Govers, G. (1996). A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor On Topographically Complex Landscapes Units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427-433.
- Desmet, P.J.J. (1997). Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 563-580.
- El Aroussi, O., Mesrar, L., El Garouani, A., Lahrach, A., Beaabidate, L., Akdim, B., y Jabrane, R. (2011). Predicting the potencial annual soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in the Oued El Maleh catchment (Prerif, Morroco). *Present Environment y Sustainable Development*, 5(2), 5-15.
- FAO. (1986). *La conservation et l'aménagement des sols dans les pays en développement. Bulletin pédologique de la FAO n° 33*. Rome, Italy: FAO.
- FAO. (1990). *Guidelines for soil description*. Tercera Edición. Rome, Italy: FAO.
- Gruber, S., y Peckham, S. D. (2008). Land-surface parameters and objects specific to hydrology. In T. Heng y H. I. Reuter (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software and Applications. Developments in Soil Science*, 33, 127-142.
- Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification. (1996). *Plan National d'Aménagement des Bassins Versants. Résumé et conclusions du rapport de synthèse*. Recuperado de http://www.eauxetforets.gov.ma/admin/telechargement/fr/synth%C3%A8se_PNABV.pdf
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25, 1965-1978.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. An assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Chang: IPCC's Fourth Assessment Report (AR4)*. IPCC Plenary XXVII, Valencia, Spain. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf
- Irvem, A., Topaloglu, F., y Uygur, V. (2007). Estimating spatial sistribution of soil loss over Seyhan river basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336, 30-37.
- ISRIC World Soil Information. (2014). *SoildGrids1km*.

- Recuperado de <http://soilgrids1km.isric.org>
- Lane, E. W., y Koelzer, V. A. (1943). Density of sediments deposited in reservoirs, report 9 of a study of methods used in measurement and analysis of sediment loads in streams, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, St. Paul, Minnesota, U.S.: Project Offices of Cooperating Agencies.
- Lahlou, A. (1996). Environmental and socio-economic impacts of erosion and sedimentation in North of Africa. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, 263, 491-500.
- Laouina A., Nafaa R., Coelho C., Chaker M., Carvalho T., Boulet AN., y Ferreira A. (2000). Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. *Bulletin du réseau erosion*, 20, 256-274.
- Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., y Daroussin J. (2002). L'érosion hydrique des sols en France. Centre de recherche d'Orléans, Olivet, France : INRA, IFEN.
- Le ministère Délégué Auprès du Ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement, Chargé de l'eau. (2014.) Recuperado de www.water.gov.ma
- METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, y USGS/EROS. (2009). ASTER Global DEM Validation Summary. Recuperado de https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/aster/docs/ASTER_GDEM_Validation_Summary_Report.pdf
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Recuperado de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. (1994). Plan national d'aménagement des bassins versants. Phase II, Volume 2. Rabat, Marruecos : Agro Concept.
- Morsli B., Habi M., Mazour M., Hamoudi A., y Halitim A. (2012). Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1, 33-40.
- Ouazar, D. y Tayaa, M. (2010). Morocco economic competitiveness: Analyse et identification des besoins pour des systèmes d'information et de gestion des ressources en eau pour l'agence du bassin hydraulique et de l'ORMVA Bassin Hydraulique de la Moulouya et d'Oum Er-rbia. Rabat, Maroc : United States Agency for International Développement et DAI/Maroc.
- Payet, E., Dumas, P., y Pennober, G. (2011). Modélisation de l'érosion hydrique des sols su un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *Vertigo- La revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(3), 1-26.
- Römkens, M.J.M. (1985). The soil erodibility factor: a perspective. En S.A., El-Swaify, W.C., Moldenhauer, A., Lo, (Ed.), *Soil Erosion and Conservation* (pp. 445-461). Ankeny, Iowa, EE.UU: Soil Conservation Society of America.
- Roose E., y Sarrailh J.M. (1990). Erodibilité de quelques sols tropicaux, vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers de l'ORTOM, Serie Pedologique*, 25(1), 7-30.
- Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. *Bulletin pédologique de la FAO 70*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f00.htm>
- Sadiki, A., Bouhlassa, S., Auajjar, J., Faleh, A., y Macaire, J.J. (2004). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc): cas du bassin versant de l'oued Boussouab. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 26, 69-79.
- Soutter M., Mermoud A., y Musy A. (2007). Ingénierie des eaux et du sol Processus et aménagements. Lausanne, Suiza : Presse polytechniques et universitaires romandes.
- Van Rompaey, A., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G., y Poesen, J. (2001). Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1221-1236.
- Wischmeier, W. H., y Mannering, J. V. (1969). Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America*, 33(1), 131-137. doi:10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x
- Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook, n° .537, Department of Agriculture Science and Education administration, Washington, USA: U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- World Bank and Government of Morocco (2008). Study on the impact of climate change on the agricultural sector. WB/Morocco/FAO Climate Change Study, 105 p. http://www.fao.org/nr/climpag/pub/FAO_WorldBank_Study_CC_Morocco_2008.pdf
- WorldClim - Global Climate Data. (2014). Free climate data for ecological modelling and GIS. Recuperado de <http://www.worldclim.org/tiles.php>
- Zervenbergn, L. W., y Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth surface processed and landforms*, 12, 47-56.

Sobre los autores

María del Mar Saldaña Díaz

Recibió el grado de Doctor en Tecnología de Invernaderos e Ingeniería Industrial y Ambiental por la Universidad de Almería en el año 2013. Comenzó su actividad investigadora en 2010, trabajando con imágenes de satélite de alta resolución como GeoEye-1 y WorldView-2, participando posteriormente en el proyecto del plan nacional «Generación de datos georreferenciados de muy alta resolución a partir imágenes de los satélites GeoEye-1 y WorldView-2». Actualmente es PDI en la Universidad de Almería en el departamento de Ingeniería formando parte del equipo de trabajo del proyecto 0065_COPTRUST_3_E denominado «Optimización de flujos productivos entre ámbitos territoriales ribereños mediante el aprovechamiento de sus complementariedades económicas» dentro del marco del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores POCTEFEX 2008-2013 (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER). Sus áreas de interés están relacionadas con teledetección, sistemas de información geográfica e imágenes de satélite de muy alta resolución.

Abderrahim Nemmaoui

Recibió su grado de Doctor por la Universidad de Almería, España, en el año 2011. Actualmente es PDI en la Universidad de Almería en el Departamento de Ingeniería y coordinador del proyecto 0065_COPTRUST_3_E denominado «Optimización de flujos productivos entre ámbitos territoriales ribereños mediante el aprovechamiento de sus complementariedades económicas» dentro del marco del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores POCTEFEX 2008-2013 (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER). Sus áreas de interés están relacionadas con la ordenación del territorio, teledetección y sistemas de información geográfica.

María Yolanda Cantón Castilla

Profesora Titular del Departamento de Agronomía de la Universidad de Almería. Inició su carrera investigadora en la Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC), dentro del grupo de investigación de Desertificación y Geoecología, donde desarrolló su tesis doctoral. En esa etapa inicial los principales intereses científicos estaban relacionados con las relaciones interactivas entre procesos geomorfológicos, evolución del suelo y vegetación en ecosistemas áridos y semiáridos, y su respuesta al cambio climático. Desde esa primera etapa, abordó los procesos con una perspectiva multiescalar, para lo cual se inició en las herramientas SIG y Teledetección que desde entonces aplica en su investigación y que son el centro de su docencia. Desde hace unos

pocos años, su investigación se ha centrado en el papel de las biocostras en los ecosistemas áridos y semiáridos, concretamente en los efectos de las biocostras en los balances de agua y carbono a diferentes escalas espaciales. Sus principales intereses investigadores son: i) el análisis de los balances de agua y carbono a diferentes resoluciones espaciales y temporales en ecosistemas semiáridos; ii) la evaluación y seguimiento de la degradación de suelos, enfocada principalmente en la erosión hídrica y recientemente; iii) la restauración ecológica.

Manuel Ángel Aguilar Torres

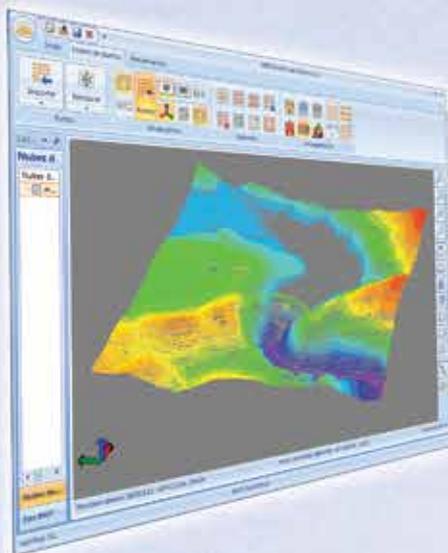
Recibió los grados de Ingeniero Agrónomo y Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Córdoba, España, en 1996 y 2001 respectivamente. En 1999 comenzó su andadura como profesor de Expresión Gráfica en la Ingeniería, tras dos años en la empresa privada. Actualmente es profesor Titular de Universidad en la Universidad de Almería y pertenece al departamento de Ingeniería. En los últimos años ha liderado dos proyectos de investigación trabajando con imágenes de satélite de alta resolución (IKONOS, QuickBird, GeoEye-1 and WorldView-2). Sus áreas de interés están relacionadas con la orientación y ortorectificación de imágenes de satélites VHR, modelos digitales de elevaciones, teledetección y fotogrametría digital. Es autor de numerosas publicaciones internacionales JCR (Science Citation Index) principalmente en las categorías de Remote Sensing y Agriculture Multidisciplinary, Imaging Science & Photographic Technology y Geosciences Multidisciplinary.

Fernando José Aguilar Torres

Recibió su grado de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Córdoba, España, en el año 1997. Actualmente es Catedrático de la Universidad de Almería en el Departamento de Ingeniería y responsable del grupo de investigación «Gestión Integrada del Territorio y Tecnologías de la Información Espacial», liderando el proyecto 0065_COPTRUST_3_E denominado «Optimización de flujos productivos entre ámbitos territoriales ribereños mediante el aprovechamiento de sus complementariedades económicas» dentro del marco del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores POCTEFEX 2008-2013 (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER). Sus áreas de interés están relacionadas con los modelos digitales de elevaciones, teledetección, fotogrametría digital y sistemas de información geográfica. Es autor de numerosas publicaciones internacionales, siendo además revisor habitual de varias revistas indexadas (JCR Science Citation Index) especializadas en las disciplinas comentadas anteriormente.



TcpMDT PointCloud



Extensión de MDT para explotación de Nubes de Puntos

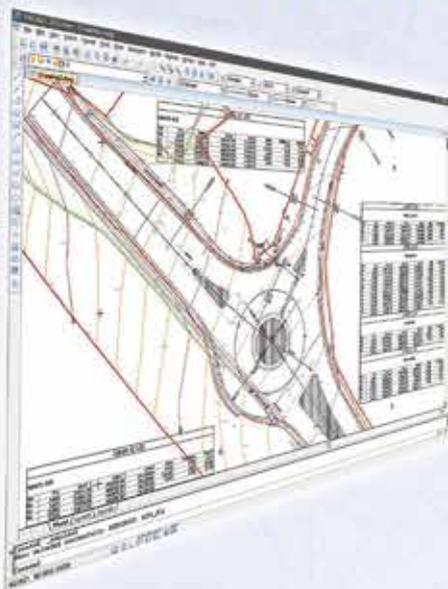
Aplicación integrada en TcpMDT que permite la visualización y explotación de nubes de puntos capturadas con tecnología LiDAR o escáners convencionales.

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



Evolución del factor uso del suelo como fijador del carbono en el municipio de Almonte, Huelva (España)

Geographic and quantitative changes of land use factor as a carbon crown in the town of Almonte, Huelva (Spain)

Fabián Romero Pichardo

REVISTA **MAPPING**
Vol. 23, 168, 18-26
noviembre-diciembre 2014
ISSN: 1131-9100

Resumen

El municipio de Almonte, con un porcentaje muy elevado de su término afectado por la protección inducida por el Espacio Natural de Doñana es un caso muy paradigmático de la puesta en valor del factor ambiental como elemento de desarrollo. Asimismo la cuantificación del carbono fijado por la vegetación puede ser un indicador eficaz para la evaluación de este compromiso ambiental del municipio onubense sobre todo en el periodo comprendido en la última década del siglo pasado y la primera del presente, dominado por tendencias económicas y sociales generales mucho más desarrollistas y potencialmente transformadoras y destructoras del medio natural.

Abstract

The town of Almonte, with a very high percentage of affected term protection induced by Doñana Natural Area is a paradigm case of environmental enhancement as a development factor. Also quantification of the carbon fixed by vegetation can be an effective indicator for the evaluation of this environmental commitment of the Huelva town, especially in the period in the last decade of the last century and the first of this, dominated by general economic and social trends much more developmental and potentially transformative and destructive of the natural environment.

Palabras clave: sumidero de carbono, SIG, usos del suelo, CORINE Land Cover, Doñana.

Keywords: carbon sink, GIS, land uses, CORINE Land Cover, Doñana.

Máster en Sistema de Información Geográfica. Planificación,
Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.
Universidad de Sevilla
fabian.romero@aytoalmonte.es

Recepción 26/04/2013
Aprobación 17/10/2014

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales características del clima en nuestro planeta es la equilibrada alternancia temporal entre periodos cálidos y fríos, estando su temporalidad suficientemente documentada. Esta sucesión climática se produce de una manera natural, o al menos ha sido así hasta que la acción del hombre, de la mano del desarrollo económico y la evolución tecnológica ha influido de manera decisiva en la alteración de ese equilibrio natural.

El Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) es una agencia creada en el seno de las Naciones Unidas ante la toma de conciencia del problema que la actividad humana estaba provocando en cuanto a la emisión incontrolada de gases. La función de este organismo es el estudio de la cuestión y la emisión de una serie de informes periódicos en los que se reflexiona y advierte sobre la evolución del problema. A partir del segundo de los informes emitidos por el IPCC (1995) dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se crea un instrumento internacional, el Protocolo de Kyoto, consistente en un acuerdo vinculante que tiene como objetivo la reducción de las emisiones de seis de los gases que producen el calentamiento global y que han recibido desde ese momento el nombre de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono-CO₂, gas metano-CH₄, óxido nitroso-N₂O, hidrofluorocarbonos-HFC, perfluorocarbonos-PFC y hexafluoruro de azufre-SF₆). El Protocolo de Kioto fue adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, aunque no entró en vigor hasta febrero de 2005.

El Protocolo de Kyoto es el instrumento internacional, consistente en un acuerdo vinculante, que tiene como objetivo la reducción de las emisiones de seis de los gases que producen el calentamiento global y que han recibido desde ese momento el nombre de gases de efecto invernadero.

El Protocolo de Kioto reconoce el papel de los suelos y sus diferentes usos como sumideros de carbono, entendiéndose este concepto como el proceso mediante el que se extraen de la atmósfera gases y se almacenan en el suelo, la vegetación que los cubre y océanos.

En términos generales un sumidero de carbono es un sistema natural o artificial que absorbe carbono de la atmósfera contribuyendo a la reducción de su concentración en ese medio. Históricamente los principales sumideros de carbono han sido los procesos biológicos de producción de carbón y sus derivados, así como diferentes tipos de rocas como las calizas, si bien podemos decir que estos procesos son muy lentos, por lo que a una escala temporal más adaptada a la dinámica del problema en la actualidad los océanos y las cubiertas vegetales son los principales fijadores del carbono atmosférico. Los océanos actúan mediante la asimilación del carbono por parte del plancton, los cora-

les y los peces, cuantificándose que absorben sobre el 50% del carbono emitido a la atmósfera. En cuanto a las masas vegetales a través de la fotosíntesis se acumulan grandes cantidades de carbono en la madera y el resto de componentes de las plantas, absorbiéndolo en forma de CO₂ y devolviendo O₂ a la atmósfera. En casos de incendio o de grandes talas los bosques pueden pasar de sumideros a productores de CO₂.

En el estudio de la evolución de la concentración de gases de efecto invernadero y la cuantificación de la fijación de los mismos mediante los sumideros de carbono juegan un importante papel los SIG, en los que algoritmos y procesos analíticos así como herramientas de representación de resultados, sacan un gran partido de la información sobre usos del suelo y coberturas vegetales, cada vez más detallada, ajustada a escalas espaciales de ámbito local y con una frecuencia temporal mucho más operativa.

La Agencia Europea de Medio Ambiente, a través del programa Coordination on Information on the Environment - CORINE Land Cover (CLC) viene trabajando en el desarrollo de una base de datos alfanumérica y geográfica sobre los usos presentes en el territorio de la Unión Europea, mediante la interpretación de imágenes satelitales de las series SPOT y Landsat, si bien junto a la teledetección automatizada de esas fuentes juega un papel muy importante la fotointerpretación directa de las imágenes. El proyecto se inició en 1987 y en nuestro estudio consideraremos la información producida para los años 1990 y 2000. Aunque CORINE Land Cover finalizó ese año 2000 actualmente encuentra continuidad en el proyecto Image & CORINE Land Cover 2000 (I&CLC2000) cuyo objetivo es la actualización de la base de datos CLC.

El presente artículo pretende, a partir de todo lo indicado anteriormente, evaluar la evolución de los usos del suelo en el término municipal de Almonte y así cuantificar las cantidades de carbono fijado, identificando áreas geográficas representativas de la evolución observada en el periodo de referencia.

La reducción de los gases de efecto invernadero es desde la puesta de manifiesto de su trascendencia con el Protocolo de Kioto, un elemento fundamental en la política ambiental.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El Espacio Natural de Doñana es uno de los espacios naturales protegidos más importantes de Europa, representando ecosistemas que interactúan, conviven y se retroalimentan dentro de un equilibrio único. Este espacio natural se encuentra territorialmente repartido entre las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz, si bien el municipio onubense de

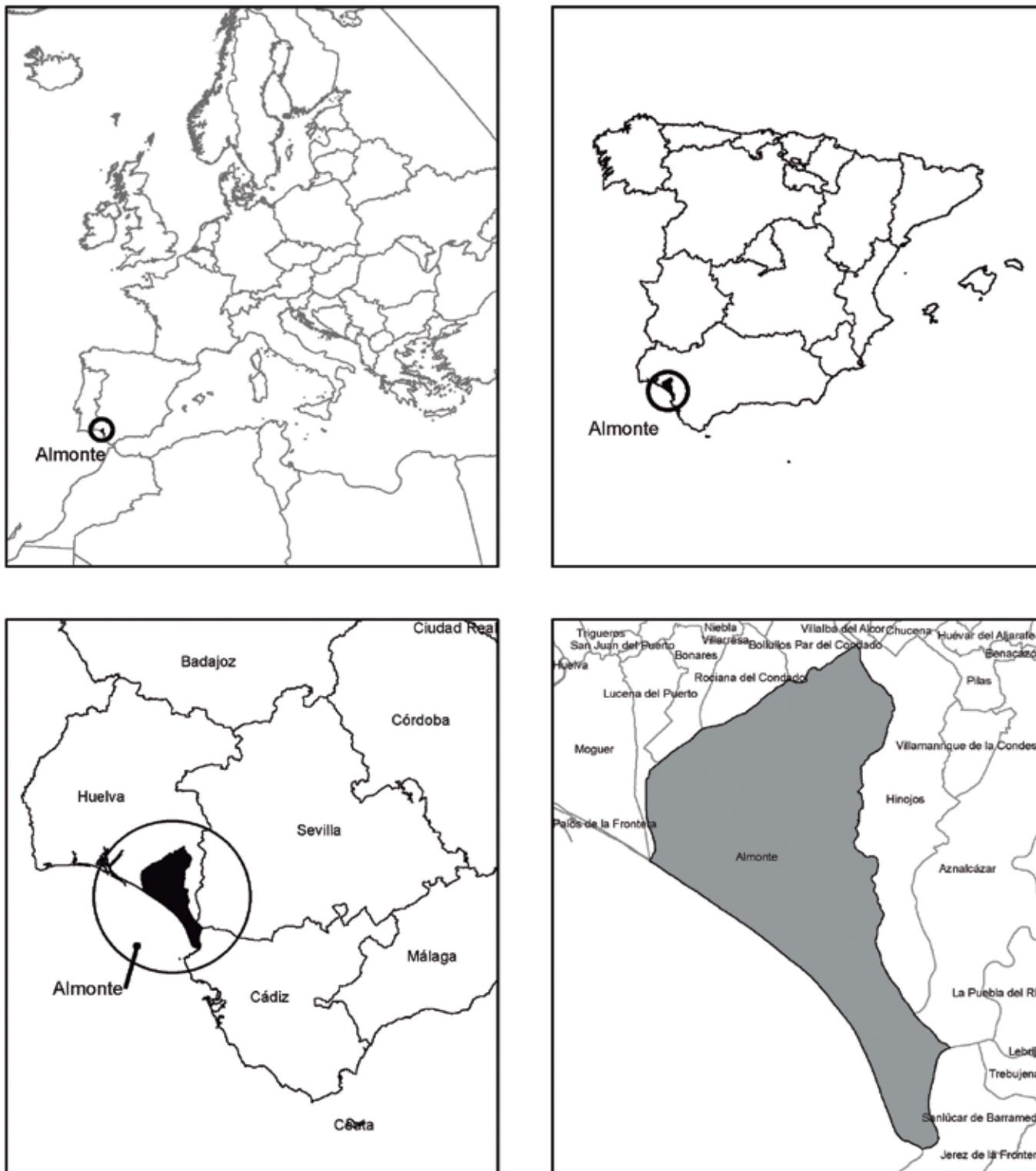


Figura 1. Área de estudio. Localización Almonte – Huelva (España). Fuente: Elaboración propia

Almonte (Figura 1) es el que acoge dentro de su territorio una mayoritaria parte del mismo, incluyéndose en él los elementos más representativos, valiosos y frágiles del conjunto del sistema. Por todo ello este municipio se acogió en la década de los 70-80 del siglo XX a iniciativas proteccionistas que directamente se confrontaban con el modelo desa-

rollista basado en el turismo de sol y playa que imperaba en el momento. Esta difícil decisión, sobre todo teniendo en cuenta que el municipio posee alrededor de 50 km de playas totalmente aptas para el desarrollo de la actividad desarrollista asociada a ese tipo de turismo de sol y playa, fue fuente de grandes conflictos económicos y sociales.

3. PERIODO DE REFERENCIA

La determinación del periodo de referencia ha sido una tarea condicionada ya que ha estado sujeta a la disponibilidad de datos para poder realizar nuestro análisis. Dado que los valores establecidos para cada tipo de suelo en función de la leyenda de CLC son valores fijos (Cruickshank et al, 2000) hemos tenido en cuenta los años para los que existe información de usos del suelo y coberturas vegetales, como son los años 1990 y 2000 procedentes de CLC mientras que I&CLC2000 proporciona la distribución de los usos para 2006.

4. MATERIALES, MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Los sumideros de carbono se cuantifican por la cantidad de carbono acumulado en cada sistema, expresándose en megatoneladas de carbono (MtC) y para su aplicación sobre los usos del suelo partiremos con las asignaciones obtenidas por Cruickshank et al (2000) según la clasificación a nivel 3 realizada para el proyecto CLC y la posterior adaptación para España recogida por el Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006), con lo que se obtiene una asignación definitiva de cantidades de carbono acumulada en cada tipo de uso que podemos observar en la Tabla 1.

En el informe del 2006 del OSE se establecen las siguientes equivalencias: i) a las marismas se les asigna la misma densidad que a las salinas y prados turboso; ii) arrozales y terrenos regados permanentemente tendrán la misma densidad que los cultivos anuales asociados con cultivos permanentes; iii) los viñedos tienen la misma densidad que los terrenos de labor en secano; iv) olivares y sistemas agroforestales tienen una densidad ligeramente inferior a la de los frutales; y v) la vegetación esclerófila tiene una densidad intermedia entre bosques de coníferas y material boscoso en transición

Por su parte el proyecto CORINE Land Cover tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la cobertura y uso del territorio mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie de satélites Landsat y SPOT. Aun así, y aunque se fundamenta en este tipo de imágenes de teledetección como fuente de datos, es en realidad un proyecto de fotointerpretación y no de clasificación automatizada. Su principal fin es facilitar la toma de decisiones en materia de política territorial dentro de la Unión Europea.

Su metodología es común para los países participantes, lo que permite evaluar los cambios en el territorio desde

que se inició el citado proyecto, allá por 1987. La unidad de mapeo mínima superficial es de 25 hectáreas, mientras que los elementos lineales recogidos son aquellos con una anchura de al menos 100 metros. Así mismo, la unidad de mapeo mínima para la capa resultante de cambios de cobertura y usos del suelo entre CORINE 1990 y CORINE 2000 es de 5 hectáreas.

La obtención de datos sobre usos del suelo se basa en una terminología básica que distingue entre superficies artificiales, superficies agrarias, zonas forestales y boscosas, humedales y masas de agua. Las superficies artificiales engloban las zonas urbanas, las zonas industriales y comerciales, las redes viarias y ferroviarias junto con los terrenos a ellas asociados y las zonas portuarias y aeropuertos, las zonas de extracción mineras, escombreras y vertederos y zonas en construcción y, por último, las zonas verdes urbanas y las instalaciones deportivas y recreativas.

Mediante los SIG relacionaremos la distribución de los diferentes tipos de suelos catalogados por los proyectos CLC e I&CLA2000 para el periodo de referencia considerado, con lo que obtendremos información sobre la cantidad de carbono acumulado para cada tipo de uso en cada año, comparando los valores para todo el periodo y con ello observar tanto las variaciones como la tendencias que se observan (Tabla 2).

Para la determinación de las cantidades de carbono acumulado utilizamos la siguiente expresión:

$$CA = \sum_{i=1}^n DC_i \times A_i^1$$

siendo:

CA la cantidad de carbono acumulada en el año medida en megatoneladas (Mt);

i el tipo de ocupación del suelo CLC e I&CLC2000 a nivel 3;

n el número de tipos de ocupaciones del suelo (para el caso del municipio de Almonte n=24);

DC_i la densidad de carbono para cada tipo de cobertura i medida en t*h⁻¹

A_i área ocupada por cada tipo de cobertura i medida en hectáreas (has)

La herramienta que utilizamos para el tratamiento, análisis y representación de la información será el software ARCGIS 10 DESKTOP comercializado por ESRI en su versión de evaluación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre 1990-2000 (Tabla 2) destaca un incremento de las superficies ocupadas por usos naturales como bosques de

CÓDIGO CLU (NIVEL 3)	USO	DENSIDAD DE CARBONO (t*h ⁻¹)
111	Tejido urbano continuo	0.0
112	Tejido urbano discontinuo	3.1
121	Zonas industriales o comerciales	0.0
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	0.0
123	Zonas portuarias	0.0
124	Aeropuertos	0.5
131	Zonas de extracción minera	0.0
132	Escombreras y vertederos	0.0
133	Zonas en construcción	0.0
141	Zonas verdes urbanas	0.9
142	Instalaciones deportivas y recreativas	6.8
211	Tierras de labor en secano	2.2
212	Terrenos regados permanentemente	3.2
213	Arrozales	0.0
221	Viñedos	2.2
222	Frutales	13.5
223	Olivares	10.0
231	Prados y praderas	0.9
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	3.2
242	Mosaico de cultivos	1.6
243	Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural y seminatural	2.0
244	Sistemas agroforestales	10.0
311	Bosques de frondosas	38.0
312	Bosques de coníferas	29.9
313	Bosque mixto	32.8
321	Pastizales naturales	1.5
322	Landas y matorrales mesófilos	2.0
323	Matorrales esclerófilos	22.2
324	Matorral boscoso de transición	14.5
331	Playas, dunas y arenales	1.5
332	Roquedo	0.0
333	Espacios con vegetación escasa	0.8
334	Zonas quemadas	0.0
335	Glaciares y nieves permanentes	0.0
411	Humedales y zonas pantanosas	1.5
412	Turberas y prados turbosos	2.0
421	Marismas	2.0
422	Salinas	2.0
423	Zonas llanas intermareales	0.0
511	Cursos de agua	0.0
512	Láminas de agua	0.0
521	Lagunas costeras	0.0
522	Estuarios	0.0

Tabla 1. Densidades de carbono (t*h⁻¹) por ocupación del suelo (nivel 3 CLC). Adaptación a España.

Fuente: Informe de Sostenibilidad de España 2006. Observatorio de la Sostenibilidad en España

coníferas o matorral boscoso de transición, lo que se traduce en un aumento anual en la retención de carbono de 0.052 MtC y 0.006 MtC respectivamente. En el punto totalmente opuesto tenemos los descensos marcados en la retención de los bosques de frondosas y matorrales esclerófilos, efecto este que se compensa con el anteriormente indicado para el crecimiento de los bosques de coníferas.

Con todo ello entre estas dos fechas vemos que la capacidad de retención de carbono pasa de las 1.577 MtC de 1990 a las 1.961 MtC de 2000, un incremento anual medio del 2.44%.

Geográficamente en la Figura 2 observamos como para ese periodo se registra una tendencia muy clara sobre todo en la zona más occidental del término municipal de Almonte, en el que la pérdida de capacidad de fijación de carbono se relaciona directamente con cambios en el modelo socioeconómicas en la zona, eliminándose el hasta ahora muy importante recurso económico como es el desarrollo

de masas frondosas (básicamente el eucaliptal) para pasar al predominio de tendencias más conservacionistas que buscan la desaparición de este cultivo consumidor de gran cantidad de agua (en este ámbito tan escaso de ella) y su sustitución por bosque mediterráneo tradicional. Por ello se calcula el abandono de más de 9 000 ha de frondosas que pasan a matorral de transición y por encima de 580 ha de bosques de frondosas que se sustituyen por prados y praderas. Igualmente se cambian 700 ha de matorrales esclerófilos por matorral boscoso de transición, 300 ha de bosque mixto a matorral boscoso de transición y 506 ha de matorral boscoso de transición a superficies de regadío.

Todo ello, si atendemos a la clasificación recogida en la Tabla 3, muestra una sucesión de usos a otro con menor capacidad de retención de carbono. Lo dicho anteriormente se nuestra en otras partes del área de estudio aunque de una forma más dispersa.

En el periodo 2000-2006, reflejo de una mayor estabili-

Ocupación del suelo (nivel 3 CLC)	Superficie de cada tipo de suelo			Carbono acumulado			
	1990	2000	2006	1990	2000	2006	
Bosques de coníferas	15 652.1	32 911.7	32 508.0	467 997.8	984 059.6	971 988.4	
Bosques de frondosas	14 525.2	5 764.8	5 144.3	551 958.6	219 064.1	195 483.3	
Matorrales esclerófilos	13 763.9	12 661.7	13 595.6	305 558.5	281 089.3	301 822.3	
Matorral boscoso de transición	10 594.7	21 285.2	24 637.6	153 623.1	308 635.9	357 245.1	
Mosaico de cultivos	6 167.3	10 423.4	10 481.1	9 867.6	16 677.4	16 769.8	
Playas, dunas y arenales	4 294.2	3 972.1	3 972.1	6 441.3	5 958.2	5 958.2	
Humedales y zonas pantanosas	4 143.1	27 858.0	27 858.0	6 214.7	41 787.0	41 787.0	
Tierras de labor en seco	3 752.2	3 291.0	3 149.4	8 254.8	7 240.3	6 928.7	
Pastizales naturales	3 191.6	6 036.3	2 583.4	4 787.5	9 054.5	3 875.1	
Láminas de agua	2 606.2	3 343.2	3 343.2	0.0	0.0	0.0	
Olivares	1 827.6	2 447.5	2 488.7	18 275.8	24 475.0	24 887.1	
Viñedos	957.6	4 884.2	4 884.2	2 106.7	10 745.2	10 745.2	
Terrenos regados permanentemente	798.1	1 931.6	2 204.5	2 554.0	6 181.1	7 054.5	
Bosque mixto	798.1	553.0	412.7	26 177.3	18 140.0	13 535.2	
Frutales	774.4	1 581.2	1 595.9	10 454.3	21 346.2	21 545.2	
Tejido urbano continuo	623.4	662.2	719.0	0.0	0.0	0.0	
Estuarios	575.1	2 346.4	2 346.4	0.0	0.0	0.0	
Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y seminatural	509.4	1 152.8	1 152.8	1 018.7	2 305.6	2 305.6	
Salinas	194.6	194.6	194.6	389.1	389.1	389.1	
Marismas	141.5	1 067.0	1 067.0	282.9	2 134.0	2 134.0	
Sistemas agroforestales	79.6	134.4	113.4	795.8	1 343.5	1 134.3	
Zonas en construcción	52.9	134.3	37.7	0.0	0.0	0.0	
Zonas industriales o comerciales	32.9	32.9	64.6	0.0	0.0	0.0	
Instalaciones deportivas y recreativas	25.3	112.7	112.7	171.8	766.1	766.1	
				TOTAL	1 576 930.3	1 961 392.0	1 986 354.1

Tabla 2. Distribución de superficies y cantidades de carbono acumulado (expresadas en toneladas) por uso de suelo y año en el área de estudio. Superficies medidas en hectáreas y carbono acumulado en toneladas. Fuente: Elaboración propia

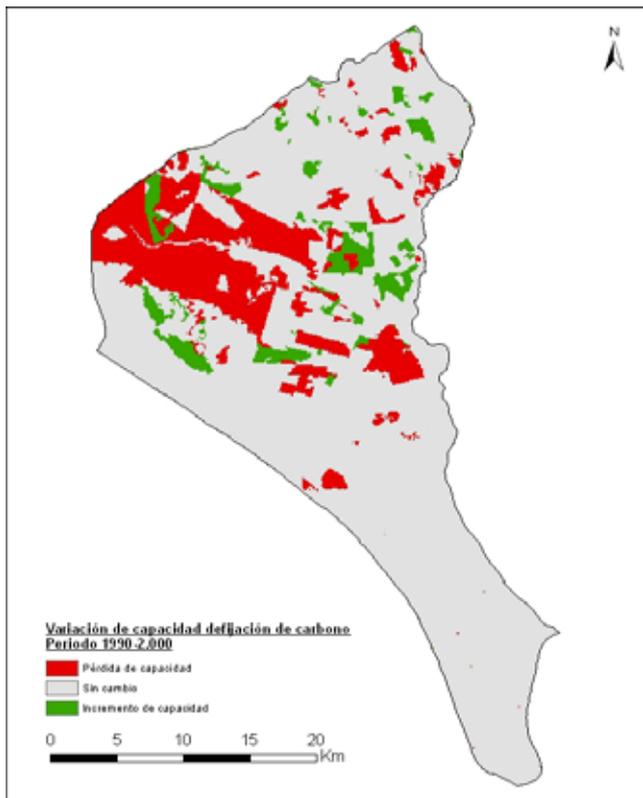


Figura 2. Variación de la capacidad de fijación de carbono. Periodo 1990-2000. Fuente: Elaboración propia

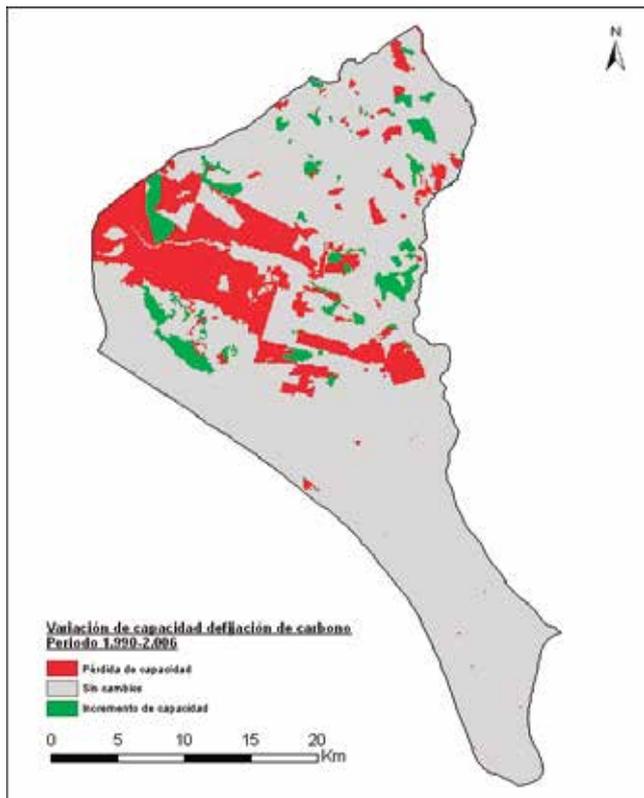


Figura 3. Variación de la capacidad de fijación de carbono. Periodo 2000-2006 Fuente: Elaboración propia

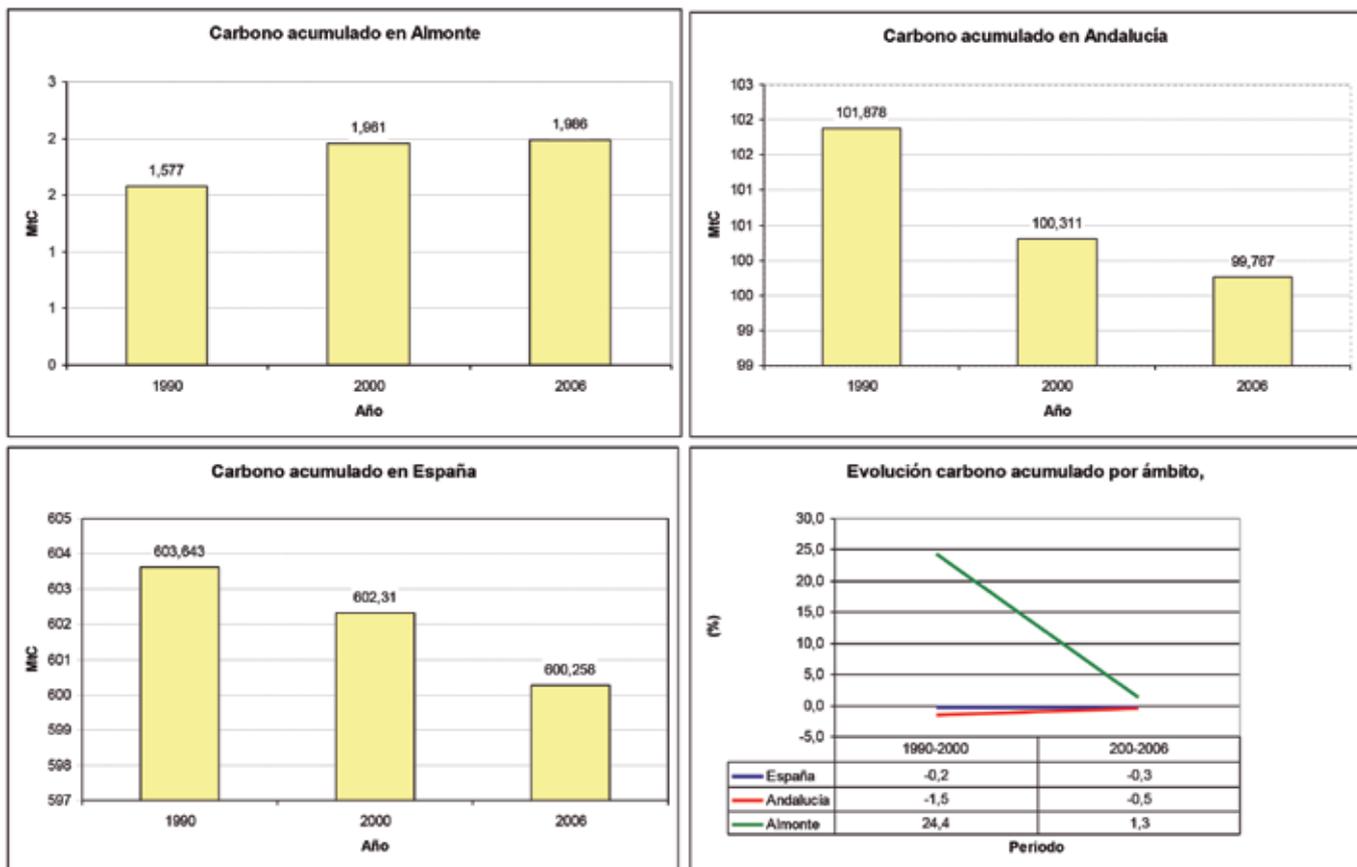


Figura 4. Evolución de la fijación de carbono (MtC) en tres ámbitos seleccionados. Incrementos entre periodos (%). Fuente: Elaboración propia

Cambio uso 1990-2000	Superficie (has)
De bosques de frondosas a matorral boscoso de transición	9.087.1
De matorral boscoso de transición a bosques de frondosas	744.0
De bosques de frondosas a matorrales esclerófilos	700.4
De matorrales esclerófilos a matorral boscoso de transición	700.4
De playas, dunas y arenales a matorral boscoso de transición	689.4
De bosques de frondosas a prados y praderas	581.8
De matorrales esclerófilos a terrenos regados permanentemente	506.6
De matorrales esclerófilos a pastizales naturales	435.9
De bosques de coníferas a matorral boscoso de transición	430.1
De pastizales naturales a bosques de frondosas	388.6
De pastizales naturales a terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	370.4
De matorral boscoso de transición a matorrales esclerófilos	344.0
De tierras de labor en seco a olivares	331.3
De bosque mixto a matorral boscoso de transición	303.6
De matorral boscoso de transición a bosques de coníferas	302.8
De bosques de coníferas a matorrales esclerófilos	241.7
De tierras de labor en seco a terrenos regados permanentemente	225.5
De mosaico de cultivos a frutales	219.5
De pastizales naturales a matorrales esclerófilos	218.5
De tierras de labor en seco a mosaico de cultivos	217.8
De matorrales esclerófilos a terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	201.8
De bosques de frondosas a terrenos regados permanentemente	185.3
De pastizales naturales a terrenos regados permanentemente	165.8
De bosques de frondosas a mosaico de cultivos	161.1
De tierras de labor en seco a frutales	137.7
De matorral boscoso de transición a zonas quemadas	116.7
Otros	1 826.5

Tabla 3. Cambios de usos registrados en el periodo 1990 – 2000. Fuente: Elaboración Propia

dad en la extensión de cada uso y una escasa alternancia entre ellos, se aprecia una menor variación en la capacidad de retención de carbono, calculándose para el total del periodo un aumento de 0.025 MtC, lo cual nos da un incremento de solo del 1.27% que supone una subida del 0.21% anual.

En distribución espacial y de la mano de lo indicado para el periodo anterior se aprecia una concentración de las variaciones en la capacidad de fijación del carbono en la zona central del municipio, identificándose esta zona con el área en que se localizan las alternancias de usos, pero también de modelo socioeconómico ya expuesto (Figura 3). Las variaciones reflejan mayoritariamente, en este sentido, un incremento de la capacidad de fijación.

Es una zona meramente de uso forestal o natural en sus diferentes ocupaciones mientras que al norte se localizan los usos agrícolas, fundamentalmente tradicionales menos alternantes en el tiempo y por ello con menos capacidad de

variación; por su parte la zona sur es un ámbito protegido ambientalmente por lo que su capacidad de cambio es muy limitada.

6. CONCLUSIONES

Según la metodología aplicada para este estudio podemos extraer una doble conclusión de los resultados obtenidos; la principal se fundamenta en que la tendencia general del periodo de referencia es un aumento de la capacidad de retención de carbono en el término municipal de Almonte concentrada entre los años 1996 y 2000 pues entre el 2000 y el 2006 el incremento es mucho menos acentuado. Ello se fundamenta en la alternancia que se aprecia en las iniciativas de conservación para Doñana y su entorno en las que se apuesta por la sustitución de bosques de eucaliptos que

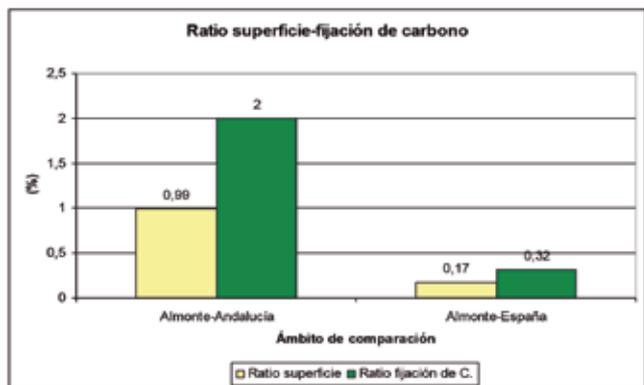


Figura 5. Ratio comparado (en %) de la superficie y la capacidad de fijación de carbono del municipio de Almonte con respecto de los totales de Andalucía y España. Fuente: Elaboración propia

afectan al sistema hídrico del entorno por su alto consumo de agua, para ser sustituido por masa de coníferas o bosques mediterráneos tradicionales.

Esta tendencia detectada en nuestro ámbito de estudio, como podemos comprobar en la Figura 4, se separa bastante de lo que se aprecia en el total de Andalucía con caída de la capacidad de retención de carbono del 2.1%, o en el conjunto de España, con una disminución del 0.6%. En Almonte se estima un crecimiento del 27.6% entre 1990 y 2006 lo que supone un crecimiento medio anual del 1.72%. Igualmente si relacionamos capacidad de retención con extensión territorial (Figura 5) obtenemos un ratio muy significativo: dentro del conjunto de Andalucía el término municipal de Almonte ocupa un 0.99% su extensión total mientras que aporta un 2.00% del total de carbono retenido de la Comunidad. Si hacemos este mismo análisis para el territorio español vemos que la superficie del municipio almonteño supone un 0.17% de su superficie aportando el 0.32% de su capacidad de retención de carbono.

La segunda de estas conclusiones se basa en una concentración espacial de los cambios, los cuales se localizan en zonas del municipio no ocupadas por zonas agrícolas tradicionales al norte (tradicionalmente poco expuestas al cambio) ni afectadas por protección ambiental al sur (Espacio Natural de Doñana).

REFERENCIAS

- Camps, Arbostain, M., Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Edafología*, vol 11(1), pp 27-36.
- Cruickshank M.M., Thomlinson R. Y Trew S. (2000). Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. *Journal of Environmental Management* nº 58: 269-287.
- Fernández Núñez, M.; Borja Barrera, C. (2007). Análisis y

evolución de los usos del suelo en la cuenca del Partido durante las últimas décadas. La geografía en la frontera de los conocimientos. Sevilla. España. Asociación de Geógrafos Españoles. ,pp 1-9.

Guilherme Molin, P. (2006). Estimation of vegetation carbon stock in Portugal using land use/ land cover data. Universidad Nova-Universidad Jaume I_ Westälische Wilhhelms Universität Münster.

Observatorio de la sostenibilidad en España (OSE) (2006). Sostenibilidad en España 2006, pp 245-248.

Observatorio de la sostenibilidad en España (OSE). Cambios en la ocupación del suelo en España: Implicaciones para la sostenibilidad.

Pasalodos Tato, M., Almazán Riballo, E., Montero González, G., Díaz Balteiro, L. (2013). Evaluación de la captura de carbono por parte de los sistemas forestales. Comparación de dos metodologías. VI Congreso Forestal Español 2013.

Ru Guo, Quian Zhu, Xiaojing Cao, Zhongyuan Ren, Fengting Li, Mahesh Pradham. (2010). GIS -based carbon balance assessment and its application in Shanghai. Second International Synposium on Aqua Science, Water Resourdes and Low Carbon Energy. AIP Conf. Proc. 1251, pp 245-250.

Ruiz Benito, P., Gómez Aparicio, L., Benito Garzón, M y Zabala, M.A. (2012). Factores determinantes del secuestro de carbono en los bosques españoles: Desarrollo de herramientas de análisis y prospectiva. Primer Workshops sobre mitigación de emisión de gases de efecto invernadero provenientes del sector agroforestal.

Valera Lozano, A.; Añó Vidal, C.; Sánchez Díaz, J. (2011). Cambios en los usos y coberturas del suelo en el municipio de Elx (1956-2005). *Estudios Geográficos* Vol. LXXII, 271, pp 681-703.

Sobre el autor

Fabián Romero Pichardo

Licenciado Geografía-Historia (especialidad de Geografía) por la Universidad Hispalense, Sevilla. Máster en «Sistema de Información Geográfica. Planificación, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente» de la Universidad de Sevilla, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional y Lenguajes y Sistemas Informáticos. Ha centrado su docencia en los Sistemas de Información Geográfica

Actualmente desarrolla su trabajo como Técnico de Sistemas de Información Geográfica y Ordenación del Territorio en el Ayuntamiento de Almonte, Huelva.



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

Determinación de coordenadas iniciales para estaciones GNSS de la red permanente REMOS ampliada en Venezuela – Época 2014.3

Determination of initial coordinates for GNSS stations of REMOS extended permanent network in Venezuela – Epoch 2014.3

Gustavo Acuña¹, Freddy Balcázar², Napoleón Hernández², Ruber Álvarez², Giovanni Royero¹, Manure Barrios¹, Samuel Rincón¹, María Ocando¹

REVISTA **MAPPING**
Vol. 23, 168, 28-40
noviembre-diciembre 2014
ISSN: 1131-9100

Resumen

El trabajo describe el procesamiento y análisis científico de los datos registrados, durante la semana GPS 1790, por 19 estaciones GNSS de la red permanente de monitoreo satelital –REMOS– de Venezuela. La finalidad del procesamiento GPS ha sido generar un conjunto de coordenadas precisas y actualizadas para esa red nacional, referidas al aún vigente ITRF2008(IGb08). Los cálculos, llevados a cabo en conjunto por el LGFS-LUZ y el IGVSb, servirán para definir la solución época-cero para la reciente configuración (Mayo, 2014) de REMOS (época 2014.3). Pruebas de validación demostraron que las posiciones finales obtenidas para la mayoría de las estaciones REMOS analizadas en este trabajo, presentaron incertidumbres medias de $\pm 4\text{mm}$ en latitud, $\pm 3\text{mm}$ en longitud y $\pm 6\text{mm}$ en altura a un nivel de 95% de confiabilidad, cifras éstas compatibles con aquellas de la solución combinada semanal de la red continental SIRGAS-CON calculada por el principal centro de análisis asociado a SIRGAS, i.e., el IGS RNAAC SIR en el DGFI. Comparaciones en 3 estaciones comunes (no-fiduciales) entre las soluciones del LGFS-LUZ/IGVSb y DGFI indicaron además discrepancias medias de $\pm 2.2\text{mm}$, $\pm 3.7\text{mm}$ y $\pm 2.4\text{mm}$ en coordenadas X,Y,Z, respectivamente.

Abstract

The paper describes the scientific processing and data analysis of GPS observations registered by 19 stations of REMOS, the GNSS satellite permanent monitoring network in Venezuela, during the GPS week 1790. The purpose of the GPS processing has been to generate a set of precise and up-to-date coordinates for that national network, referred to the even active ITRF2008(IGb08). The computations, carried out jointly by the LGFS-LUZ and the IGVSb, will be good to define the zero-epoch solution for the recent configuration (May 2014) of REMOS (epoch 2014.3). Validation tests demonstrated that the final positions obtained for most of the REMOS stations analyzed in this work, presented mean uncertainties of $\pm 4\text{mm}$ in latitude, $\pm 3\text{mm}$ in longitude and $\pm 6\text{mm}$ in height at a level of 95% of reliability; these values are compatible with those of the combined weekly solution of the continental network SIRGAS-CON calculated by the main analysis center associated to SIRGAS, i.e., the IGS RNAAC SIR in the DGFI. Comparisons in 3 common stations (non-fiducial) between the solutions of the LGFS-LUZ/IGVSb and DGFI also indicated mean discrepancies of $\pm 2.2\text{mm}$, $\pm 3.7\text{mm}$ and $\pm 2.4\text{mm}$ in X,Y,Z coordinates, respectively.

Palabras clave: GPS, GNSS, IGS, SIRGAS, REMOS, REGVEN, IGVSb, LGFS-LUZ.

Keywords: GPS, GNSS, IGS, SIRGAS, REMOS, REGVEN, IGVSb, LGFS-LUZ.

⁽¹⁾ Laboratorio de Geodesia Física y Satelital
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.
Maracaibo, Venezuela
gacuna@fing.luz.edu.ve

⁽²⁾ Instituto Geográfico de Venezuela «Simón Bolívar».
Caracas, Venezuela
fbalcazar@igvsb.gob.ve

Recepción 30/09/2014
Aprobación 01/12/2014

1. INTRODUCCIÓN

Las siglas REMOS identifican en el país a la Red permanente de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS, establecida a partir del 2004 por el Instituto Geográfico de Venezuela «Simón Bolívar» (IGVSB), (Hernández y Balcázar, 2007), (Balcázar, 2014), (www.igvsb.gob.ve/remos.html).

REMOS fue planificada para dotar al país de un moderno marco geodésico de referencia activo (de alta precisión y permanentemente actualizado), compatible con redes similares a nivel global y continental (p.ej., las redes activas asociadas al IGS (igs.cbl.nasa.gov) y SIRGAS (www.sirgas.org), resp.), que facilite la óptima aplicación en el país del GNSS en labores geodésico-cartográficas, proyectos de ingeniería e investigación científica. La red fue diseñada en principio para comprender un total de 20 estaciones distribuidas nacionalmente en áreas terrestres e insulares del país (Hernández, 2005), con separaciones promedio de 100-150 km, ofreciendo a cualquier usuario servicio gratuito de almacenamiento y acceso a datos GNSS de referencia de doble frecuencia en modo estático, con diferentes intervalos de captura (1, 5, 15 y 30 segundos), además de la difusión de datos crudos de observación y de correcciones DGPS y RTK (Seeber, 2003) sobre internet vía protocolo NTRIP (igs.bkg.bund.de/ntrip/), ver Figura 1.

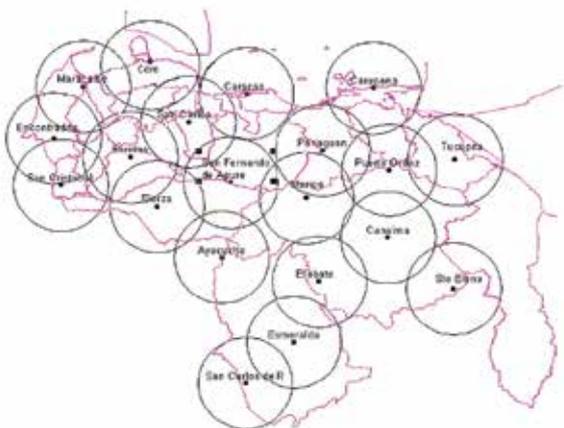


Figura 1. REMOS, Red permanente de Estaciones de Monitoreo Satelital de Venezuela, diseño original (Hernández, 2005), (Hernández y Balcázar, 2007)

Esta red nacional activa, compatible con la nacional pasiva REGVEN(95) (Hernández et al., 2000), ha venido desarrollándose desde 2004. Hasta la fecha, 3 fases de desarrollo han permitido su constante ampliación, en cuanto a cobertura nacional, número de estaciones e infraestructura de almacenamiento, distribución y procesamiento de observaciones registradas.

Durante la fase inicial de implementación en 2004 (Fase I), fueron instaladas en el país las primeras 4 estacio-

nes REMOS. Receptores y antenas geodésicas GPS de doble frecuencia TRIMBLE 5700 y choke ring TRM29659.00 (www.trimble.com) respectivamente, se colocaron en lugares permanentes en Caracas, San Fernando de Apure, San Félix y Barinas; ver Figura 2. En 2007 (Fase II), se instalaron 6 nuevas estaciones REMOS en Maracaibo, San Cristóbal, Coro, Cumaná, San Tomé y San Carlos. En esta fase, equipos GPS de doble frecuencia tipo servidor, modelo SOKKIA GSR2700_RS (www.sokkia.com) con antenas choke ring NovAtel ANT-533 (NOV533+CR NOV533) (www.novatel.com) fueron colocados, ver Figura 3.



Figura 2. Estación REMOS-Caracas, época 2004

Así, para finales de 2007 un total de 11 estaciones REMOS se encontraban operativas, pudiéndose incorporar aquellas con mayor tiempo de registro, calidad, estabilidad en sus observaciones y acceso permanente a sus datos (i.e., Maracaibo, Caracas, Barinas, San Cristóbal y Cumaná) a la red regional SIRGAS activa, SIRGAS-CON (www.sirgas.org). Esta incorporación permitió a tales estaciones formar parte de los esquemas diarios de procesamiento de los principales centros de análisis y combinación de datos asociados a SIRGAS (i.e., DGFI e IBGE) y estar incluidas en la generación de soluciones semanales y multianuales de ese marco de referencia geodésico activo regional, ver p.ej., la solución multianual SIR11P01 del IGS_RNAAC_SIR en el DGFI (www.dgfi.badw.de), (Sánchez y Seitz, 2011).



Figura 3. Estación REMOS-Maracaibo, época 2007

En 2011 (Fase III de REMOS), con la finalidad de corregir mediante la renovación de equipos problemas de funcionamiento de algunas de las estaciones hasta esa fecha operativas, e instalar estaciones nuevas, tipo GNSS, más modernas y con prestaciones

adicionales a las anteriores; el IGVSB adquiere para REMOS, 25 estaciones tipo servidor STONEX, de 220 canales, multifrecuencia (L1/L2+L2C/L5), multiconstelación (GPS, SBAS, GLONASS, GALILEO, COMPASS/BEIDOU), modelo RSNET4 (www.stonexpositioning.com), ver Figura 4, con antenas choke ring Harxon HXCGG486A+HXCS (www.harxon.com), y un servidor central con software STONEX Eagle Center/Net/Server para la administración, almacenamiento, procesamiento y difusión de datos crudos de observación y correcciones diferenciales DGPS y RTK usando protocolo NTRIP, además del modelaje de correcciones locales para minimizar errores espacialmente correlacionados dentro de la red (p.ej. retardos troposféricos e ionosféricos locales) y generación de datos virtuales de referencia bajo el concepto VRS (Petovello, 2011), ver Figura 5.

Desde 2011 hasta Mayo 2014 un total de 13 de las estaciones STONEX han sido instaladas en nuevas locaciones REMOS. Los lugares seleccionados incluyen Puerto Ayacucho, Mapipe, Guasdalito, Barinas, Canaima, Santa Elena, Valencia, Caracas, Valle de La Pascua, Mérida, Carúpano, San Carlos y Turmero, ver Figura 6. Otras estaciones STO-



Figura 4. Equipo STONEX RSNET4 (www.stonexpositioning.com) utilizado en las estaciones REMOS (2014.3)

Figura 5. Estación REMOS-Santa Elena, época 2014



NEX han sido empleadas para sustituir anteriores equipos por fallas de funcionamiento y/o actualización instrumental.

En síntesis, y tal como se aprecia en la Figura 6, a REMOS la integran para el mes de Mayo de 2014 un total de 20 estaciones operativas (17 tipo STONEX RSNET4 y 3 tipo SOKKIA GSR2700_RS), estando en proceso la instalación de 8 estaciones adicionales, en especial aquellas que darán cobertura GNSS de referencia a regiones distantes y de difícil acceso del país como la amazonia venezolana (en La Esmeralda) y el límite norte del Caribe venezolano (en Isla de Aves), ver Figura 6.

Precisamente, tal reciente configuración de REMOS es a la que denominamos en este trabajo como REMOS ampliada, época 2014.3.

A continuación, el proceso de estimación que proporcionó las coordenadas geodésicas iniciales de las estaciones que componen la red, es descrito. Esas posiciones serán utilizadas a partir de ahora por el IGVSB como referencia, especialmente, para su difusión en los servicios de corrección diferencial GNSS que ofrece REMOS vía NTRIP, hasta tanto el instituto produzca la actualización del datum nacional SIRGAS-REGVEN (Hernández, 2003), (Mugnier, 2000) y de sus redes asociadas; esto posiblemente sea el próximo año cuando se haya realizado la remediación de la red nacional pasiva REGVEN y esté disponible, y plena-

Figura 6. REMOS, Red permanente de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS de Venezuela, época: Mayo, 2014 (en azul: estaciones operativas; en rojo: en proceso de activación; en amarillo: por instalar) (Balcázar, 2014)



mente adoptada por el IGS y SIRGAS, la nueva versión del marco global de referencia terrestre del IERS, el ITRF2013 (itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2013/).

2. DATOS Y MÉTODOS

2.1. Datos GNSS

Observaciones de códigos y fases portadoras de doble frecuencia GPS/GLONASS, registradas por 19 estaciones REMOS, dadas en forma de archivos diarios tipo RINEX (Gurtner y Estey, 2007), de 24 horas, con tasa de captura de 30s y correspondientes a la semana GPS 1790 (7 días de datos, entre el 27.04.2014 y el 03.05.2014, en su mayoría, ver Tabla 1), fueron suministradas por el IGVSB al LGFS-LUZ para la estimación de las posiciones precisas de REMOS(2014.3), referidas en principio, al ITRF2008, época 2014.3288, elipsoide GRS80.

Observaciones similares para el mismo periodo, correspondientes a 5 estaciones IGS/SIRGAS cercanas en la región, fueron obtenidas del centro global de datos IGS en el CDDIS (Greenbelt, MD, USA; <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/>); esas estaciones serán consideradas como fiduciales (i.e., de referencia, fijas) en la estimación de las posiciones nuevas para las estaciones REMOS.

Productos precisos finales del IGS (órbitas y relojes para satélites GPS, parámetros de orientación terrestre EOPs, mapas ionosféricos globales, variaciones de centros de fase para antenas de receptores y satélites, entre otros datos) para la semana 1790, también fueron obtenidos del CDDIS para su empleo en el procesamiento de los datos.

Posiciones finales para las estaciones fiduciales IGS/SIRGAS, usadas aquí como referencia y en comparaciones durante la validación de resultados, fueron obtenidas de las soluciones semanales de las redes GNSS de seguimiento global del IGS y continental de SIRGAS (SIRGAS-CON, www.sirgas.org).

La Tabla 1 muestra algunas características y la disponibilidad diaria de los datos GPS utilizados en el trabajo.

2.2. Procesamiento GPS

Solo datos GPS fueron objeto de procesamiento en este trabajo. A tal efecto, durante una fase de previa de pre-procesamiento, los archivos RINEX de observación fueron editados eliminando datos GLONASS/SBAS y corrigiendo errores de formato, además de adecuar la información de la estación respectiva, i.e., nombre (ID) correcto de la estación, tipo de receptor y antena (según códigos internacionales IGS), y altura de antena

vertical referida al ARP (Antenna Reference Point). La mayor parte de la edición de los datos RINEX se realizó con el software TEQC de UNAVCO (www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html).

La fase de procesamiento y análisis formal de los datos GPS se desarrolló con el Bernese GPS Software v5.0 (Dach et al., 2007a), empleando técnicas basadas en la doble-diferenciación (DD) de observaciones de fase. Lo anterior implica la ejecución de una larga serie de actividades, a saber:

1. actualización de archivos generales del sistema de procesamiento Bernese 5.0;
2. definición de la campaña y sesiones a procesar;
3. cálculo GPS-PPP (Héroux y Kouba, 2001) para generación de coordenadas aproximadas de estaciones nuevas con LGFS-PPP_v2.3 (Acuña, 2010);
4. preparación de archivos iniciales con coordenadas aproximadas y nombres para estaciones, antenas y receptores según códigos IGS;
5. generación de archivo con efectos de carga por mareas oceánicas sobre las estaciones (en <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>);
6. generación de archivos con órbitas precisas tabuladas y estándar formato Bernese 5.0 a partir de órbitas finales IGS;
7. procesamiento de observaciones de código y sincronización del reloj de los receptores;
8. formación de líneas base y creación de archivos de simples-diferencias de fase;
9. pre-procesamiento de las simples-diferencias para la detección e identificación de saltos de ciclo;
10. estimación de parámetros finales – coordenadas de estaciones y retardos troposféricos, y sus errores, lo que supone:
11. eliminación de outliers mediante procesamiento iterativo de dobles-diferencias de fase y escaneo por altos residuales en las observaciones;
12. resolución de ambigüedades para líneas base;
13. estimación de soluciones diarias finales con ambigüedades fijas en frecuencia L3, fijando posiciones de estaciones fiduciales con acumulación de ecuaciones normales (valores diarios para coordenadas de estaciones nuevas, retardos troposféricos residuales y errores respectivos son almacenados en archivos de ecuaciones normales para su combinación final);
14. análisis de repetibilidad de las soluciones diarias;
15. combinación final de soluciones diarias y estimación de la solución definitiva para la red mediante ajuste secuencial por cuadrados mínimos;
16. creación de archivos con coordenadas finales y solución definitiva tipo SINEX (igs.cb.jpl.nasa.gov/)

ESTACIÓN (ID)	TIPO EST.	27.04 2014	28.04 2014	29.04 2014	30.04 2014	01.05 2014	02.05 2014	03.05 2014	TIPO RECEP.	TIPO Antena, Altura vertical
Maracaibo (MARA)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	SOKKIA GSR270 RS	NOV533+CR NOV 0.0780m ARP
Valencia (VALE)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Barquisimeto (BARQ)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Carúpano (CARU)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Trujillo (TRUJ)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Guasualito (GUAS)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Barinas (BARI)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Cumaná (CUM3)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	SOKKIA GSR270 RS	TRM29659.0 0.1000m ARP
Tucupita (TUCU)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Caracas (CRCS)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	SOKKIA GSR270 RS	TRM29659.0 0.0160m ARP
Valle La Pascua (LAPA)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	×	×	×	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
San Cristóbal (SCRI)	REMOS (VEN)	√	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
San Carlos (SCAR)	REMOS (VEN)	×	√	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Turnero (MCY1)	REMOS (VEN)	×	×	√	√	√	√	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Boca de Uchire (UCHI)	REMOS (VEN)	√	×	√	×	×	×	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Santa Bárbara (SBAZ)	REMOS (VEN)	√	×	√	×	×	×	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Mérida (MERI)	REMOS (VEN)	√	×	√	×	×	×	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Caicara del Orinoco (CAIC)	REMOS (VEN)	√	×	√	×	×	×	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Caracas2 (CCS1)	REMOS (VEN)	√	×	√	×	×	×	√	STONEX RSNET4	HXCGG486A+HXCS 0.0000m ARP
Bogotá (BOGT)	IGS/SIR (COL)	√	√	√	√	√	√	√	ASHTECH UZ-12	ASH701945E_M NONE 0.0610m ARP
Kourou (KOUR)	IGS/SIR (FRA)	√	√	√	√	√	√	√	SEPT POLARX4	SEPCHOKE_MC NONE 0.0950m ARP
St. Croix (CRO1)	IGS/SIR (USA)	√	√	√	√	√	√	√	ASHTECH UZ-12	ASH701945G_M NONE 0.0814m ARP
Sao Gabriel da Cachoeira (SAGA)	IGS/SIR (BRA)	√	√	√	√	×	×	√	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 NONE 0.0100m ARP
Boa Vista (BOAV)	IGS/SIR (BRA)	√	√	√	×	×	×	√	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 NONE 0.0080m ARP

√: datos disponibles; ×: datos no-disponibles.

Tabla 1. Características y disponibilidad diaria de los datos GPS utilizados

components/formats.html) para la campaña;

17. transformación de resultados ITRF2008(2014.3) a SIRGAS-REGVEN(95) (Hernández, 2003), i.e., ITRF94(1995.4).

Para más detalles sobre las etapas del procedimiento de cálculo y análisis de redes geodésicas basado en la DD con Bernese 5.0, ver (Dach et al., 2007b).

Otros aspectos importantes relacionados con las actividades del procesamiento de REMOS(2014.3), son los siguientes:

- a. las coordenadas (y sus errores) utilizadas para las estaciones fiduciales BOGT, CRO1, KOUR, SAGA y BOAV, corresponden a la solución semanal IGS IGS14P1790.SSC (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov>), referida a la semana GPS 1790, marco ITRF2008(IGb08), época media 2014.3288;
- b. en las soluciones diarias, las estaciones nuevas fueron vinculadas con cada una de las estaciones fiduciales mediante la formación de líneas base en configuración radial;
- c. relevantes modelos y/o estándares utilizados en el procesamiento GPS fueron: IGS08_1790.atx para correcciones por variaciones de centros de fase de antenas de satélites y estaciones terrestres; Saastamoinen como modelo troposférico a-priori con función de mapeo de Niell (para la estimación de las componentes seca y húmeda de retardos troposféricos residuales) (Dach et al., 2007a); productos precisos finales IGS para parámetros de orientación terrestre (EOPs), trayectorias de satélites GPS y estado de relojes satelitales; modelos IERS2010 (Petit y Luzum, 2010) y FES2004 (Lyard et al., 2006) para correcciones por desplazamientos en estaciones terrestres causados por mareas sólidas terrestres y oceánicas, resp.; coeficientes armónicos esféricos del modelo gravitacional terrestre EGM2008 (Pavlis et al., 2008) para modelaje orbital; GRS80 (Moritz, 2000) como modelo geodésico terrestre; ITRF2008 (itrf.ensg.ign.fr), con coordenadas y velocidades IGS08 (<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>) propagadas a la época media de las observaciones, como marco de referencia terrestre; VGM12 (Acuña, 2013) como modelo geoidal local para el cálculo de elevaciones en estaciones REMOS(2014.3); VEMOS2009 (Drewes y Heidbach, 2009) como modelo de velocidad para la propagación por época de coordenadas de estaciones sobre placas tectónicas en Suramérica; parámetros de transformación IERS (www.iers.org) tipo Helmert y sus velocidades (itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php) para el cambio de coordenadas entre soluciones ITRF;

- d. observaciones de fase procesadas con máscara de elevación de 10°, asignación de pesos a las observaciones según $1/\text{sen}(e)^2$ con e = elevación del satélite, y tasa de muestreo cada 30 segundos;
- e. observaciones de códigos utilizadas solo para la sincronización de los relojes de receptores;
- f. observable principal sujeto de procesamiento: dobles diferencias de fase en la combinación de frecuencias ionosfera-libre L3;
- g. remoción de outliers en observaciones de fase por escaneo secuencial de residuales ponderados;
- h. estrategia de solución de ambigüedades aplicada: QIF (Quasi-Ionosphere-Free) (Dach et al., 2007a), en modo secuencial línea por línea base, con uso de mapas ionosféricos globales como referencia para ayudar al proceso de estimación QIF;
- i. residuales para retardos cenitales troposféricos estimados diariamente por estación, en intervalos de cada 2 horas con 1 parámetro de gradiente horizontal troposférico estimado por sesión diaria de 24 horas;
- j. errores asignados en la fijación de coordenadas para estaciones fiduciales IGS/SIR: $\pm 1-2$ mm en posición y $\pm 2-4$ mm en altura.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados del procesamiento con Bernese 5.0

La Tabla 2 presenta las coordenadas definitivas para la red nacional ampliada de estaciones GNSS de monitoreo permanente REMOS(2014.3), tal como obtenidas del procesamiento GPS-DD-multisesión con Bernese 5.0 descrito en el ítem anterior.

Tal como se aprecia en la Tabla 2, los resultados del procesamiento GPS de REMOS(2014.3) fueron satisfactorios. En términos de sus errores asociados al 95% de confiabilidad, las estaciones REMOS cuya disponibilidad de datos comprendió la totalidad de la semana GPS 1790, presentaron incertidumbres medias de ± 4 mm en latitud, ± 3 mm en longitud y ± 6 mm en altura elipsoidal. Esto corresponde en Venezuela al orden A de precisión para locaciones GPS, similar al de las estaciones SIRGAS en el país que sirvieron como apoyo para el establecimiento de la red pasiva nacional REGVEN(95).

En aquellas estaciones REMOS(2014.3) donde solo fueron disponibles algunos días de datos GPS en la semana objeto del procesamiento (hasta 3 días con periodos de observación variables entre 9–18 horas), ver Tabla 1, las incertidumbres alcanzadas para sus posiciones fueron mayores. Esto era de esperarse por

ESTACIÓN	X [m]	Y [m]	Z [m]	LAT_N [gms] σ_{ϕ} [m]	LON_E [gms] σ_{λ} [m]	h [m] σ_h [m]
MARA	1976117.218	-5948895.099	1173592.348	10 40 26.3274 0.004	-71 37 27.9476 0.003	28.375 0.006
VALE	2350553.708	-5821195.901	1125521.913	10 13 52.7454 0.004	-68 00 41.4944 0.003	480.481 0.005
BARQ	2221110.957	-5875029.216	1108957.099	10 04 44.7900 0.004	-69 17 25.5194 0.003	528.649 0.006
CARU	2822108.980	-5597280.575	1173548.286	10 40 25.1794 0.004	-63 14 35.1029 0.003	-22.366 0.005
TRUJ	2103094.086	-5931304.981	1036910.195	09 25 06.3021 0.004	-70 28 36.3073 0.003	406.093 0.006
GUAS	2088595.453	-5973069.456	798883.117	07 14 36.9657 0.004	-70 43 36.7172 0.003	131.189 0.005
BARI	2132376.331	-5935471.337	948857.325	08 36 45.5496 0.004	-70 14 19.2348 0.003	204.995 0.005
CUM3	2730899.289	-5647885.958	1146938.737	10 25 44.0420 0.005	-64 11 42.1047 0.003	10.127 0.008
TUCU	2950362.306	-5565135.315	999090.735	09 04 21.4531 0.004	-62 04 10.7555 0.003	-27.689 0.006
CRCS	2459721.850	-5770508.867	1155112.133	10 30 09.1104 0.004	-66 54 48.6580 0.003	913.032 0.006
LAPA	2560746.409	-5752358.374	1014398.829	09 12 45.0092 0.004	-66 00 11.0292 0.003	184.785 0.006
SCRI	1932026.642	-6018122.302	859374.880	07 47 39.0292 0.004	-72 12 05.6254 0.003	1049.832 0.006
SCAR	2295596.419	-5854578.125	1062624.688	09 39 16.3217 0.004	-68 35 22.9767 0.003	156.583 0.006
MCY1	2405516.030	-5799288.107	1122358.820	10 12 08.2981 0.005	-67 28 17.6446 0.003	454.404 0.007
UCHI	2611187.057	-5710800.886	1113832.174	10 07 29.0647 0.008	-65 25 42.1940 0.005	-8.129 0.022
SBAZ	1955109.248	-5989454.282	988933.002	08 58 46.5520 0.007	-71 55 19.2316 0.004	-2.915 0.016
MERI	2036751.356	-5970780.599	946144.058	08 35 09.8558 0.006	-71 09 52.1137 0.004	1502.278 0.014
CAIC	2553227.834	-5783397.512	842377.063	07 38 25.2058 0.008	-66 10 46.9931 0.005	32.062 0.020
CCS1	2459723.602	-5770507.089	1155111.406	10 30 09.0928 0.006	-66 54 48.5821 0.004	911.966 0.015
BOGT	1744398.922 0.0004	-6116037.140 0.0008	512731.835 0.0003	04 38 24.2669	-74 04 51.3823	2576.352
KOUR	3839591.347 0.0005	-5059567.578 0.0006	579957.162 0.0002	05 15 07.8565	-52 48 21.4561	-25.764
CRO1	2607771.286 0.0004	-5488076.610 0.0007	1932767.905 0.0004	17 45 24.8376	-64 35 03.5478	-31.963
SAGA	2486243.726 0.0010	-5873685.315 0.0020	-15906.654 0.0006	-00 08 37.8705	-67 03 28.0132	94.869
BOAV	3117452.182 0.0008	-5555487.856 0.0012	314480.917 0.0004	02 50 42.6622	-60 42 04.0153	69.503

Nota: las coordenadas de las estaciones fiduciales BOGT, KOUR, CRO1, SAGA y BOAV (con sus errores) se muestran en la Tabla 2 como información adicional. Éstas no fueron estimadas en el proceso de cálculo explicado en [2.2]. Como ya se dijo, tales posiciones corresponden a la solución combinada final del IGS para la semana 1790 (i.e., IGS14P1790.SSC) siendo consideradas como fijas en la estimación de coordenadas para las restantes estaciones REMOS indicadas en la tabla.

Tabla 2. Coordenadas finales geométricas cartesianas y elipsoidales curvilíneas (con errores al 95% de confiabilidad) para estaciones REMOS (2014.3), marco de referencia ITRF2008 (IGb08), época 2014.3288, elipsoide GRS80

contar con un significativo menor número de observaciones para la solución combinada final en esas estaciones. Los valores medios obtenidos de tales casos se ubican en ± 7 mm en latitud, ± 5 mm en longitud y ± 17 mm en altura. De todas formas, en estos casos, tales cantidades se corresponden con el orden B de precisión para locaciones GPS en el país, nada despreciable y mostrándose consistente con la calidad de las estaciones que conforman la estructura principal del marco de referencia nacional REGVEN(95) (Hernández et al., 2000).

Considerando lo anterior, es posible señalar que en uno y otro caso, la calidad de las posiciones estimadas para las estaciones REMOS(2014.3) puede asumirse como suficiente para conformar la solución de época-cero de esa red activa, y por tanto, es también adecuada para que esas posiciones sean asignadas temporalmente como referencia (luego de su respectiva transformación al ITRF94(1995.4), marco y época del control geodésico actualmente vigente en Venezuela) para su utilización, p.ej., en la asignación a archivos

ESTACIÓN	RMS REPETIBILIDAD		
	LAT [m]	LON [m]	h [m]
MARA	0.005	0.004	0.007
VALE	0.004	0.004	0.008
BARQ	0.005	0.003	0.006
CARU	0.005	0.004	0.008
TRUJ	0.004	0.003	0.006
GUAS	0.004	0.003	0.008
BARI	0.004	0.004	0.006
CUM3	0.004	0.004	0.007
TUCU	0.004	0.003	0.006
CRCS	0.002	0.004	0.005
LAPA	0.003	0.003	0.005
SCRI	0.005	0.003	0.006
SCAR	0.004	0.003	0.008
MCY1	0.003	0.004	0.007
UCHI	0.009	0.006	0.018
SBAZ	0.007	0.005	0.015
MERI	0.006	0.005	0.012
CAIC	0.006	0.005	0.016
CCS1	0.006	0.006	0.015

Tabla 3. Valores RMS de repetibilidad para soluciones diarias en REMOS (2014.3)

RINEX de datos crudos para almacenamiento, y en la difusión de correcciones por los servicios DGPS, RTK y VRS que brinda esa red de estaciones.

3.2. Repetibilidad de las soluciones diarias

El chequeo de la consistencia y calidad de las soluciones diarias de REMOS(2014.3) en la semana GPS 1790 también aporta información como indicador externo de la bondad en la estimación de las posiciones finales. La Tabla 3 muestra valores RMS de repetibilidad (i.e., valor de diferencia media cuadrática para las desviaciones entre las posiciones diarias estimadas para cada estación respecto a las posiciones definitivas de la solución-final-combinada-multisesión con Bernese 5.0) para las estaciones con 7 y 3 días de datos.

En términos generales, los resultados de la Tabla 3 confirman la tendencia observada en los valores para las incertidumbres finales al 95% de confiabilidad de las estaciones REMOS(2014.3). Estaciones con 7 días de datos procesados muestran repetibilidades más pequeñas y estables que aquellas obtenidas en las estaciones con 3 días de datos irregulares en horas

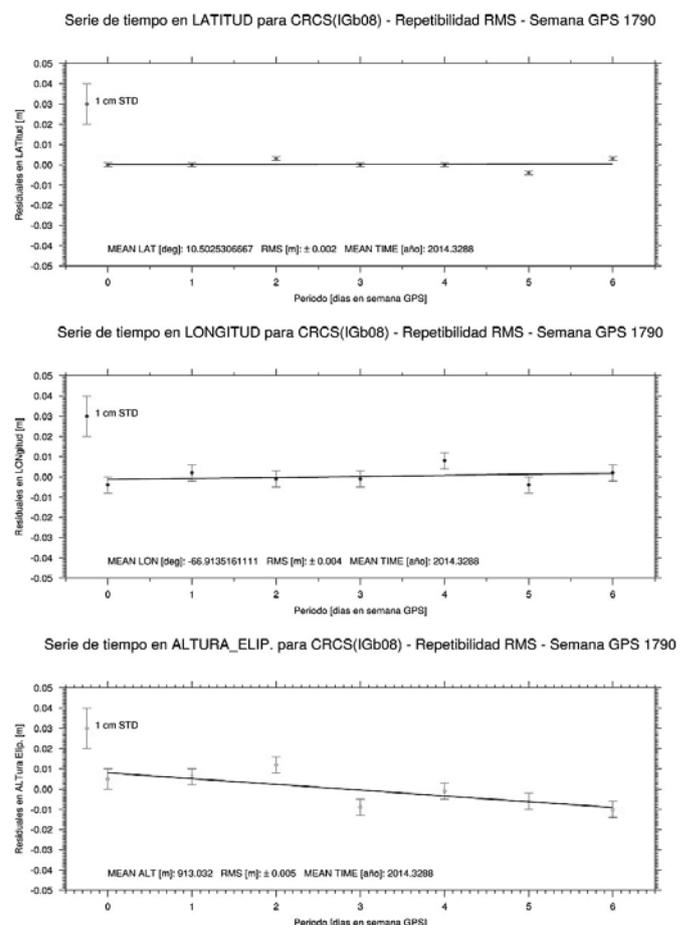


Figura 7. Repetibilidad de las soluciones diarias para la posición de la estación CRCS

disponibles. En posición, la repetibilidad de las 14 primeras estaciones mejora casi por un factor 2 respecto a las 5 últimas locaciones; en altura, casi por un factor 3.

La Figura 7 muestra un ejemplo de la repetibilidad diaria de la posición para la estación REMOS-Caracas (CRCS) respecto a la solución final multisesión con Bernese 5.0.

3.3. Validación de resultados

Una prueba externa interesante para validar los resultados finales obtenidos con el esquema de procesamiento y análisis GPS aplicado por el LGFS-LUZ a REMOS(2014.3), es comparar las coordenadas de estaciones comunes en la solución semanal SIRGAS (SIR14P1790.SNX/.CRD) con aquellas generadas en este trabajo.

SIR14P1790.SNX (<http://www.sirgas.org>) es una solución unificada para la red continental SIRGAS-CON de 263 estaciones en las Américas, producto de la combinación de soluciones independientes producidas por 8 centros de análisis regionales asociados a SIRGAS. La solución combinada fue generada en el IGS_RNAAC_SIR del DGFI empleando el Bernese GNSS Software v5.2 (<http://www.bernese.unibe.ch/>) con los más actualizados modelos y estándares para el procesamiento riguroso de marcos de referencia continentales; para más detalles sobre esa solución, ver el reporte de procesamiento en (<ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1790/SIR17907.SUM>).

La Tabla 4 presenta la comparación de coordenadas de estaciones comunes entre SIR14P1790.CRD y REMOS(2014.3).

Sólo 3 estaciones en común (no-fiduciales) presentan ambas soluciones, i.e., MARA, CRCS y CUM3. Los resultados de su comparación absoluta (REMOS-SIRGAS), dados en la Tabla 4, muestran magnitudes de pocos milímetros, con valores generales RMS para las diferencias en coordenadas X,Y,Z de ± 2.2 mm, ± 3.7 mm y ± 2.4 mm, resp. Tales cifras son consistentes con los errores al 95% de confiabilidad estimados en la solución combinada-multisesión con Bernese 5.0 para REMOS(2014.3).

Los resultados anteriores, aunque no constituyen prueba definitiva para validar la calidad externa total del conjunto completo de las posiciones REMOS(2014.3) estimadas en este trabajo, si permiten corroborar que las técnicas de procesamiento y análisis GPS aquí empleadas, a un nivel de pocos milímetros en términos de generación de coordenadas precisas y confiables para estaciones permanentes GNSS tipo REMOS en el país, son compatibles con los estándares seguidos internacionalmente por los centros de análisis

asociados al IGS y SIRGAS.

3.4. Transformación de posiciones REMOS(2014.3) a SIRGAS-REGVEN(95)

Las coordenadas inicialmente estimadas para REMOS(2014.3) en este trabajo refieren, como ya se dijo, al ITRF2008(IGb08), época 2014.3288. Aun cuando estas posiciones pueden considerarse como suficientemente consistentes y actualizadas respecto al marco y época de las órbitas precisas utilizadas en el presente por satélites GNSS de uso en posicionamiento geodésico de precisión, tal realización del ITRF no se corresponde con la adoptada oficialmente para el sistema de control geodésico de Venezuela SIRGAS-REGVEN(95), i.e., el ITRF94, época 1995.4. Por tanto, para lograr consistencia entre las coordenadas de la red de estaciones pasivas de Venezuela REGVEN(95) con aquellas de la red de estaciones activas REMOS(2014.3), –y con esto asegurar mantener, en lo posible, sin distorsiones artificiales, el marco general de referencia terrestre vigente en el país–, la transformación de las aquí calculadas coordenadas REMOS ITRF2008,2014.3 al ITRF94,1995.4 es entonces necesaria.

Tal transformación es descrita, p.ej., en (Acuña, 2011). Ésta es una clásica transformación de datum que utiliza un modelo de similaridad 3D tipo Helmert de 14 parámetros (i.e., 3 translaciones, 3 rotaciones y un factor de escala con sus respectivas variaciones temporales), además de velocidades de estaciones aportadas por un modelo de movimiento de placas tectónicas; para más detalles sobre este tipo de transformación, ver p.ej., (Soler et al., 2004), (Petit y Luzum, 2010).

Los 14 parámetros de transformación permiten la transformación de coordenadas entre las 2 soluciones (1994 y 2008) del ITRF, mientras que las velocidades de las estaciones derivadas del movimiento de las placas tectónicas sobre las cuales están asentadas, permite la propagación de las coordenadas en el tiempo (transformación por cambio de época, p.ej., de 2014.3 a 1995.4).

Aquí, los parámetros de transformación utilizados son aquellos publicados por el IERS (itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php) para relacionar las diferentes versiones del ITRF (itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions); las velocidades para estaciones REMOS son calculadas con el modelo geodésico de movimiento de placas asociado a SIRGAS, i.e., VEMOS2009; y el cálculo de las transformaciones es realizado con el software LGFS-LUZ TRN-ITRF_v2.0 (Acuña, 2009a).

La transformación ITRF2008(IGb08),2014.3 \rightarrow ITRF94,1995.4 introduce cambios significativos en las coordenadas REMOS(2014.3), ver Tablas 2 y 5. Éstos cambios llegan a ser de hasta -32 cm en latitud (SBAZ),

-19 cm en longitud (CARU) y 2 cm en altura elipsoidal (CAIC), atribuidos en su mayor parte al desplazamiento entre épocas de las locaciones venezolanas por el impacto permanente de la deriva de las placas tectónicas del Caribe y Suramérica.

El procedimiento anterior también introduce errores en las posiciones transformadas, un efecto causado por las incertidumbres asociadas a los parámetros de transformación IERS/ITRF y a las velocidades de estaciones VEMOS2009 utilizadas. Comparando las coordenadas SIRGAS-REGVEN(95) originalmente obtenidas de la primera campaña continental SIRGAS(95) (www.sirgas.org) y aquellas calculadas aquí para la estación MARA (ver Tabla 5), es posible acceder la magnitud de los errores que podrían esperarse en las restantes posiciones transformadas a SIRGAS-REGVEN(95) de REMOS(2014.3). La Tabla 6 muestra tales estimaciones.

Como muestra la Tabla 6, errores en posición y altura de al menos 5 cm y 3 cm, resp., pueden esperarse para las coordenadas transformadas de REMOS(2014.3) a SIRGAS-REGVEN(95). Aun cuando esto es una necesidad que impone el uso de las estaciones REMOS en el contexto del estado actual del sistema de control geodésico vigente en Venezuela, trabajar con coordenadas transformadas como las presentadas en la Tabla 5 no es lo más recomendable: ha sido demostrado como la alta precisión alcanzada para las coordenadas REMOS en el ITRF2008(IGb08),2014.3288 se vé severamente degradada al transformarlas al ITRF94,1995.4.

3.5. Cálculo de alturas físicas para estaciones REMOS(2014.3)

Elevaciones sobre el nivel del mar, referidas al

ESTACIÓN	X [m]	Y [m]	Z [m]	LAT_N [gms]	LON_E [gms]	h [m]
MARA	1976117.076	-5948895.224	1173592.044	10 40 26.3173	-71 37 27.9533	28.391
VALE	2350553.667	-5821195.990	1125521.639	10 13 52.7362	-68 00 41.4967	480.499
BARQ	2221110.895	-5875029.315	1108956.803	10 04 44.7802	-69 17 25.5224	528.667
CARU	2822108.842	-5597280.730	1173547.975	10 40 25.1690	-63 14 35.1092	-22.349
TRUJ	2103094.043	-5931305.069	1036909.885	09 25 06.2918	-70 28 36.3096	406.110
GUAS	2088595.471	-5973069.509	798882.830	07 14 36.9562	-70 43 36.7172	131.208
BARI	2132376.354	-5935471.392	948857.049	08 36 45.5404	-70 14 19.2347	205.013
CUM3	2730899.197	-5647886.084	1146938.432	10 25 44.0318	-64 11 42.1093	10.144
TUCU	2950362.294	-5565135.396	999090.436	09 04 21.4431	-62 04 10.7571	-27.671
CRCS	2459721.803	-5770508.964	1155111.847	10 30 09.1008	-66 54 48.6607	913.049
LAPA	2560746.418	-5752358.441	1014398.539	09 12 44.9996	-66 00 11.0298	184.803
SCRI	1932026.632	-6018122.371	859374.569	07 47 39.0190	-72 12 05.6264	1049.852
SCAR	2295596.399	-5854578.202	1062624.422	09 39 16.3128	-68 35 22.9783	156.601
MCY1	2405516.011	-5799288.187	1122358.550	10 12 08.2891	-67 28 17.6462	454.422
UCHI	2611187.004	-5710800.988	1113831.874	10 07 29.0547	-65 25 42.1970	-8.112
SBAZ	1955109.195	-5989454.373	988932.681	08 58 46.5413	-71 55 19.2342	-2.897
MERI	2036751.350	-5970780.670	946143.749	08 35 09.8455	-71 09 52.1147	1502.297
CAIC	2553227.870	-5783397.560	842376.778	07 38 25.1964	-66 10 46.9926	32.083
CCS1	2459723.555	-5770507.186	1155111.120	10 30 09.0832	-66 54 48.5847	911.984

Tabla 5. Coordenadas de estaciones REMOS (2014.3) transformadas a SIRGAS-REGVEN(95), i.e., ITRF94(1995.4)/GRS80

EST.	SR(95)	SR(95)_TRNF	DIF.
	X [m] Y [m] Z [m] LAT_N[gms] LON_E[gms] h [m]	X [m] Y [m] Z [m] LAT_N[gms] LON_E[gms] h [m]	X [m] Y [m] Z [m] φ [m] λ [m] h [m]
MARA	1976117.083	1976117.076	-0.007
	-5948895.246	-5948895.224	0.022
	1173592.101	1173592.044	-0.057
	10 40 26.3189	10 40 26.3173	-0.048
	-71 37 27.9533	-71 37 27.9533	0.000
	28.424	28.391	-0.033

Tabla 6. Comparación absoluta de coordenadas SIRGAS-REGVEN(95): originales SIRGAS(95) y transformadas, para MARA

ESTACIÓN	H [m]	σH [m]
MARA	42.452	0.091
VALE	496.755	0.089
BARQ	540.935	0.093
CARU	10.481	0.093
TRUJ	413.863	0.090
GUAS	136.801	0.095
BARI	213.115	0.093
CUM3	39.944	0.092
TUCU	7.670	0.093
CRCS	930.393	0.090
LAPA	203.204	0.090
SCRI	1048.223	0.094
SCAR	170.730	0.091
MCY1	471.347	0.094
UCHI	18.502	0.090
SBAZ	8.429	0.090
MERI	1502.463	0.091
CAIC	45.202	0.091
CCS1	929.328	0.090

Tabla 7. Alturas físicas (elevaciones sobre el nivel medio del mar, datum La Guaira) para estaciones REMOS(2014.3), obtenidas por Nivelación-GPS utilizando el modelo geoidal venezolano VGM12.

datum vertical venezolano La Guaira, con calidad de algunos centímetros, fueron calculadas mediante la técnica Nivelación-GPS (Torge y Müller, 2012), (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2005) para las estaciones REMOS(2014.3). Aquí, tales alturas físicas fueron generadas con el software LGFS-LUZ VhGPSlev_v1.4 (Acuña, 2009b), ver Tabla 7.

El procedimiento de nivelación-GPS que utiliza VhGPSlev_v1.4 aplica la conocida relación $h=H+N$ (Torge y Müller, 2012) de manera relativa, minimizando así los errores absolutos de los modelos geoidales, mientras que se explota la alta calidad relativa de los mismos. El software emplea desniveles elipsoidales obtenidos con GPS, desniveles geoidales calculados con el último modelo de alta resolución para Venezuela, i.e., VGM12 (Acuña, 2013), y alturas niveladas y elipsoidales GPS en aprox. 400 BMs de control de la red vertical de primer orden del país; todo esto integrado mediante colocación por cuadrados mínimos (LSC) (Moritz, 1980).

Hasta tanto a las estaciones REMOS(2014.3) no les sean asignadas alturas físicas de mejor calidad, p.ej., con exactitudes centimétricas logradas mediante nivelación geodésica de 1er. orden, el uso de los valores listados en la Tabla 7 como elevaciones de referencia es la mejor alternativa.

4. CONCLUSIONES

REMOS, la red venezolana activa de estaciones de monitoreo satelital GNSS, comprende para Mayo 2014 un total de 20 estaciones operativas. Desde 2011, la red ha venido siendo modernizada, ampliando su cobertura nacional, incorporando nuevo instrumental y mejorando la prestación de sus servicios diferenciales para correcciones DGPS, RTK y VRS sobre internet. La configuración de estaciones operativas para Mayo 2014, llamada aquí REMOS(2014.3), ha sido en este trabajo objeto de procesamiento y análisis científico con el sistema Bernese GPS Software v5.0. Como resultado, coordenadas precisas para tales estaciones han sido calculadas referidas al ITRF2008(IGb08), época 2014.3288, elipsoide GRS80. En el análisis GPS, los últimos estándares IERS, modelos y esquemas de procesamiento IGS/SIRGAS para arreglos nacionales/continentales de estaciones GPS/GNSS han sido aplicados. Las coordenadas obtenidas aquí por el LGFS-LUZ/IGVSB para REMOS(2014.3) serán consideradas como solución época-cero para esa red nacional, y en consecuencia, difundidas vía NTRIP por el centro de administración REMOS en el IGVSB en Caracas, Venezuela.

Como resultado del procesamiento científico de REMOS(2014.3) con Bernese 5.0, las coordenadas de 14 de sus locaciones fueron obtenidas con incertidumbres de $\pm 4\text{mm}$ en latitud, $\pm 3\text{mm}$ en longitud y $\pm 6\text{mm}$ en altura (en aquellas 14 estaciones donde 7 días de datos con 24 horas de observación c/u, para la semana GPS 1790, fueron disponibles). En 5 estaciones restantes, las cuales presentaron una significativa menor cantidad de observaciones (3 días con datos entre 9-18 horas c/u), la precisión en la estimación de coordenadas desmejoró a $\pm 7\text{mm}$ en latitud, $\pm 5\text{mm}$ en longitud y $\pm 17\text{mm}$ en altura. Sin embargo, tales niveles de calidad han sido considerados aquí como suficientes para definir la época-cero de REMOS(2014.3), al ser compatibles con el orden B de precisión para estaciones GPS de referencia en el sistema de control geodésico del país.

Pruebas de repetibilidad de las soluciones diarias obtenidas para REMOS(2014.3) confirmaron la tendencia observada en las precisiones logradas para el conjunto total de las 19 locaciones de la red.

Considerando que REMOS actualmente cuenta con 31 estaciones instaladas (Agosto, 2014), de las cuales 19 pudieron ser procesadas en este trabajo (esto debido a que para la fecha de realización del mismo, solo datos para esas estaciones estaban disponibles en el IGVSB, y como tal fueron entregados al LGFS-LUZ), se recomienda que el grupo restante de 14 estaciones sin procesar sea incorporado a los resultados de este trabajo después de ser sujeto a un análisis GPS similar al descrito aquí.

La comparación externa entre coordenadas de 3 estaciones comunes (no-fiduciales) correspondientes a la solución combinada semanal del IGS RNAAC SIR del DGFI para la red continental SIRGAS-CON (i.e., SIR17907.SNX) y a la solución combinada semanal de REMOS(2014.3) calculada por el LGFS-LUZ/IGVSB en este trabajo, mostró discrepancias medias (RMS) en coordenadas X,Y,Z de $\pm 2.2\text{mm}$, $\pm 3.7\text{mm}$ y $\pm 2.4\text{mm}$, resp. Tales cifras son consistentes con los errores al 95% de confiabilidad alcanzados para REMOS(2014.3) por la solución LGFS-LUZ/IGVSB. Esto confirma además, que las técnicas de procesamiento aquí aplicadas son compatibles con aquellas utilizadas rutinariamente por los principales centros de análisis GNSS asociados SIRGAS y al IGS.

La situación del control geodésico nacional oficial vigente, referido al ITRF94, época 1995.4/GRS80, y la obligación geodésica de mantener tal control libre de deformaciones inducidas artificialmente (p.ej., al mezclar indebidamente con el marco oficial nuevas posiciones de estaciones de referencia dadas en otra

versión y época ITRF), obligó a transformar al marco oficial las posiciones originalmente calculadas en el ITRF2008(IGb08), 2014.3288/GRS80. Aunque esto es una necesidad impuesta por las circunstancias geodésicas de marco nacional del referencia vigente en el país, es necesario dejar en claro, que la señalada transformación desmejora en varios centímetros las posiciones inicialmente calculadas de REMOS(2014.3).

En el futuro cercano, cuando la nueva versión del ITRF esté disponible (i.e., ITRF2013), y además ésta sea adoptada plenamente por el IGS y SIRGAS, lo recomendable sería actualizar al nuevo marco global la totalidad del sistema de control geodésico del país, lo que incluiría, las redes nacionales pasiva REGVEN y activa REMOS.

Alturas físicas (elevaciones sobre el nivel medio del mar, datum La Guaira) fueron calculadas para las estaciones REMOS(2014.3) mediante nivelación-GPS, empleando el modelo geoidal de alta-resolución para Venezuela VGM12 y colocación por cuadrados mínimos. La calidad media de la determinación de tales alturas fue $\pm 9\text{cm}$. Este valor, aunque puede parecer significativamente poco preciso, es a criterio del LGFS-LUZ, aceptable al ser representativo de la mejor alternativa para dotar con elevaciones de referencia a las estaciones permanentes REMOS, al menos, hasta tanto no se le asignen a esas locaciones mejores alturas físicas, p.ej., vía nivelación geodésica de 1er. orden.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue desarrollado con financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de La Universidad del Zulia (CONDES) como parte del proyecto de investigación No. CC-0069-11, «Optimización del uso del Posicionamiento GPS de Punto Preciso (GPS-PPP) en Venezuela».

REFERENCIAS

- Acuña G., (2009a). Trn_ITRF: Software para la transformación de coordenadas geocéntricas cartesianas tridimensionales XYZ entre soluciones ITRF (y/o entre otros TRFs) considerando cambios por época, por solución o ambos. Reporte Técnico. Dpto. de Geodesia Superior. EIG-LUZ. Maracaibo. 50 p.
- Acuña G. (2009b). VhGPSlev: Software para la determinación de alturas físicas (elevaciones) referidas al sistema de control vertical de Venezuela, datum La Guaira, mediante nivelación-GPS/LSC. Reporte Técnico. Dpto. de Geodesia Superior. EIG-LUZ. Ma-

- racaibo. 2009. 47 p.
- Acuña G. (2010). LGFS-PPP: Software para el post-procesamiento de datos GPS registrados en estaciones de operación independiente, según la estrategia del Posicionamiento de Punto Preciso (GPS-PPP). Reporte Técnico. Dpto. de Geodesia Superior. EIG-LUZ. Maracaibo. Septiembre, 2010. 75 p.
- Acuña G. (2011). Modernos sistemas y marcos terrestres de referencia de uso en geodesia, geofísica y cartografía. Curso de Extensión LGFS-LUZ. Ciclo de Conferencias, Talleres y Sesiones Especiales en Geodesia Superior – 2011. LGFS/DGS/FACING - Universidad del Zulia. Mcbo., 31.08 al 02.09 de 2011.
- Acuña G. (2013). VGM12: Nueva versión del modelo geoidal venezolano. Notas de Geodesia Geométrica. LGFS/DGS-Universidad del Zulia. Octubre, 2013.
- Balcázar F. (2014). REMOS – Red de Monitoreo Satelital GNSS REMOS. Foro REMOS 2014 – IGVS. Documento técnico del IGVS. Agosto, 2014.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. (2007a). Bernese GPS Software Version 5.0. User manual. AIUB, January 2007, 612 p.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P. (2007b). Bernese GPS Software Version 5.0. Tutorial. AIUB, February 2007, 98 p.
- Drewes H., Heidbach O. (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly -Geodesy for Planet Earth-. Buenos Aires, Argentina. August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia Series.
- Gurtner W., Estey L. (2007). RINEX - The Receiver Independent Exchange Format, Version 3.00. ftp://ftp.unibe.ch/aiub/rinex/rinex300.pdf. 2007.
- Hernández J., Drewes H., Tremel H. (2000). La red geodésica venezolana REGVEN. Documento técnico. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.
- Hernández J. (2003). La materialización del Sistema Geocéntrico de Referencia en Venezuela dentro del marco del proyecto SIRGAS. Revista Cartográfica, IPGH, No.76-77. México.
- Hernández J. (2005). Propuesta de Diseño de la Red Nacional de Estaciones GPS Permanentes. Tesis de Postgrado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Hernández J., Balcázar F. (2007). La red de estaciones de monitoreo satelital GPS REMOS. Documento técnico del IGVS. Caracas, 2007.
- Héroux P., Kouba J. (2001). GPS Precise Point Positioning using IGS Orbit Products. Physics and Chemistry of the Earth (A). Vol. 26, No. 6-8:573-578.
- Hofmann-Wellenhof B., Moritz H. (2005). Physical Geodesy. SpringerWienNewYork. 403 p.
- Lyard, F., F. Lefèvre, T. Letellier and O. Francis. Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004, Ocean Dynamics, 56, 394-415, 2006.
- Moritz H. (1980). Advanced Physical Geodesy, Wichmann, Karlsruhe.
- Moritz H. (2000). Geodetic Reference System 1980. The Geodesist's Handbook 2000. Journal of Geodesy. 74/1. pp. 128-133.
- Mugnier C. (2000). The Bolivarian Republic of Venezuela. Grids and Datums. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING. December, 2000.
- Sánchez L., Seitz M. (2011). Recent activities of the IGS Regional Network Associate Analysis Center for SIRGAS (IGS RNAAC SIR). DGFI Report No. 87. Munich.
- Seeber G. (2003). Satellite Geodesy. 2nd. Edition. Walter de Gruyter – Berlin – NewYork. 589 p.
- Soler T., Asce M., Snay R. (2004). Transforming Positions and Velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 and North American Datum of 1983. Journal of Surveying Engineering. May 2004, pp. 49-55.
- Torge W., Müller J. (2012). Geodesy. 4th Edition. De Gruyter. 433 p.
- Pavlis N., S. Holmes, S. Kenyon, J. Factor (2008). An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, April 13-18, 2008; <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>.
- Petit G., Luzum B. (eds.) (2010). IERS Conventions 2010. IERS Technical Note No. 36. Frankfurt am Main: Verlag BKG, 2010. 179 p.
- Petovello M. (2011). What is a virtual reference station and how does it work? InsideGNSS. July/August 2011.

Sobre el autor

Gustavo A. Acuña Ortigoza

Ingeniero Geodesta, MSc. Profesor Titular, Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo-Venezuela. Profesor de la cátedra Geodesia Geométrica en la Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ. Jefe del Laboratorio de Geodesia Física y Satelital de LUZ (LGFS-LUZ).

VISITA NUESTRO NUEVO PORTAL



www.obrasurbanas.es

SUSCRIBETE a nuestro Newsletter mensual

**Toda la información actualizada en el portal
más completo del sector**

Experiencias de Georreferenciación Directa en Tucumán, Argentina

Experiences of Direct Georeferencing in Tucumán, Argentina

Javier A. Carelli, José E. Juliá, Héctor R. Herrero, Carlos E. Valdez

REVISTA **MAPPING**

Vol. 23, 168, 42-47

noviembre-diciembre 2014

ISSN: 1131-9100

Resumen

La determinación de la orientación exterior es una operación fundamental en la Fotogrametría. La necesidad de reducir la cantidad de puntos de control terrestre en los trabajos fotogramétricos siempre ocupó un lugar destacado, e impulsó el surgimiento y un alto grado de perfeccionamiento de los procedimientos de triangulación aérea.

La incorporación e integración de sistemas GPS/INS ha dado como resultado la determinación de los elementos de la orientación exterior con una precisión antes no alcanzada, posibilitando la orientación directa de sensores. En este trabajo se evalúa el comportamiento de los sistemas de orientación directa en la zona de la ciudad de Tucumán, Argentina, a través del procesamiento y análisis de un bloque de fotografías aéreas digitales.

Los resultados indican que no resulta conveniente prescindir de la aerotriangulación si se quieren alcanzar precisiones acordes a los métodos clásicos de la Fotogrametría, aunque sería conveniente evaluar el comportamiento del sistema GPS/INS a otras escalas de vuelo a fin de detectar posibles errores sistemáticos.

Abstract

Exterior orientation determination is a fundamental operation in Photogrammetry. The need of reducing ground control points in photogrammetric works has been always a very important issue and has originated the birth of the Aerial Triangulation procedures which reached a high degree of development. The appearance and incorporation of GPS/INS systems has brought the determination of the exterior orientation elements with a precision not known until now giving rise to new possibility: the Direct Orientation of Sensors. This work checks the behavior of Direct Orientation Systems in an area of the city of Tucumán, Argentina, processing and analyzing digital photography block.

Results indicate that it is not convenient to leave aside the Aerial Triangulation if it is wished to reach the precision of classical methods in Photogrammetry. It would be also advisable to study the performance of the GPS/INS at other flight scales in order to detect possible systematic errors.

Palabras claves: *Fotogrametría, triangulación aérea, sistema inercial, orientación directa, cámara aérea digital.*

Keyword: *Photogrammetry, aerial triangulation, inertial system, direct orientation, digital aerial camera.*

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Universidad Nacional de Tucumán
jcarelli@herrera.unt.edu.ar
jjulia@herrera.unt.edu.ar
rherrero@herrera.unt.edu.ar
carernestovaldez@hotmail.com

Recepción 14/12/2014
Aprobación 27/12/2014

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la orientación exterior (georreferenciación) es una operación fundamental en la Fotogrametría. La orientación de las imágenes de bloques aéreos estándar es resuelta indirectamente por ajuste de bloque tradicional, usando puntos de control de terreno (Yastikli & Jacobsen, 2005).

La necesidad de reducir la cantidad de puntos de control terrestre en los trabajos fotogramétricos siempre ocupó un lugar destacado, e incluso impulsó el surgimiento de los procedimientos de triangulación aérea.

Con la aparición del sistema GPS (Global Positioning System) fue posible determinar la posición de los centros de proyección. La aerotriangulación combinada con datos GPS es desde hace tiempo una práctica común en Fotogrametría para permitir una reducción importante en el número de puntos de control de terreno.

Por otra parte, los llamados sistemas inerciales permiten estimar la posición y orientación del sensor en el instante de toma.

Los sistemas de orientación directa avanzados permiten determinar la orientación exterior sin la necesidad de puntos de control de terreno. Estos sistemas están basados en una combinación de mediciones GPS e inerciales (Schenk, 1999).

La orientación directa e integrada se usa hoy para un amplio abanico de sensores, incluyendo escáneres láser y radar de apertura sintética, así como los escáneres lineales digitales y cámaras aerotransportadas (Yastikli & Jacobsen, 2005).

Cabe mencionar que en la mayoría de estas técnicas el empleo de sistemas GPS e inerciales resulta imprescindible.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento de los sistemas de orientación directa en la zona de la ciudad de Tucumán, Argentina a través del procesamiento y análisis de un bloque de fotografías aéreas digitales.

1.1. Sistema GPS/INS

El término GPS corresponde en realidad al sistema americano de posicionamiento global. También se encuentran el sistema ruso GLONASS y el sistema GALILEO de la Unión Europea. Un término general para tales sistemas es GNSS (Global Navigation Satellite System). Sin embargo el término GPS está tan difundido que engloba todos los sistemas de posicionamiento tomándose como sinónimo del anterior (Kraus, 2007).

Trabajando en modo diferencial, esto es, vinculando las observaciones GPS con respecto a una estación de referencia, es posible determinar con buena precisión la posición del centro de proyección de la cámara o sensor,

en el instante de toma.

Existen numerosos inconvenientes como la pérdida de ciclos y el efecto multicamino (multipath) que pueden interrumpir la determinación continua de las posiciones. Una posible solución sería incorporar parámetros adicionales en la etapa de ajuste, lo que puede requerir, en algunos casos, configuraciones especiales del bloque.

Otro sistema de medición que provee tanto la posición como la orientación angular de los sensores son los Sistemas de Navegación Inercial más conocidos por su sigla en inglés INS (Inertial Navigation Systems).

Es conveniente aclarar que INS es un sistema de navegación completo uno de cuyos componentes es la Unidad de Medición Inercial IMU (Inertial Measurement Unit).

Un IMU mide aceleraciones lineales y movimientos angulares como un ángulo incremental. Un INS estima posición, actitud y velocidad de un vehículo como una función del tiempo usando mediciones IMU, un reloj de referencia y un modelo de campo de gravedad en una estructura de navegación (Yastikli & Jacobsen, 2005).

Los componentes principales del IMU son tres giróscopos y tres acelerómetros dispuestos según tres ejes ortogonales. Con ayuda de los giróscopos se determinan las orientaciones y a partir de los acelerómetros, por sucesivas integraciones con respecto al tiempo, las velocidades y las posiciones del sensor.

Los sistemas inerciales se han empleado en Fotogrametría desde hace tiempo pero su alto costo y su complejidad han conspirado para lograr una difusión mayor. Esto parece estar cambiando principalmente debido a la combinación e integración con el GPS.

1.2. Georreferenciación directa

La georreferenciación directa también conocida como orientación directa de sensores se basa en una integración de datos IMU y de posicionamiento GPS cinemático relativo, a través de filtrado de Kalman.

La alta estabilidad de corto período del IMU es usada para alisar el ruido de las observaciones GPS y para evitar la pérdida de ciclos. Por otra parte, GPS exhibe alta estabilidad en largos períodos por los que sus observaciones son apropiadas para compensar los efectos de errores sistemáticos y dependientes del tiempo del IMU. Como resultado, la integración de GPS e IMU proveen posición y actitud altamente precisas (Yastikli & Jacobsen, 2005).

Deberá contemplarse el desplazamiento (offset) entre el centro de proyección de la cámara o sensor con el IMU y de éste con el centro de la antena GPS. Esto puede verse en la Figura 1.

Si los ejes coordenados del sensor de imagen y el IMU son estrictamente paralelos, los ángulos de rotación del IMU corresponden directamente a los ángulos de rota-

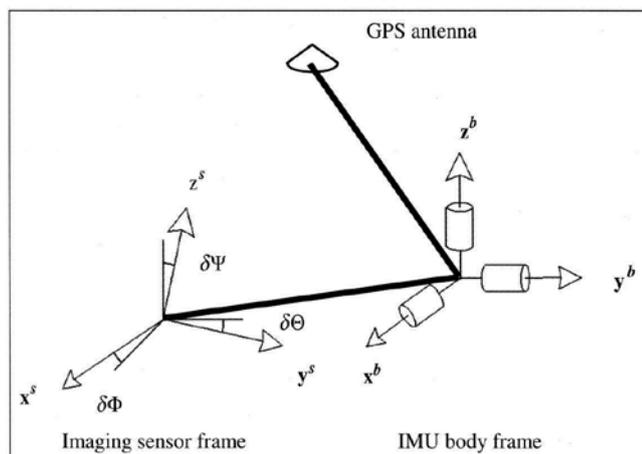


Figura 1. Desplazamientos entre GPS, IMU y sensor de imagen. (Extractado de Yastikli & Jacobsen, 2005)

ción del sensor. Esta configuración no puede ser hecha con suficiente precisión. Desviaciones del caso ideal son conocidas como desalineaciones (misalignments) (Kraus, 2007).

El caso más común es cuando los sensores inerciales están montados rígidamente al vehículo, eliminando el uso del cardán (gimbal), lo que se conoce como sistema strapdown.

1.2.1. Ventajas e inconvenientes de la orientación directa

Los sistemas GPS/IMU se están difundiendo cada vez más. Hoy en día hasta se pueden encontrar este tipo de sistemas (seguramente versiones más económicas y menos precisas) en Vehículos Aéreos no Tripulados más conocidos como drones.

Una de las principales ventajas de la orientación directa a través del empleo de los sistemas GPS/INS, es la posibilidad de determinar los elementos de la orientación exterior prácticamente en tiempo real. Su empleo es imprescindible en sistemas como LIDAR, escáneres lineales digitales y otros.

No se requiere de configuraciones especiales de bloques, el procedimiento puede ser empleado para cualquier tipo de sensor y pueden ser cubiertas áreas aisladas (Sandau, 2011).

Si bien la necesidad del sistema GPS/INS implica una erogación inicial importante, puede lograrse una importante economía a mediano y largo plazo, especialmente si consideramos la drástica reducción (es común emplear algunos pocos puntos para propósitos de control) o incluso la eliminación de puntos de control de terreno, y todo esto, en función de la topografía y la accesibilidad del lugar, puede resultar decisivo.

Conceptualmente, la orientación directa no sólo prescinde de los puntos de control sino que también lo hace

de la aerotriangulación misma.

Sin embargo, la orientación directa presenta algunos inconvenientes que se mencionan a continuación:

La calibración combinada de las tres unidades GPS, IMU y sensor de imagen (cámara) es una tarea compleja (Kraus, 2007). Hay que analizar además su estabilidad en el tiempo.

Los errores en la reconstrucción de puntos, causados por errores en los parámetros de la orientación interior son más problemáticos en el caso de orientación directa. En el caso de la orientación indirecta el error en la reconstrucción es considerablemente más pequeño pues los parámetros de la orientación exterior absorben gran parte de ese error (Schenk, 1999). Además, la presencia de paralajes residuales perjudica principalmente la generación automática de Modelos Digitales de Elevación (MDE), como se menciona en Yastikli & Jacobsen (2005).

En la actualidad es difícil lograr precisiones inferiores al decímetro lo que resulta pobre para ciertas tareas fotogramétricas. Existen también problemas de datum.

Algunos de estos problemas pueden solucionarse o minimizarse si se emplea la información GPS/INS combinada con aerotriangulación, lo que se conoce como Orientación de Sensor Integrada ISO (Integrated Sensor Orientation).

En el mismo proceso de compensación se pueden agregar parámetros adicionales (Lerma García, 2002).

2. MATERIAL Y MÉTODO

Se trabajó con un bloque de 20 fotografías distribuidas en dos pasadas. Estas fotografías fueron obtenidas con una cámara digital aérea Ultracam XP del Instituto Geográfico Nacional de Argentina (IGN). Cuenta además, con un sistema integrado GPS/INS Applanix POS/AV (Figura 2). Una buena descripción de este tipo de sistemas puede encontrarse en Mostafa & Hutton (2001).

Esta cámara genera imágenes de 17.310 x 11.310 píxeles de 6 micras, que para la escala de vuelo empleada (1: 67.000) corresponde a aproximadamente 40 centímetros en el terreno. El procesamiento de compensación del bloque se realizó en la cátedra de Fotogrametría con el software Photomod, de origen ruso. Para ello fue necesario medir una serie de puntos de control en el terreno. Se midieron un total de 34 puntos, convenientemente distribuidos en todo el bloque (ver Figura 3).

Las mediciones se llevaron a cabo con un equipo GPS Trimble 5700 de doble frecuencia del Departamento de Geodesia y Topografía. Para el cálculo de los vectores se emplearon datos provenientes de la antena GPS de la estación permanente TUC1, que se encuentra en la Di-



Figura 2. Cámara y sistema inercial en el interior del avión

rección General de Catastro de la provincia de Tucumán y que pertenece a la red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo).

Las coordenadas planimétricas de terreno se expresan en proyección Gauss Krüger, marco de referencia POSGAR 07, sistema oficial de la República Argentina. Las alturas están referidas al elipsoide (WGS-84).

Para la comparación se consideraron tres casos o alternativas:

Caso 1. Se realizó una triangulación aérea clásica considerando todos los puntos de control de terreno. En la mayoría de las experiencias, este tipo de configuración se emplea como referencia.

Caso 2. Corresponde a la solución que integra datos GPS/INS con aerotriangulación, a la que se agregó control en las cuatro esquinas del bloque.

Caso 3. Georreferenciación directa.

El estadístico empleado es la raíz positiva del Error Medio Cuadrático, en inglés RMSE (Root Mean Square Error), o simplemente RMS, definido como:

$$RMS_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{MODELO} - X_{TERRENO})^2}$$

donde X_{MODELO} : es la coordenada x del punto, obtenida en el ajuste.

$X_{TERRENO}$: es la coordenada x del punto, medida en el terreno.

n: cantidad de puntos empleados.

Se aplicaron fórmulas similares para las componentes y, z.

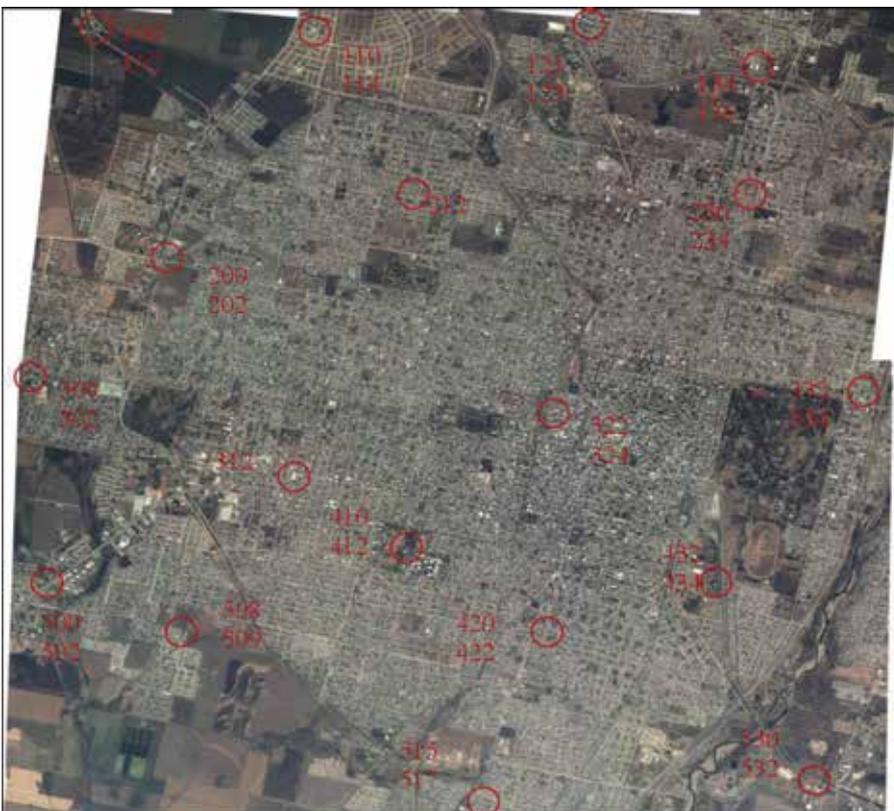


Figura 3. Distribución de los puntos de control

3. RESULTADOS

Para el caso 1, la triangulación aérea clásica, el ajuste arrojó los siguientes resultados:

RMS de 0.29 m, 0.20 m y 0.49 m para las componentes x, y, z, respectivamente, correspondientes a los puntos de control. RMS de 0.07 m, 0.12 m y 0.38 m para las componentes x, y, z, de los puntos de enlace.

En el caso 2 se empleó aerotriangulación con datos GPS/INS más apoyo en las cuatro esquinas del bloque, considerando el resto de los puntos de control como check points.

Se obtuvieron RMS de 0.49 m, 0.48 m y 0.59 m para las componentes x, y, z, de los check points y RMS de 0.11 m, 0.16 m y 0.47 m para las componentes x, y, z, de los puntos de enlace.

Para el caso 3, donde se realiza la determinación directa de los parámetros de la orientación exterior en base a los datos GPS/INS, se llevó a cabo la comparación ubicando las posiciones de los puntos de control y comparándolas con las coordenadas de terreno.

En este caso se obtuvieron RMS de 1.22 m, 1.77 m y 2.73 m para las componentes x, y, z, de los puntos de control de terreno.

En la tabla 1 se muestra un resumen para los tres casos en base a los puntos de control.

En el gráfico 1 se muestra la comparación de los errores de los métodos para cada una de las componentes. Los valores están expresados en metros.

3.1. Análisis de los resultados

La opción de aerotriangulación clásica dio los mejores resultados con valores inferiores al píxel (0.40 m) para las componentes X e Y, con un valor apenas superior al píxel en el caso de la componente Z.

La opción de aerotriangulación con datos GPS/INS más apoyo en las cuatro esquinas del bloque presenta resultados levemente superiores al tamaño del píxel. Presenta además un buen ajuste en los puntos de enlace lo que garantiza, en principio, una buena reconstrucción de puntos en posteriores etapas de procesamiento. Informes del IGN dan cuenta de que se han obtenido buenos resultados trabajando aún sin control de campo, aunque en zonas llanas y con otra escala de vuelo.

En el caso de la orientación directa los errores se encuentran en el orden de 3 o 4 veces el tamaño del píxel para las componentes X e Y con un valor superior a 6 veces el tamaño del píxel para la componente Z. No obstante hay que tener en cuenta que, como se indica en Sandau (2010), para imágenes a pequeña escala, esto es grandes alturas de vuelo, el comportamiento

de la actitud es el factor dominante con respecto a la calidad de la georreferenciación directa.

Teniendo en cuenta la altura de vuelo (6 700 m) y asumiendo errores en las orientaciones IMU para alabeo (roll) y cabeceo (pitch) de alrededor 0.005 ° y para deriva (heading) de 0.008° para el sistema POS/AV, según se indica en Mostafa & Hutton (2001), se originan errores posicionales cercanos al metro (0.94 m para heading). Debe agregarse a esto la posible existencia de errores sistemáticos no contemplados, lo que amerita un estudio más detallado, incluso empleando varias escalas de vuelo.

4. CONCLUSIONES

Es evidente la necesidad de aerotriangulación para obtener precisiones razonables.

La solución integrada con control terrestre en los extremos del bloque dio resultados aceptables si la comparamos con la aerotriangulación clásica. De esta

Método	RMS		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Triang. Aérea Clásica	0,29	0,20	0,49
Solución ISO apoyo en 4 esquinas	0,49	0,48	0,59
Orientación Directa	1,22	1,77	2,73

Tabla 1. RMS de los puntos de control para los distintos métodos

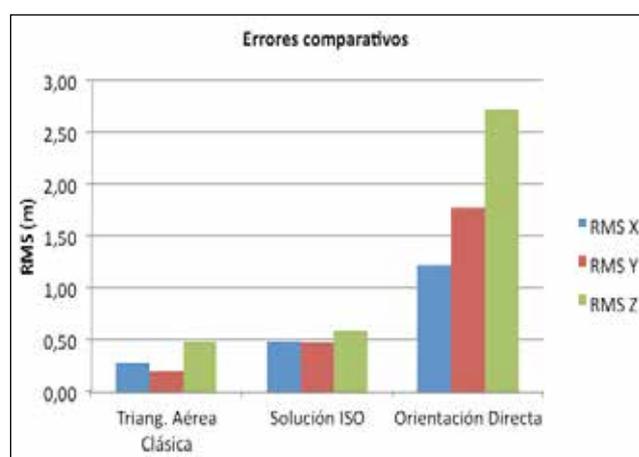


Gráfico 1. Comparación de errores para los métodos empleados

manera se minimiza el trabajo de campo y se logra una gran economía sin una pérdida sustancial de precisión.

El comportamiento de la orientación directa es esperable si se tiene en cuenta la considerable altura de vuelo empleada. En base a las precisiones obtenidas en este caso, podría generarse cartografía a escala 1:50.000 aunque resta analizar el inconveniente que surge en la generación automática de DEM para este tipo de solución.

Sería conveniente, evaluar el comportamiento del sistema GPS/INS a otras escalas de vuelo a fin de detectar posibles errores sistemáticos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Geográfico Nacional de Argentina, a la Dirección General de Catastro de la provincia de Tucumán y en especial al Ingeniero Mario Kohen.

REFERENCIAS

- Kraus K. (2007). Photogrammetry 2nd edition. Walter de Gruyter, Berlín, 2007.
- Lerma García J. L. (2002). Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2002.
- Mostafa M.M.R, Hutton J. (2001). Direct Positioning and Orientation Systems. How do they work? What is the attainable accuracy? Proceedings, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Annual Meeting USA, 2001.
- Sandau R. (2010). Digital Airborne Camera. Springer Science, Alemania, 2010.
- Schenk T. (1999). Digital Photogrammetry. TerraScience, USA, 1999.
- Yastikli N., Jacobsen K. (2005). Direct Sensor Orientation for large scale mapping - Potential, Problems, Solutions. The Photogrammetric Record. Vol. 20 Nº 111. Reino Unido, 2005.

Sobre los autores

Javier A. Carelli

Ingeniero Geodesta y Geofísico. Magister en Estadística Aplicada. Actualmente es Profesor Asociado de Fotogrametría del Departamento de Geodesia y Topografía de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Ha publicado artículos y dictado cursos de posgrado sobre Fotogrametría Digital. Se especializa en temas de Fotogrametría analítica y digital. Es miembro de la Asociación Argentina de Fotogrametría y Ciencias Afines.

José E. Juliá

Ingeniero Geodesta y Geofísico. Realizó estudios de posgrado en el International Institute for Earth Sciences and Aerial Surveys, Delft, Holanda. Miembro de la «Ordem do Mérito Cartográfico» de la Sociedad Brasileira de Cartografía. Fue vicepresidente de la Asociación Argentina de Fotogrametría y Ciencias Afines. Se desempeñó como Profesor Titular de Fotogrametría del Departamento de Geodesia y Topografía de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Se especializa en temas de Fotogrametría analítica y triangulación aérea. Es autor del programa COBLO de Compensación en Bloque. Ha publicado numerosos artículos sobre Fotogrametría..

Héctor R. Herrero

Ingeniero Geodesta y Geofísico. Actualmente es Profesor Asociado de Geodesia del Departamento de Geodesia y Topografía de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Ha publicado artículos sobre Geodesia y Fotogrametría. Se especializa en temas de Sistemas de Referencia en Geodesia. Es miembro de la Asociación Argentina de Geodestas y Geofísicos. Se desempeñó como Jefe del Departamento de Geodesia y Topografía.

Carlos E. Valdez

Ingeniero Geodesta y Geofísico. Actualmente es Auxiliar Docente Graduado de Fotogrametría del Departamento de Geodesia y Topografía de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Ha presentado trabajos de Fotogrametría en Congresos de la especialidad. Posee experiencia en el manejo de software Fotogrametría digital.



* Real Sociedad Geográfica y
Universidad de Granada

La Metrología postal de Campomanes

Campomanes's postal Metrology

MARIO RUIZ MORALES*

RESUMEN

En este artículo sobre la métrica postal de Campomanes podemos descubrir y conocer los fallos y aciertos de uno de los estudiosos de las ciencias geográficas y la historia de la metrología del s. XVIII, ya que se analiza minuciosamente las aportaciones de este en la obra "Tratado de la regalía de amortización y un informe fiscal" entre otras.

Campomanes realiza un recorrido geográfico para estudiar pormenorizadamente la metrología de España, Portugal, Italia, Francia e Inglaterra realizando los cálculos de las medidas itinerarias europeas y su relación con el grado y la vara castellana y las relaciones entre la vara y otras medidas castellanas y europeas, pero también estudia y calcula la milla, el paso, el estadio, el pie español, la legua legal, la legua común, la legua geográfica o de 17,5 al grado, la jornada... Que da lugar a que el propio Felipe II emita una pragmática el 8 de enero de 1587, cuyo contenido metrológico fuera incluido en un informe emitido en Toledo (1758) sobre la homogenización de pesas y medidas.

Palabras clave: metrología postal, Campomanes, unidades de medida, cartografía, s. XVIII.

ABSTRACT

In this article about Campomanes's postal metrics we can discover and know the failures and successes of one of the experts of the geographical sciences and the history of the metrology of the XVIIIth, since the contributions of this one are analyzed meticulously in the work "Treated about the royalty of amortization and a fiscal report" between others.

Campomanes realizes a geographical tour to study in detail the metrology of Spain, Portugal, Italy, France and England, performing the calculations of the European itinerary measures and his relation with the degree and the Castilian rod and the relations between the rod and other Castilian and European measures, but also it studies and calculates the mile, the step, the stadium, the Spanish foot, the legal league, the common league, the geographical league or of 17,5, to the degree, the day's journey ... That gives place to the own Philip II release a pragmatics on January 8, 1587, in which metrological content was included in a report issued in Toledo (1758) about the standardization of weights and measures.

Keywords: Postal metrology, Campomanes, units of measure, cartography, XVIII th.

Entre los estudiosos de las ciencias geográficas y de su interdependencia con la historia de la metrología, suele ser muy poco citada la aportación realizada en el siglo XVIII por uno de los españoles más ilustres de aquella época, Pedro Rodríguez Pérez (1723-1802). Este enciclopedista y asturiano universal, prototipo de hombre ilustrado, fue nombrado Conde de Campomanes por el rey Carlos III, en reconocimiento a sus muchos servicios prestados al Estado. Aunque no sea este el momento ni el lugar para comentar la extensa producción bibliográfica de este hombre de estado, no conviene olvidar que suyo fue el Tratado de la regalía de amortización y un informe fiscal⁽¹⁾ que sirvió de soporte para la posterior expulsión de los jesuitas, quienes lo venían tachando de jansenista antes de que esta se llevase a cabo. Se comprende así que no gozase de simpatías entre la jerarquía eclesiástica y los círculos reaccionarios, baste decir que cien años después de su muerte, era considerado por Marcelino Menéndez Pelayo (1856-1912) como «azote y calamidad inaudita para la iglesia española».

Diez años antes, en 1755, había sido nombrado Asesor General del Juzgado de Correos y Postas del Reino, un cargo para el que fue propuesto por su valedor Ricardo Wall y Devreux (1694-1777) un diplomático irlandés al servicio

de España y Teniente General de sus ejércitos. Transcurridos seis años en su nuevo destino escribió Campomanes el conocido Itinerario de las Carreras de Posta de dentro y fuera del reyno⁽²⁾, una obra que fue sufragada por el propio rey, según agradece el autor en el ofrecimiento de la misma. La importancia de la metrología no tarda en hacerse patente, ya que en el título I (Viajes por la Posta) del capítulo I (Reglamento General expedido por su Majestad en 23 de abril de 1720) se recoge lo siguiente: I. A todos los Correos de la Corte, que hicieran viajes desde ella a las Ciudades del Reino, que sean despachados para dependencias de mi real servicio, y vayan en diligencia, les señalo ocho reales de plata nueva por cada legua, sea, o no de travesía, esto es siendo yente. Pero si el viaje fuere yente y viniente, solo se ha de socorrer al Correo a siete reales de plata moderna por legua... Asimismo se estipulaba en el Título II (Viajes de los Correos de a pie) los salarios correspondientes: I. Los Correos de a pie, que sirvieran los viajes, que llaman a las veinte (y bien entendido se obligan a andar veinte leguas cada veinte y cuatro horas) cumpliendo con el encargo, se les ha de pagar a cuatro reales de vellón⁽³⁾ por legua. Y si el viaje yente, para restituirse el paraje de donde fue despachado, se les ha de dar a real de vellón por legua; pero siendo yente y viniente, se han de regular las leguas de ida y vuelta a los expresados reales de vellón.

Sin embargo, la contribución metroológica propiamente dicha figura en los capítulos IV (Regulación de las diferentes leguas, millas y otras medidas itinerarias, empleadas en las Carreras

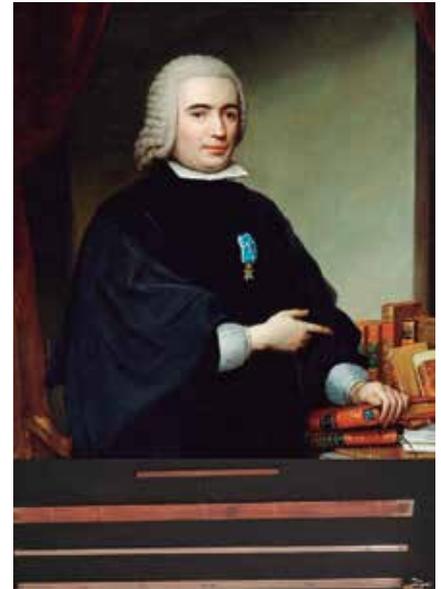


Figura 1. Retrato de Pedro Rodríguez Campomanes en la Real Academia de la Historia y prototipos de la vara castellana, allí depositados



Figura 2. Frontispicio y cubierta del libro de Campomanes

y Travesías de Posta) y V (Continuase el Examen de las medidas itinerarias de España en particular). El primer capítulo, de menor extensión que el segundo, es de carácter global y trata de encuadrar las medidas españolas en el marco europeo. Campomanes comienza su discurso dando por sentado la utilidad de las diferentes medidas para fijar el recorrido de una posta a otra, aunque acto seguido dijera que no se trataba de una materia tan averiguada como pudiera creerse, ya que son variadas las discrepancias entre unas y otras medidas, así como imprescindible el conocer la equivalencia entre todas ellas «para saberlas reducir

⁽¹⁾ En su Tratado de la regalía (1765), íntimamente relacionado con el espíritu ilustrado y docto de Campomanes, defendía la separación entre la Iglesia y el Estado, apuntando que una de las causas de la decadencia de nuestro país era la existencia de bienes eclesiásticos inalienables; proponiéndose finalmente que se debía promulgar una ley que impidiera la enajenación de la Tierra en manos muertas, sin el consentimiento real. Del impacto causado por sus firmes denuncias, se da fe en la Historia de los heterodoxos españoles (Marcelino Menéndez Pelayo (1880-1882), con estas palabras: En España, donde la revolución no ha sido popular nunca, aún estamos viviendo las heces de aquella revolución oficinesca, togada, doctoril y absolutista, no sin algunos resabios de brutalidad militar, que hicieron Don Manuel de Roda, Don Pedro Pablo Abarca de Bolea, Don José Moñino y Don Pedro Rodríguez de Campomanes. Hinc mali labes. El significado literal de la frase latina es De ahí las desgracias.

⁽²⁾ Esta obra ha sido editada en forma facsímil en varias ediciones.

⁽³⁾ Del francés billón, hace referencia a una moneda de cobre que podía tener parte de plata. Al parecer se acuñaron por primera vez bajo el reinado de Carlos II (1661-1700) y desaparecieron con la reforma monetaria decretada por Isabel II (1830-1904), para establecer el Sistema Métrico Decimal (1850).

a nuestra medida española». Enseguida dio cuenta del método indirecto, ideado por geómetras, para que el usuario medio pudiese determinar por sí mismo la equivalencia deseada. El procedimiento no era otro que el fijar la relación de cada una de las unidades empleadas con el grado terrestre, siendo esta la evidencia más notable que muestra la conexión de la geodesia con la metrología. El ejemplo incluido en el texto fue muy oportuno: el grado medio constaba de 57000 toesas, de 399000 pies castellanos o de 133000 varas.

El recorrido geográfico de Campomanes empieza con España y Portugal, señalando que la legua española era de dos tipos. El desarrollo de la primera lo consideraba igual a 5000 varas, esto es una legua de 17.5 en el grado, un tercio mayor que la legua legal u oficial. Ciertamente, esta segunda legua era más corta que todas las comúnmente usadas, al tiempo que la de 17.5 en el grado resultaba ser la media entre la legua alemana de 15 al grado y la legua marina, o de una hora de camino, de 20 en el grado. En este mismo apartado señalaba el autor que en España se empleaba solamente la legua común para calcular las distancias de unas postas a otras y que se valió de ella para formar el Mapa de Postas de España, luego impreso por Tomás López(4).

La información sobre Portugal la tomó nuestro protagonista de Joao Baptista de Castro (1700-1775) y más concretamente de su Roteiro de Portugal (Lisboa, 1748). Allí comprobó la ausencia de medidas itinerarias en el país vecino y la gran disparidad(5) entre las leguas empleadas: pequeñas las extremeñas, mayores las de Alentejo y demasiado grandes las de Tras los Montes y el Algarbe. Más adelante

⁽⁴⁾ Mapa de las Carreras de Postas de España (1760).

⁽⁵⁾ Campomanes reproducía la opinión del clérigo Jerónimo Contador de Argote (1676-1749), para el que entre las leguas portuguesas apenas se hallaban dos que convengan en la distancia: todo lo cual dimana de que vulgarmente se miden las leguas por estimativa (Memórias Históricas do Arcebispado de Braga).

se demuestra la poca consistencia de las leguas portuguesas, ya que, según el Ingeniero mayor del reino Manuel de Azevedo Fortes (1660-1749), debe de computarse la legua por una hora de camino a paso lleno, y ordinario, dando a cada legua 3000 pasos geométricos, y a cada paso geométrico cinco pies geométricos, que hacen casi siete palmos de Craveira(6). Finalmente reprodujo Campomanes las observaciones sobre el terreno que había efectuado Baptista de Castro: Solo es bien que sepa(7) aver observado yo, que un Correo de a pie camina (en Portugal) en 24 horas de verano catorce leguas, y de invierno trece; y que un Postillón(8), y Correo yendo por la posta anda en las 24 horas treinta leguas.

Se refirieron a continuación las situaciones en Francia e Inglaterra, apoyándose para ello en los trabajos previos de los geodestas respectivos Jean Picard(9) (1620-1682) y Richard Norwood(10) (1590-1675), los cuales simultanearon sus investigaciones geodésicas con los estudios metrológicos. Picard estableció las relaciones de la legua francesa con el resto de las medidas itinerarias de Europa. En Francia se usaban generalmente dos tipos de leguas: la de 3000 pasos, o de una hora de camino, y la de 2500 pasos o de 25 en el grado. Norwood, por su parte,

⁽⁶⁾ El palmo de Craveira tenía 8 pulgadas.

⁽⁷⁾ Se estaba refiriendo al posible lector del Roteiro.

⁽⁸⁾ Postillón era el mozo que iba a caballo delante de las postas, ganado o viajeros para guiarlos. Los postillones estaban subordinados, en todo lo que concernía al buen servicio del ramo, no solo al maestro de postas, de quien dependían, sino a los demás en cuyas paradas se encontraban.

⁽⁹⁾ Jean Picard midió un arco de meridiano entre las ciudades de París y Amiens, aproximándose mucho al verdadero valor de 6371 km. Al parecer, de esa determinación se valió Newton para comprobar su ley de gravitación y decidirse a publicar sus celebrados Principia.

⁽¹⁰⁾ Richard Norwood midió el arco de meridiano comprendido entre las ciudades de York y Londres, obteniendo un valor próximo a los 6344 km.

ya había hecho en su tiempo análogas comparaciones con la milla legal de Inglaterra, de 69 en el grado, dividiéndola en 5280 pies de Londres, idénticos a 1760 yardas u 8 furlongs(11). No obstante en el cómputo de las distancias sobre los caminos reales ingleses se distinguían las millas computadas de las millas medidas. Campomanes incluyó al final de este capítulo una Tabla de las Distancias Itinerarias en la que se reducían las medidas anteriores a varas castellanas, cuadro que también se reproducirá en su momento.

Después, se centró Campomanes en la metrología rusa(12), apoyándose para ello en el Atlas del Imperio Ruso(13) que había publicado la Academia de Ciencias de San Petersburgo en el año 1745, bajo la dirección del cartógrafo francés Joseph Nicolás Delisle (1688-1768) y la supervisión del gran matemático suizo Leonard Euler (1707-1783), a la sazón responsable del Área Geográfica de la Academia. La unidad básica del imperio era llamada arshin, la cual fue estandarizada por Pedro el Grande (1672-1725) en el siglo XVIII, y era similar a una vara de 71.12 cm. Tal unidad se dividía en 16 partes, denominadas vershoks. Su relación con el pie inglés era la siguiente: siete pies equivalían a tres arshins; se suponía pues que cuatro vershoks eran igual a siete pulgadas del pie inglés. Parecida a la toesa era la unidad llamada sazhen, cuyo valor métrico era de 2.13 m, la cual constaba de tres arshins. Quinientos ocho arshins formaban la

⁽¹¹⁾ Es pues evidente que la equivalencia métrica de esta unidad es la siguiente: 1 f = 220.168 m.

⁽¹²⁾ Todas las antiguas unidades del imperio ruso fueron abolidas en la Unión Soviética en el año 1924, fecha en la que adoptaron el Sistema Métrico Decimal.

⁽¹³⁾ El atlas constaba de veinte mapas y de un texto explicativo en el que se indicaban los procedimientos seguidos para captar la información geográfica, cuyos topónimos se rotularon en latín y ruso. La escala de la mayoría de los mapas fue de 1/1470000 (35 verst por pulgada), salvo las seis hojas de Siberia que fueron dibujadas a 1/3444000 (82 verst por pulgada).

unidad itineraria semejante a la milla, denominada versta, con un valor aproximado de 1067 m. Campomanes finalizaba este apartado recogiendo las equivalencias obtenidas por Picard: 104 verstas, o si se prefiere 104 verstas y 5/7 de sazhen coinciden con el desarrollo del grado terrestre(14).

La información metroológica sobre Italia la basó Campomanes, parcialmente, en el conocido libro de viajes de Giovanni Maria Vidari (fl.

1730) titulado il Viaggio in Pratica(15) (Venecia 1730), extrayendo de él la

equivalencia entre cuatro millas italianas y una legua española; una relación que era también defendida por José García Caballero en su Breve Cotejo y Balance de las Pesas y Medidas de Varias Naciones, Reinos y Provincias(16), publicada en Madrid en el año 1731. Igualmente recurrió al clérigo, y matemático, Tomás Vicente Tosca (1651-1723) para citar las

diferentes millas italianas, aunque este se hubiese apoyado previamente en una obra de José Vicente del Olmo(17) (1 6 1 1 - 1 6 9 6) , geógrafo e inquisidor valenciano. El resumen de las mismas, que hizo C a m p o m a n e s , reflejado en el cuadro adjunto, pone de manifiesto la disparidad entre las millas de regiones muy próximas; incluso en Mantua las había de dos clases, una doble de la otra(18), siendo el valor de la mayor casi el doble de la milla romana moderna y mayor que el doble de la de Ferrara.

De nuevo refería Campomanes a García Caballero para indicar que se debería consultar su obra para saber expresar las relaciones entre las varas castellanas, y otras medidas de España, con las de otros países. No obstante señaló como se equivocó aquel, atribuyendo 5000 pasos a la legua legal, es decir 8333 varas y 1/3, cuando en realidad no tenía más de

5000 varas de Castilla. El error, según el propio Campomanes, se debió a una simple equivocación: lo que se debe prevenir como un yerro más de descuido que de ignorancia, tomando el paso por la vara, la cual es menor que el paso 2/3.

LAS MILLAS DE ITALIA	
Nombre de la ciudad origen	Pasos romanos antiguos
ANCONA	1375
BOLONIA	1266 y 2/3
FERRARA	898
FLORENCIA	1270
MANTUA (mayor)	1850
MANTUA (menor)	925
MÓDENA	1043
PARMA	1100
RÁVENA	1278 y 1/3
ROMA (moderna)	984

(14) Campomanes añadía: no obstante que los Geógrafos han acostumbrado darle 105 verstas por evitar los quebrados y hacer el número redondo o igual.

(15) A lo que añadió en su portada: O sia istruzione generale, e ristretta per tutte quelle persone, che volessero viaggiare per tutte le strade, e Poste di Europa.

(16) Comparadas y reducidas a las que corren en estos reinos de Castilla...La obra fue dedicada por el autor a José Patiño Rosales (1666-1736), a la sazón Secretario de Estado.

(17) Nueva Descripción del Orbe de la Tierra. Valencia.1681



Figura 3. Cartela del Mapa General del Imperio Ruso (Atlas de 1745) y un detalle de su escala gráfica con las millas rusas

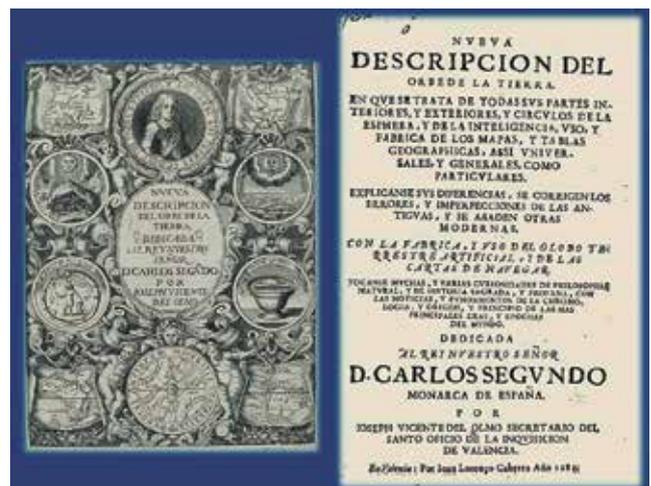


Figura 4. Frontispicio y portada de la obra de Joseph Vicente del Olmo, Secretario del Santo Oficio de la Inquisición de Valencia

Las equivalencias aparecen al final de este capítulo de metrología postal en forma análoga a la que recogen las dos tablas reproducidas, tras la reproducción del título de su obra.

Añadía Campomanes una interesante nota a pie de página para explicar la inclusión del migero, análogo al miliarium romano: Porque en las leyes de partida se cita esta medida tomada de los mismos, y aún en la Geografía de al- Idrisi...lo que es señal de que los árabes en España tomaron de nosotros esta medida geográfica... El migero no es propiamente a mi entender una medida



Figura 5. Breve Cotejo y Valance de las Pesas y Medidas, dedicado por el autor a J. Patiño

española, sino una medida romana, que tomaron nuestros antiguos legisladores de ellos, y la diferencia solo puede estar en la extensión del pie. Campomanes incluyó en el listado de las medidas castellanas, la pulgada (5.5 granos de cebada(19) ó 16 líneas) el dedo (4 granos de cebada atravesados o 1/16 de pie) y la línea (1/16 pulgadas), aunque he preferido excluirlos de la tabla por su insignificancia al expresarlas en varas(20).

El segundo capítulo metrológico del Itinerario de las Carreras de Posta es más detallado y extenso que el primero, además de especialmente brillante, mostrando a las claras la erudición, elevado nivel cultural y los probados

⁽¹⁹⁾ El grano de cebada es una medida de longitud muy antigua (baste decir que en la Biblia se suponía que cada dedo constaba de cuatro). Su valor métrico sería del orden de 0.43 cm.

⁽²⁰⁾ La equivalencia métrica de esas últimas medidas es la siguiente: pulgada (≈ 2.32 cm), dedo (≈ 1.74 cm), línea (≈ 0.19 mm). Aunque Campomanes no citase el punto, no viene mal señalar que era del orden de 0.2 mm.

LAS MEDIDAS ITINERARIAS EUROPEAS Y SU RELACIÓN CON EL GRADO Y LA VARA CASTELLANA		
Denominación de las diversas medidas	Grado del meridiano	Pasos romanos antiguos
Legua común española	17.5	7600
Legua legal española	26.5	5000
Legua de Prusia	16	8312 y 1/3
Legua de Francia (grande)	20	6650
Legua de Francia (pequeña)	25	5320
Legua de Polonia	20	6650
Legua marítima	20	6650
Milla danesa, sueca y Húngara	10	13300
Milla alemana	15	8866
Milla holandesa	19	7000
Milla polaca	10	6650
Milla árabe, antigua y moderna	53.5	2490
Milla legal inglesa	69	1927
Milla italiana	76	1750
Milla turca	76	1750
Migero, milla antigua o legal de España	80	1666
Versta rusa	105	1271

RELACIONES ENTRE LA VARA Y OTRAS MEDIDAS		
Tipo de medida	Vara	Observaciones
Legua legal española	5000	
Legua común	6600	800 cuerdas
Legua común	7222	4 millas
Milla o mugero	1666	1000 pasos
Cuerda	8.25	33 palmos mayores
Estadal	3.66	11 pies
Caña	2.5	10 palmos
Estado	2	6 pies
Paso	1.66	5 pies
Codo	0.5	1.5 pies
Pie	0.33	12 pulgadas o 16 dedos
Palmo	0.25	9 pulgadas o 12 dedos
Sesma o Jeme	1/6	8 dedos y 32 granos
Coto	1/8	6 dedos y 24 granos

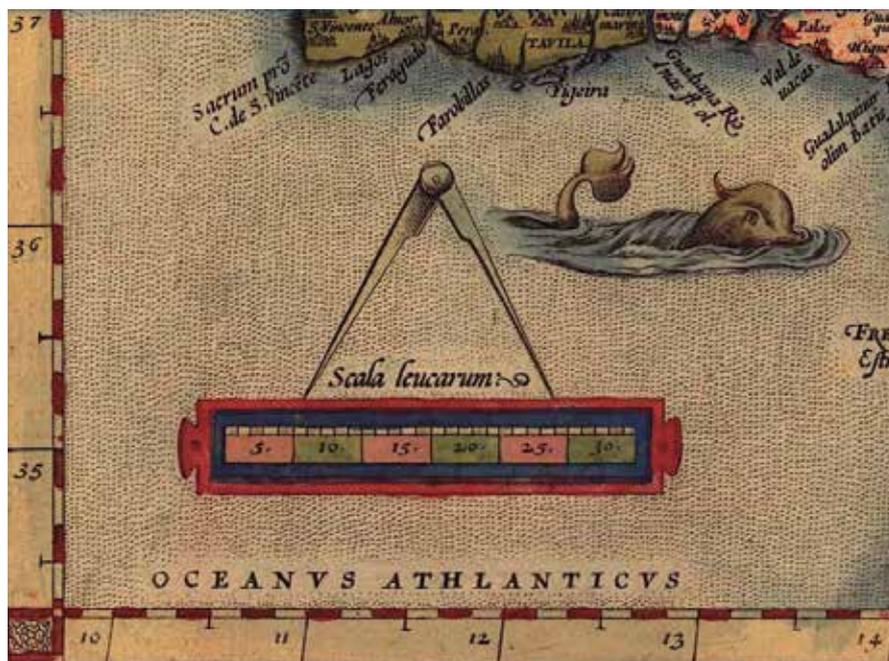


Figura 6. Las leguas españolas en un mapa de la Península Ibérica, incluido por Ortelius en su *Theatrum Orbis Terrarum* (Amberes, 1570)



Figura 7. Seis clases de millas.
Mappa Geographica Americæ Septentrionalis.
Euler, Leonhard, 1707-1783. 1:8.000.000

conocimientos humanísticos de Pedro Rodríguez de Campomanes⁽²²⁾. En el inicio del mismo ya se apunta a que los verdaderos valores de las medidas itinerarias resultaban imprescindibles para acotar los caminos públicos «con medida cierta». Es sumamente reveladora la cita que se hace de San Isidoro a propósito del firme de las calzadas, pues según este⁽²³⁾ fueron los cartagineses los primeros que hicieron empedrar los caminos y «que los Romanos los extendieron por todo el Imperio con dos fines, a saber de que los caminos fuesen rectos, y de emplear útilmente a los pobres, porque no viviesen de holgazanes». Poco antes

se había referido también a las unidades itinerarias empleadas por los diferentes pueblos, para medir las distancias entre sus ciudades: griegos (estadios), galos (leguas), egipcios (schoenos⁽²⁴⁾) y persas (parasangas) ⁽²⁵⁾.

MILLA o MIGERO

Campomanes se detuvo, a continuación, en el análisis pormenorizado de la milla o migero, indicando que los miliarios no tardaron en implantarse en todas las provincias del imperio. Aún se mantenían en Hispania después de los godos, tal como reconocía San Isidoro al comentar que, en su tiempo, se llamaban miliarios a

las medidas de los caminos⁽²⁶⁾. Los miliarios⁽²⁷⁾, colocados a intervalos de 1000 pasos, tenían una doble finalidad que aclara el autor. Por un lado, la ya sabida de acotar el espacio y por otro un cierto carácter jurisdiccional, en tanto que servían para prescribir los términos. Debe de tenerse en cuenta que el rastro, o la jurisdicción del Prefecto (Gobernador de Roma), se extendía a cien millas de aquella ciudad, y que pasado ese punto «no podía extender su conocimiento, o jurisdicción». Ese es el origen de que en nuestra antigua legislación, continuaba Campomanes, se usen indistintamente los migeros o las millas con igual efecto, esto es: determinar el rastro o jurisdicción de los Jueces de la Corte del Rey. En cuanto a la extensión de esas medidas itinerarias, coincidía con el número de pasos del miliario, o lapis romano; Habiéndolo fijado taxativamente el rey

⁽²¹⁾ El grado medio con el que se comparan las medidas se suponía que era de 57000 toesas, es decir de 399000 pies castellanos o de 133000 varas de Castilla.

⁽²²⁾ Cuando Campomanes solicitó el ingreso en la Academia de la Historia manifestaba estar sobradamente instruido en latín, francés e italiano, con alguna tintura del griego y hebreo.

⁽²³⁾ Etimologías. Lib. 15: Primi autem Poeni dicuntur lapidibus vias stravisse; postea Romani eas per omnem pene orbem disposerunt, propter rectitudinem itinerum et ne plebs esset otiose.

⁽²⁴⁾ Campomanes escribió realmente sogas, en clara alusión a la cuerda con que medían los arpedonaptos egipcios.

⁽²⁵⁾ El correspondiente texto latino fue: *Mensuras viarum nos miliaria dicimus, Graeci stadia, Galli leugas, Aegypti schoenos, Persae parasangas. Sunt autem proprio quaeque spatio.*

⁽²⁶⁾ Campomanes señalaba también que en las leyes del fuero-juzgo (Recopilación de las leyes de los visigodos) las distancias siempre se contaban en millas.

⁽²⁷⁾ También llamados lapis, por ser piedras hincadas.



Figura 8. Milliarum Aureum en el Foro romano

Alfonso X el Sabio, cuando dispuso que la legua del rastro de la Corte constara de tres mil pasos(28).

Las millas romanas no se computaban desde el mismo punto origen, tal como recordaba Campomanes, en efecto: las del rastro se comenzaban a contar a partir de los muros de Roma, al contrario que las de las calzadas militares cuya milla cero coincidía con el llamado miliario áureo(29). Este miliario ya desaparecido(30) fue levantado por orden del emperador Augusto en el Forum Magnum(31), al tiempo que nombró Magistrados encargados de la conservación de las calzadas, especialmente las más próximas a Roma. Parece ser que la costumbre de grabar las distancias en los miliarios procede de la época de los Gracos, es decir del periodo comprendido entre los años 133 y 121 a. C. Campomanes trajo a

colación la opinión del hispanorromano Marco Fabio Quintiliano (c.39-85), según la cual la rotulación de las distancias en los miliarios obedeció también a la necesidad de informar a los caminantes acerca del camino recorrido y para que les sirviera de distracción(32).

De nuevo recurrió Campomanes a San Isidoro para asegurar que de todos los descubrimientos realizados en las calzadas se deducía que las distancias se evaluaban solamente mediante las millas, o migeros de mil pasos. El epígrafe dedicado a la milla se culminó recordando que las leyes de partida daban mil pasos a cada milla y tres millas a cada legua, resultando pues una legua de tres mil pasos. Igual había sucedido con las leyes del fuero-juzgo en las que las distancias itinerarias se medían en pasos, de manera que las partidas solo consagraron la tradición, según Campomanes(33).

PASO o TRANCO

Aunque la milla constase de mil pasos, recordaba Campomanes que, según Ambrosio de Morales (1513-1591) (34), había dos clases de pasos: el paso común,

o gressus(35), y el geométrico de cinco pies (también geométricos) que solían usar los geógrafos. Los pasos de que constaba la milla eran geométricos, a los que, en España, se llamaba trancos. El mismo Morales decía que su medida coincidía con lo que «se pueden extender las piernas, y apartar los pies, echando uno delante de otro». Ese mismo paso geométrico se citaba también en la Cosmografía de Apiano(36), revisada por Regnier Gemma Frisius (1508-1555), aunque con el nombre de pasada geométrica o doble. Campomanes hizo a continuación una matización importante: Es menester sin embargo advertir, que habiendo en el pie Romano al español la diferencia como de 12 a 13, esa misma hay en el paso español y pies de que se compone.

ESTADIO

Al referirse al estadio, eligió Campomanes el que constaba de ciento veinticinco pasos, o bien de seiscientos veinticinco pies. Tal número de pies era la octava parte de la milla, que tenía mil pasos o cinco mil pies. La elección no dejaba de tener sentido, pues no había nada tan incontestable en la metrología histórica como el hecho de que la milla romana tenía ocho estadios de los llamados olímpicos(37). Asimismo incluyó la referencia tan lógica que realizó en su momento Elio Antonio de Nebrija (1441-1522) con relación al pie romano y a la necesidad de compararlo

(28) Con el ánimo de ser riguroso, recordaba Campomanes que el rastro tuvo después cinco leguas, como constaba en las leyes de Ordenamiento y Recopilación, pero que el presente contexto solo interesaba resaltar la coincidencia entre los migeros y los miliarios, tomados ambos del derecho romano.

(29) En Constantinopla se instaló otro miliario, a comienzos del siglo IV, como origen de las distancias medidas sobre las rutas que conectaban la capital con las ciudades del resto del imperio bizantino. Tal miliario, llamado millón, se ubicó cerca de la famosa cisterna de la basílica.

(30) Al parecer solo se conserva parte de su base.

(31) Junto al desaparecido templo de Saturno.

(32) Así se recoge en su obra *Institutio Oratoria* (Libro IV cap. V):... non aliter quam facientibus iter multum detrahunt fatigationis notata inscriptis lapidibus spatia.

(33) Quien añadía que el nombre miliario se corrompió en migeros.

(34) Las Antigüedades de las ciudades de España, que van nombradas en la crónica con las averiguaciones de sus sitios y nombres antiguos. Madrid.1792.

(35) También llamado paso menor o de dos pies y medio (la mitad del paso geométrico), en Castilla era conocido también con el nombre de paso andante.

(36) Su verdadero nombre era Peter Bienewitz (1495-1552). Su *Cosmographicus Liber* fue publicado por primera vez en el año 1524.

(37) No obstante, la milla de Polibio tenía 8 y 1/3, la de Plutarco, Herón, Juliano, etc. Constaba de 7.5; finalmente la milla hebrea se componía de siete estadios y estaba contenida setecientas veces en el grado, una medida que equivalía a seis de los antiguos estadios egipcios.

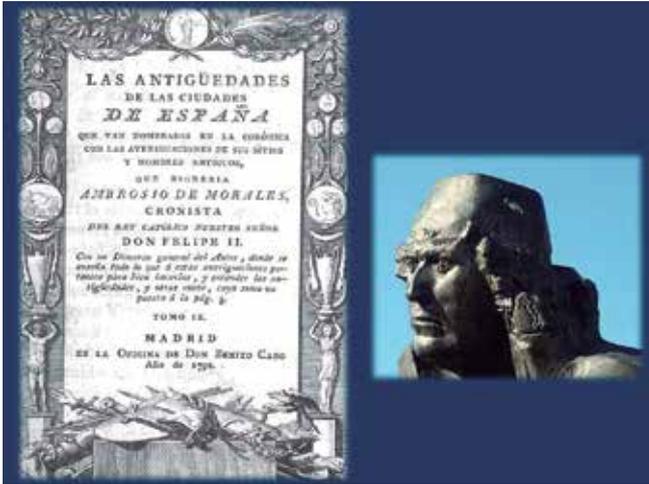


Figura 9. Las Antigüedades de las ciudades de España, que van nombradas en la crónica con las averiguaciones de sus sitios y nombres antiguos. Busto de Nebrija en una escultura erigida en Salamanca para conmemorar el V centenario de su *Introducción latinae* (1481). El autor de la escultura fue Pablo Serrano Aguilar (1908-1985)

con el pie castellano. La postilla la puso Ambrosio de Morales cuando añadía «Y así queda obligado el Geógrafo Español a buscar certidumbre en el tamaño de su pie antiguo para no errar en las distancias, que quisiera medir», tal como señalaba el mismo Campomanes.

PIE ESPAÑOL

En este apartado reivindicó Campomanes las aportaciones metrológicas de Nebrija, una circunstancia muy poco conocida fuera del reducido grupo de los especialistas⁽³⁸⁾. Este gramático insigne, el típico maestro del Renacimiento, intentó obviar, en lo posible, las incoherencias propias de las medidas de tipo antropométrico, construyendo para ello un prototipo. Todos sus estudios metrológicos los resumió en las lecturas que efectuó en la Universidad de Salamanca y que parcialmente son reproducidas por nuestro autor; un texto que, por su

trascendencia para la historia de la Metrología española, debe ser transcrito en este momento⁽³⁹⁾:

Este doctísimo varón leyó en la Universidad de Salamanca, en el año 1510, un discurso latino⁽⁴⁰⁾ en que determinó puntualmente la medida del pie. Dice pues que midió dos miliarios de la vía militar de Mérida⁽⁴¹⁾, y que el modo de

hallar el tamaño, o medida, del pie en el intervalo de dos miliarios fue este. Como cada miliario tiene mil pasos que hacen cinco mil pies, tomé un cordel que ni se pudiese aflojar ni encoger. Después medí el espacio que hay entre los dos miliarios, hasta que cien vueltas de aquel cordel comprendieron todo el trecho contenido entre los dos mármoles. La quincuagésima parte del cordel me demostró la medida determinada del pie, puesto que cada miliario está a distancia de cinco mil pies. Del estadio de Mérida dividido en CXXV pasos, y cada paso en cinco pies, me resultó la misma largura del pie: la cual señalé para ponerla de manifiesto al público en la magnífica Librería (que ahora se está construyendo en nuestra Universidad de Salamanca)

⁽³⁹⁾ Campomanes no mencionó otras contribuciones metrológicas del gramático, como la VII (De Ponderibus) y la VIII (De Numeris), que junto a la VI componían un verdadero Tratado de Metrología Romana, a juicio de Armando Cotarelo Valledor (1879-1950), al que se debe la obra *Nebrija Científico*. (Madrid, 1947).

⁽⁴⁰⁾ Repetitio Sexta de Mensuris.

⁽⁴¹⁾ Esta vía fue descrita en el Itinerario de Antonino (Iter ab Emerita Asturicam) como la calzada que unía Augusta Emerita (capital de Lusitania) con Asturica Augusta (Astorga).

para los usos venideros. A saber: para que siempre que ocurra alguna duda respecto a cualquier medida, se ajuste por aquel patrón, y a fin de que se sepa como dice el Apóstol: cuál es la largura, la anchura, la profundidad, y la sublimidad o altura. Lamentablemente no se conserva el referido patrón, el cual parece que no llegó a estar expuesto en la biblioteca salmantina, a tenor de lo expresado por A. de Morales: Más allá en su repetición de pesos y medidas, donde lo trata, no declaró que tanto sea, sino prometió dejarlo en la Librería de Salamanca, donde no quedó, y así se quedó sin poderse saber lo que él había averiguado.

Otra de las mediciones de que dio cuenta Campomanes fue la practicada por José Ginés de Sepúlveda (1490-1573), cronista de Carlos V y preceptor de su hijo Felipe, durante un viaje que realizó desde Badajoz hasta Lisboa para acompañar al Obispo de Cartagena. El propio cronista detalló sus operaciones en la carta⁽⁴²⁾ que escribió al príncipe Felipe, informándole que al pasar desde Salamanca a Mérida, por el camino de la Plata, había medido las distancias entre los miliarios. Así dedujo que el pie castellano era igual al romano. Parece ser que Sepúlveda había hecho en Roma un modelo metálico del pie, ajustándolo a sendos prototipos de piedra hallados en aquella ciudad, y que se lo entregó al futuro Felipe II. Sin embargo no tardó en ser refutado por Ambrosio de Morales, apoyándose en las mediciones sobre el terreno de Pedro Esquivel (¿-1750), en estos términos: Tomó buen medio, más aprovechose mal de él, pues resolvió que el pie Español conformaba en todo con el Romano.

Como bien explicaba Campomanes, la

⁽⁴²⁾ El texto en cuestión, contenido en la Epístola VI, es el que sigue: Patent igitur intervalla singula mille passus, hoc est, pedum quina millia, ratione ad veterem Romanorum consuetudinem pedisque mensuram revocata, quam anno superiore tibi ostendi, dedique, ad duas lapideas, quae Romae sunt in hortis Angeli Colotii per me ipsum emensam, ec perfecte coaequatam.

⁽³⁸⁾ A él se le atribuye la medición del arco de meridiano comprendido entre Burgo de Osma y Alcalá de Henares.



Figura 10. Acueducto de Mérida o de los Milagros, cuyas lumbreras fueron medidas por Pedro Esquivel



Figura 11. Prototipo de vara en la Catedral de Jaca. El empleo de esta vara jaquesa fue general en todo el antiguo reino de Aragón. Obsérvese que la marca es doble, en la superior aparece el patrón propiamente dicho y en la inferior el hueco en el que había que colocar la vara que se deseaba contrastar. Por encima de ambas señales y justo debajo del límite superior de la imagen hay otro segmento que parece corresponder al codo

escasa fiabilidad de las determinaciones de Sepúlveda y la pérdida del patrón de Nebrija, si es que llegó a materializarse, revalorizó sobremanera las operaciones llevadas a cabo por Esquivel sobre la misma calzada, además de las que hizo en las ciento cuarenta lumbreras del acueducto de Mérida. De nuevo cobra valor el trabajo de Ambrosio de Morales, pues a él se deben los detalles de la operación realizada por el matemático y cosmógrafo español, habida cuenta del extravío de documentos e instrumentos propios de las mediciones. Dos fueron sus medidas fundamentales, básicas para conocer con exactitud la verdadera magnitud del pie castellano antiguo. He aquí el texto que seleccionó Campomanes: El Maestro Esquivel mirando estas lumbreras, consideró como estaban todas a igual distancia. Pasó adelante imaginando, que tendrían aquellas distancias algún número cierto de pies que el artífice les daría. Midió por esto una distancia con cordel, y halló que tenía cincuenta varas justas, y lo mismo tenían todas las demás. De aquí entendió como en nuestra vara hay algunos pies al justo, y ellos forzosamente

han de ser tres; pues más, ni menos no les sufre la disconformidad y entendió también como el artífice había puesto las lumbreras a ciento y cincuenta pies. Y de todo resultó saber con certidumbre, que un pie antiguo español tenía tercia de nuestra vara castellana al justo, que era ser un poquito menor que el pie romano.

La segunda medición de Esquivel, mencionada por Campomanes, fue la de los intervalos definidos por diferentes miliarios de la calzada romana en un trayecto superior a las veinte leguas, usando para ello cordeles de 50 varas. El resultado de la operación lo daba el mismo Morales, en estos términos: Y siempre halló que había en cada distancia de mármoles a mármoles treinta y tres cordeles y tercia de cordel, sin haber en una más que en otra. Y estos cordeles hacen al justo los cinco mil pies, de que se hacen los mil pasos de cada milla. Esquivel midió además varias distancias sobre calzadas marcadas en el Itinerario de Antonino⁽⁴³⁾, comprobando que en una legua entraban cuatro de las millas acotadas en las mismas. Otra de sus comprobaciones añadidas fue la verificación, mediante el cordel de

50 varas, de las leguas de las calzadas, hallando en todas las ocasiones que prácticamente coincidían con las comunes, pero no con las legales de 5000 varas.

Campomanes recordó también la equivalencia establecida por Mariana entre el pie romano y el español⁽⁴⁴⁾, el cual era una onza menor que el anterior. El celebrado metrólogo lo comparó igualmente con el hebreo, un tercio mayor que el español, y con el griego mayor que el nuestro en una octava parte. Análogo estudio hizo García de Caballero⁽⁴⁵⁾ concluyendo que ambos pies se relacionaban como los números 12 y 13, una diferencia igual a la onza citada por Mariana. La contribución

⁽⁴³⁾ Recopilación de las vías romanas, identificándose en cada ruta las mansiones, millas y correspondencias. Del total de calzadas registradas (372), 34 correspondían a Hispania. El nombre hace referencia al emperador Antoninus Augustus Caracalla (188-217).

⁽⁴⁴⁾ Mariana llamaba al pie español toledano, apuntando Campomanes que mejor lo hubiera llamado burgalés, por ser tercia de la vara del padrón de Burgos.

⁽⁴⁵⁾ Al final de su Breve Cotejo incluía un gráfico muy claro entre las diferentes entre el pie castellano y los del resto de Europa.

RELACION DE LA VARA CASTELLANA CON OTRAS MEDIDAS EUROPEAS

Unidades	Partes	Proporción
Pie de París	1440	2.58
Pie de Londres	1350	2.84
Pie romano del Capitolio	1306	2.67
Pie del Rhin	1390	2.67
Pie de Bolonia	1682	2.21
Palmo de Nápoles	1169	3.17
Palmo de Génova	1118	3.32
Vara de Castilla	3710	1

metrológica de Jorge Juan (1713-1773) tampoco es olvidada por Campomanes, señalando que el marino había dividido la vara en 3710 partes, correspondiendo al pie castellano la tercera parte, o tercia, es decir 1263 y 2/3. En cambio, el pie capitolino, evaluado también por Jorge Juan, resultó tener 1306 partes. De manera que el del Capitolio era al español, prácticamente, como el 12 al

13, dando así la razón al ensayador mayor del reino(46).

VARA

La vara fue la unidad más empleada en España hasta que se implantó definitivamente el metro, no en vano fue calificada por Mariana como la fuente u origen de las demás medidas de nuestro país, un juicio que compartía García Caballero. Aunque Campomanes no lo comente, si es conveniente recordar que su valor dependía del lugar. En todo caso había dos que podrían considerarse fundamentales, por una parte la castellana, o de Burgos, y por otra la de Jaca, o jaquesa. Sus respectivas equivalencias métricas eran de aproximadamente 83 cm para la

primera y unos 77 cm para la segunda. Sus prototipos se repartieron por todo el territorio, como prueban dos ejemplos muy significativos: el de la vara castellana en la Plaza Chica de Zafra (Badajoz) y el de la vara jaquesa en la Catedral de Jaca (Huesca).

La antigüedad de la vara de Castilla está plenamente confirmada, como bien señalaba Campomanes. Así lo evidencia el hecho de que el rey Alfonso XI (1311-1350) mandase custodiar en el Archivo de la ciudad de Burgos el correspondiente patrón para que todo el reino la adoptase como referente(47). Finalmente incorporó Campomanes la relación de la vara con otras medidas europeas, recuperando para ello los datos que había proporcionado Jorge Juan y Antonio de Ulloa, trece años antes en sus Observaciones Astronómicas y Físicas, hechas por orden de Su Majestad...(48), y que figuran en la tabla adjunta:

(47) La disposición correspondiente la dictó el rey Alfonso en Segovia (1347) y en Alcalá (1348). Dos siglos después la repetiría Felipe II, mediante una pragmática firmada en el Escorial (1568). En todas las ocasiones se mantuvo el texto que se reproduce a continuación: Y declaramos que la vara castellana, de que se ha de usar en todos estos Reynos, sea la que ha y tiene la Ciudad de Burgos, y que para este efecto las Ciudades, y Villas, que son cabezas de Partido en estos Reynos, hagan traer el padrón e marco de la vara castellana de la dicha ciudad de Burgos, el cual guarden, y por él se den, y marquen las varas que se gastaren en aquel partido.

(48) Concretamente en su libro VII, (sección III, capítulo V y página 304) bajo el epígrafe Determinación del valor del grado de Meridiano contiguo al Ecuador.

LEGUA LEGAL

Al igual que la vara era en España la medida menor(49) por excelencia, sucedía lo mismo con la legua para las medidas mayores o itinerarias, la cual era además la que tenía mayor desarrollo. Así lo entendía Campomanes, pues dedicó a su estudio la mayor parte de este capítulo metrológico. En primer lugar se refirió al origen del vocablo legua, citando, como ya hizo San Isidoro(50), que era de origen galo(51). Igual tesis defendieron muchos otros autores clásicos, como dejó escrito(52) el capellán de Felipe II, Sebastián de Covarrubias y Orozco (1539-1613). Algunos autores defienden la existencia de una sola legua de 5000 varas, o de 26.5 en el grado, apoyándose en la expresa referencia de las Partidas de Alfonso X el Sabio(53). Así lo creyeron también Sepúlveda y Jorge Juan, apuntando este último que la legua de 5000 varas era la legua española, excluyendo por consiguiente a todas las demás, tal como citaba Campomanes. Más concreto todavía fue Covarrubias en su Tesoro de la Lengua, pues indicaba que la legua era el espacio de camino que contenía en sí tres millas; opinión que compartía con él Diego de Covarrubias y Leiva (1512-1613), tío y protector del anterior, además de Obispo de Cuenca.

(49) Campomanes llamaba subalternas a las medidas menores.

(50) Leuca finitur passibus mille quingentis, Isid. Orig. 15, 16: cum et Latini mille passus vocent, et Galli leucas

(51) Campomanes recordaba, no obstante, que la legua de los galos era muy corta ya que solo tenía quinientos pasos, es decir media milla romana; según refirió el mismo San Isidoro.

(52) Tesoro de la lengua castellana o española, publicado por primera vez en el año 1611.

(53) Allí se mencionaba de manera expresa que la legua era de tres millas o migeros. También se mencionaba en la Nueva Recopilación, antiguo cuerpo legal de la Monarquía Hispánica del Antiguo Régimen, sancionado oficialmente el 14 de marzo de 1567 por el rey Felipe II.



Figura 12. La Puerta de los Mártires en 1565. Grabado de Anton Van den Wyngaerde (1575-1571), conocido, en España, como Antón de las Viñas o Antón de Bruselas

A este mismo tipo de leguas ya se había referido extensamente Ambrosio de Morales, advirtiendo que también era conocida con el nombre de Cordel de la Corte, como ya es sabido. Sus medidas fueron muy claras: tres millas, o 5000 varas, o 15000 pies⁽⁵⁴⁾. Sin embargo no había unanimidad sobre este particular, tal como reflejó Campomanes, pues según él tanto Mariana como García Caballero cometieron el mismo error al suponer que el valor de la legua legal era de 5000 pasos o 25000 pies⁽⁵⁵⁾. Jorge Juan, en las Observaciones ya referidas, aclaraba por fin la cuestión, al entender que el desarrollo del grado del meridiano contiguo al Ecuador comprendía

26.5 leguas españolas, consideradas estas de 5000 varas. Su aproximación a esta legua legal, la culminó Campomanes con un serio reproche al matemático, y cartógrafo, Andrés García de Céspedes

⁽⁵⁴⁾ Campomanes reproducía un párrafo de Morales, muy significativo, a este propósito: «...cordel de la Corte, para incluir, o excluir jurisdicciones, y para no hacer compras los regatones, y para otras cosas. Y habiéndose reformado algunas veces el cordel de la Corte, siempre se ha reducido a esta medida.

⁽⁵⁵⁾ ...pero se engañó al respecto a que las 5000 varas de que consta solo hacen 15000 pies, o tercias de vara castellana. En otro lugar se su exposición añadía que se conoce que en la impresión hubo yerro contra la mente de este doctísimo Escritor (se refería a Mariana).

(1560-1611), por haberla confundido con la legua española: ...pero se opuso al general sentir de la Nación, se ñaladamente al de nuestros Cosmógrafos, como se verá luego. De que resulta que los cálculos de leguas, excepto en lo forense jamás se han hecho por la legua legal, sino por la común, según lo manifiestan el

mismo nombre y la experiencia.

LEGUA COMÚN

El aparente carácter local de la legua y la consecuente dificultad que surge para considerarla itineraria, fue superado por Campomanes, aunque confesara que en su computación «se encuentra efectivamente variedad». Sin embargo no tardaba en añadir que «la legua común es cosa muy diferente de la lengua computada, o vulgar». La razón que aducía era consistente «porque al paso que esta no tiene medida determinada, la común la tiene clara y cierta de cuatro millas antiguas, como lo prueban casi todos nuestros Autores Españoles»; de hecho Sepúlveda, en sus mediciones extremeñas, halló esa misma correspondencia⁽⁵⁶⁾. Campomanes aportó, como prueba suplementaria, la expresa definición de la legua que había dado siglos atrás el historiador Florián de Ocampo (1513-1590): Son estas leguas una cierta distancia llamada de tal

⁽⁵⁶⁾ En su carta al príncipe Felipe escribía: «...Illud etiam gratissimum quod spatium a nostris leucam appellatum, passum non tribus ut vulgo docti etiam homines opinantur, sed quator millibus constare, cum leucis milliarum non semel nec uno loco conferens manifestó deprehendi...»

nombre, que los Españoles usan en sus caminos, poniendo por cada legua 4000 pasos tendidos, y por cada cual de estos pasos cinco pies de los comunes, ni muy grandes, ni muy pequeños, así que cada legua tenga 20000 pies de estos tales.

De nuevo recurre Campomanes a los experimentos topográficos de Esquivel, a través del cronista Ambrosio de Morales, para insistir aún más en la verdadera magnitud esta legua: Cuatro⁽⁵⁷⁾ que hacen una legua, ciento y treinta y tres cordeles y tercia de cordel, en que habrá cuatro mil pasos, seis mil seiscientos y sesenta y seis varas y dos tercias, y veinte mil pies. Muchas de las mediciones del catedrático de Alcalá se efectuaron, como es notorio, sobre la calzada de Mérida, comprobando, según Campomanes, que donde ponen comúnmente diez leguas, se hallan cuarenta de aquellos espacios señalados con las columnas: que es lo mismo que cuarenta millas por diez leguas, a razón de cuatro millas por cada una. Aunque Esquivel realzó otras comprobaciones en vías del Itinerario de Antonino, lo resaltable en este contexto es su intento de fijar un prototipo sobre el terreno. Ciertamente, Ambrosio de Morales dejó escrito que Esquivel le había comentado que desde el umbral de la Puerta de los Mártires, en Alcalá de Henares, hasta la pared de un mesón llamado Canaleja había justamente una legua de las de a cuatro millas, la cual podría servir muy bien de vara de medir para todas las leguas de España. Para Campomanes no había pues duda de ninguna clase: la exactitud y precisión de las operaciones de Esquivel... hacen ver que esta materia quedó perfectamente averiguada y reducida la legua común española a 4000 pasos o 6666 y 2/3 varas castellanas, ó 20000 pies, ó cuatro millas de 33 y 1/3 cordeles, dando a cada cordel 50 varas.

También están de acuerdo con que la

⁽⁵⁷⁾ Se refería implícitamente a las millas.



Figura 13. Puente de Cernaleda sobre el río Tea y calzada XVIII del Itinerario de Antonino. Mondariz (Pontevedra)



Figura 14. Escultura dedicada a Campomanes en una calle de Oviedo, que lleva su nombre. El autor de la misma fue Amado González Hevia y se colocó en el año 2003

legua común tenía cuatro millas, tanto Mariana como Ocampo, a pesar de que consideraban real la disparidad entre las diferentes leguas provinciales. Así lo certificó el primero de los dos en su obra *De ponderibus et mensuris*, al observar que el arzobispo San Ildefonso (606-669), en la vida del mártir Asturio(58), aseguraba que Alcalá distaba 60 millas de Toledo, o 60000 pasos, y que entre esas dos ciudades se contaban quince leguas. En cualquier caso, es evidente que la existencia de las dos leguas, legal y común, obligatoriamente producirían conflictos; así lo reconocía explícitamente Campomanes con estas palabras: ... pretendiendo muchos reducir a legales todas las leguas, se motivaron diversos recursos. El primero lo introdujeron los Procuradores de Cortes en las de Valladolid de 1537, pidiendo que se midiese la distancia de Matapozuelos y Alcazaren, para saber si estaban dentro de las cinco leguas del rastro de Valladolid; pero la respuesta de S.M. fue: A esto os respondemos, que mandamos que no se haga en esto novedad.

El propio Felipe II (1527-1598), queriendo evitar la proliferación de

pleitos, emitió una pragmática(59) el 8 de enero de 1587, cuyo contenido fue eminentemente metrológico e incluido en un informe emitido en Toledo (1758) sobre la homogenización de pesas y medidas(60). Campomanes reprodujo un párrafo de dicha pragmática que es del todo elocuente: ... Por la cual ordenamos, y mandamos, que todas, y cualesquiera leyes, y pragmáticas, Cédulas, y provisiones nuestras, de cualquier calidad, que sean, que hablan y hacen mención de leguas, y hablaren de aquí en adelante, se hayan de entender, y entiendan de leguas comunes, y vulgares, y no de las que llaman Legales: y así se haya de juzgar, y juzgue por los del nuestro Consejo, Presidentes, y Oidores de las nuestras Audiencias, y Chancillerías, y por todas las otras Justicias en los Pleitos, que de aquí en adelante se movieren, y en los que al presente hay pendientes, y no estuvieren fenecidos...

Terminada su incursión legal, retoma Campomanes la búsqueda del verdadero

desarrollo de la legua común y tiene en cuenta el relato efectuado por el portugués Gaspar Barreiros de Sexas (¿-1574) del viaje realizado, desde Badajoz a Milán, en el año 1546. En él se repite que siempre computaba cuatro millas por legua, como sucedía con las 24 millas que separaban Arriaca (Guadalajara) de Cessata (Hita) (61), las cuales concordaban con las seis leguas que cuentan de Guadalajara a Hita, que es el dicho lugar de Cessata. Por otro lado, el propio viajero portugués había transformado los 40000 pasos existentes entre Esur y Mértola en diez leguas. Barreiro pensaba que los antiguos no habían medido las millas de las calzadas romanas mediante pasos y estadios fijos, sino que, por el contrario, lo hicieron por una estimativa, y discurso general, por el cual los hombres juzgan las cosas, como Antonino las millas al poco más o menos. Asimismo se desprende de su relato que en Portugal el uso de la legua común estaba tan arraigado como en España.

A la vista de todos esos testimonios, concluía Campomanes con el resultado siguiente: De que se infiere que la regla de medir las leguas comunes, es constante, cierta, e invariable, por más que una,

(58) Decapitado en Cesarea (siglo III).

(59) Pragmática en que se declara que las leguas se han de entender Leguas Comunes, y Vulgares, y no de las que se llaman Legales.

(60) «Informe de la Imperial Ciudad de Toledo al Real y Supremo Consejo de Castilla sobre Igualación de Pesos y Medidas en todos los Reinos y Señoríos de S. MAG». 1758.

(61) En el Itinerario de Antonino figuraban 24 millas entre Arriaca y Cessata.

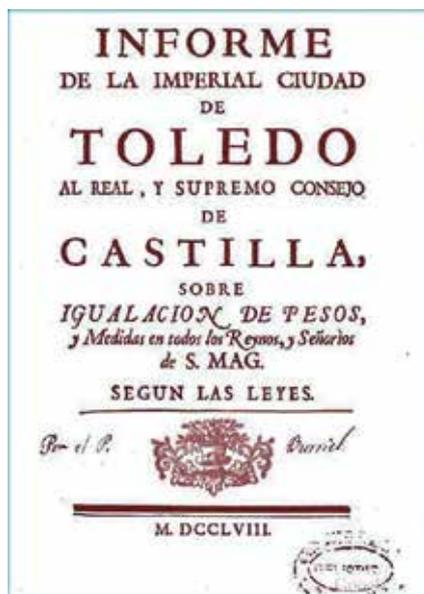


Figura 15. Informe metrológico de la Imperial Ciudad de Toledo. 1758

u otra legua vulgar varíe en algo más, o menos, y no sea tan constante, y justa como la que midió Esquivel desde el umbral de la Puerta de los Mártires de Alcalá a la pared del mesón del lugar de Canaleja. Más adelante añadía que las postas y las distancias correspondientes estaban reguladas con esa equivalencia de cuatro millas por legua, cumpliéndose así no solo la pragmática de Felipe II, promulgada el 8 de enero de 1587, sino también la

Real Ordenanza de Felipe V (1683-1746), promulgada en el año 1720.

LEGUA GEOGRÁFICA o de 17.5 al grado

La tercera clase de leguas usadas en España fue la llamada geográfica o de 17.5 en el grado, la empleada por geógrafos y marinos; de la importancia que le daba Campomanes da fe la extensión

de este epígrafe (la mayor de todas) y el hecho de que cerrase así este el capítulo metrológico. Ya desde el comienzo se pone de manifiesto la utilidad de esta medida itineraria, una especie de prototipo universal, en tanto que con ella se podían uniformizar las medidas de los diferentes países, así lo explicaba Campomanes: Todas las Naciones en sus provincias particulares experimentan el perjuicio de la variedad, y diferencia en las medidas itinerarias, y por eso han convenido en una general. Las Provincias de Francia, las de Italia, y las de Alemania varían mucho en estas medidas; pero las leguas, o millas comunes, o generales de estas Naciones no por eso dejan de ser constantes y ciertas⁽⁶²⁾.

El resto del trabajo de Campomanes es prueba palpable de sus múltiples conocimientos cosmográficos, en los que no faltaban las obligadas referencias de los autores más señalados en esas materias, tanto nacionales como foráneos. Su exposición se inició recordando el papel tan preponderante que habían jugado los pilotos y cosmógrafos de la Casa de Contratación, un centro sin parangón en su tiempo y una verdadera Escuela de Cosmografía y de Náutica, que situó a España en la vanguardia de tales disciplinas científicas. No obstante, ha de tenerse muy presente que las representaciones cartográficas de aquel periodo histórico adolecían de varios defectos insuperables, destacando la imposibilidad manifiesta de hallar las longitudes geográficas con la incertidumbre debida y la adopción del modelo esférico de la Tierra, el cual no sería sustituido por el elipsoide de revolución hasta la segunda mitad del siglo XVIII. La formación de los mapas era una cuestión de estado, como bien

señalaba Campomanes, en cuanto que ya eran considerados como un buen instrumento de poder y gobierno.

Se entiende así la involucración permanente de la corona en las decisiones más relevantes: Isabel la Católica (1451-1504) creó la Casa de Contratación mediante la Real Cédula del 20 de enero de 1503, más tarde su nieto Carlos I (1516-1556) ⁽⁶³⁾ y su bisnieto Felipe II intervendrían decisivamente en la regulación de sus actividades. Así lo pensaba Campomanes cuando transcribió parcialmente la ordenanza CXXVI, avalada por el emperador y el príncipe, incluida después en la ley 12 del libro VIII (Título XXIII) de la Recopilación de Indias⁽⁶⁴⁾: Con mucho acuerdo, y deliberación de Pilotos, Cosmógrafos, y Maestros se hizo un Padrón general en plano, y se asentaron en un Libro las Islas, Bahías, Bajos y Puertos, y su forma, en los grados, y distancias del viaje, y continente descubierto de las Indias, el cual Padrón, y Libro está en la Casas de Contratación de Sevilla, en poder del Presidente, y Jueces de ella, que los deben tener bien guardados, y reservados para cuando se haya de usar de ellos. Y porque así conviene, mandamos que las cartas que hicieren los Cosmógrafos, sean del dicho Padrón, y Libro, y no se use de ellas en otra forma, y cualquiera de nuestros Cosmógrafos, que faltare a este ajustamiento, y puntualidad, incurra en pena de suspensión de oficio, a nuestra voluntad, y cincuenta mil maravedís para nuestra Cámara: y el Presidente, y Jueces tengan continuo cuidado en ordenar, y los que hacen las dichas cartas, para que añadan lo que de nuevo se hallare al principio de cada un año, con el Piloto Mayor, y otras personas sabias en el arte de navegar, que vean,

⁽⁶²⁾ Estas medidas ordinariamente se introdujeron por la computación de hombres experimentados; insensiblemente se fueron adoptando por la Nación, y finalmente las leyes que desean la constancia de las medidas las autorizaron; pues primero hubo medidas que leyes sobre el uso de ellas.

⁽⁶³⁾ Al emperador se le debió la creación en el año 1524 del Real y Supremo Consejo de Indias, en el que se integraría la Casa de Contratación.

⁽⁶⁴⁾ Esta ordenanza fue emitida por las Cortes de Monzón (Aragón) el día cuatro de diciembre del año 1552.



Figura 16. El Arte de Navegar de Rodrigo Zamorano Ciudad de Toledo. 1758

y reconozcan las relaciones que los demás Pilotos hubieren traído de las Islas, Puertos y Bajos, y lo demás que hubieren visto, y notado; y si hallaren que alguna cosa se debe enmendar, o añadir, o quitar, lo hagan, y se asiente en el dicho Libro: y si algo se ofreciere entre año, tan importante, que se deba luego proveer, sin esperar al tiempo referido, en tal caso hagan juntar luego a los susodichos, y ejecuten lo que pareciere más conveniente, y necesario.

La ordenanza disponía, indirectamente, la necesidad de fijar las distancias en leguas, pues se daba por supuesto que las distancias habían de medirse en grados y estos en leguas. Campomanes pensaba que una de las primeras equivalencias, en las que intervenía la legua española, fue citada por Apiano en la versión castellana de su *Cosmografía* (Amberes, 1575), según la cual, el grado de la equinoccial constaba de 18 leguas españolas. Para Campomanes, esa versión de la cosmografía incluía una

descripción de las Indias extraída de la obra de Francisco López de Gómara (1511-

1566), titulada *Historia General de las Indias*(65) (1552). En ella se expresaban las distancias en leguas y grados, significándose además lo siguiente: La cuenta que yo llevo en las leguas y grados va según las cartas de los cosmógrafos del Rey, y ellos no reciben ni asientan relación de ningún piloto sin juramento y testigo(66). Así se ponía de manifiesto, según aquel, el buen hacer de los cosmógrafos y la vigencia de los mapas que manejaban, los cuales debían actualizar permanentemente.

La selección de los cosmógrafos de la Casa de Contratación, efectuada por Campomanes, la encabezó un vallisoletano ilustre: el Piloto Mayor de su Majestad y Catedrático de Cosmografía Rodrigo Zamorano (1542-1623). El motivo no fue otro que en su *Compendio del Arte de Navegar*(67) (Sevilla, 1588), y más concretamente en su capítulo octavo (*La Cantidad absoluta de la tierra*), se expresan las medidas de la Tierra en grados y leguas. A su circunferencia máxima le asignó seis mil trescientas leguas españolas comunes, lo que equivalía a afirmar que el desarrollo de un grado del meridiano constaba de 17.5 leguas; más adelante añadía que cada legua tenía cuatro mil pasos, cada paso cinco pies, y cada pie dieciséis dedos, en cada uno de los cuales entraban cuatro granos de cebada(68). Esa equivalencia

entre el grado y las leguas fue repetida en su *Carta de Marear*(69), cuya primera edición apareció en Sevilla en el año 1579.

Continuaba la relación con García de Céspedes, el cual plasmó en su *Regimiento de Navegación*(70) (Madrid, 1605) idéntica relación entre el grado de latitud y la legua española: según la común opinión corresponde a cada grado de elevación de Polo 17.5 leguas españolas. Surge de nuevo, en este momento, la duda que planteó en su momento Céspedes, a propósito del desarrollo de la legua española, una duda que según Campomanes obedecía a dos causas. Por un lado, el no saberse el número de estadios de que constaba dicha legua y por otro la gran variedad de valores que suponía este cosmógrafo. El caso es que llegó a la conclusión de que la legua española era de 5000 varas, o de 150000 pies, con la equivocación de pensar que estaba incluida 17.5 veces en el grado de meridiano. Jorge Juan demostró dicho error, ya que tomando la legua legal por la española el resultado no sería 17.5 sino 26.5, el resultado de dividir las varas del grado (132203) por 5000 (las varas de la legua legal).

Campomanes trató de desmontar a continuación las dudas planteadas por Céspedes, a propósito del número de estadios de la legua y de la variedad existente entre sus valores. En relación

(65) El título completo de su trabajo fue *Primera y segunda parte de la Historia General de las Indias con todo el descubrimiento y cosas notables que han acaecido desde que se ganaron hasta el año de 1551. Con la conquista de México de la Nueva España*. El libro fue prohibido por el emperador en 1553, una decisión que fue prorrogada por su hijo Felipe II. No se saben bien los motivos, aunque pudieran referirse a las críticas realizadas a los reyes católicos, las alabanzas excesivas a Hernán Cortés (1485-1547) o el modo en que se refería al secretario de Carlos V, Francisco de los Cobos y Molina (1477-1547).

(66) Al final del Capítulo XII (*Sitio de las Indias*).

(67) Campomanes escribió, por error, 1608.

(68) ...comparada con el cielo de las estrellas, sea como centro y punto, con todo ello tomada por sí, tiene en su mayor círculo seis mil y trescientas leguas españolas comunes. Lo cual se percibe de que tomadas dos puntas, o cabos de tierra, que entre sí estén en una línea meridiana y diferentes en apartamiento del medio del mundo por una parte de las que el mundo tiene trescientas y sesenta, se halla así por navegaciones, como por camino de tierra, que distan por diez y siete leguas y media, de las que cada una tiene cuatro mil pasos, y cada paso cinco pies, y cada pie diez y seis dedos, y cada dedo cuatro granos de cebada.

(69) Campomanes da la siguiente referencia (Cap.24. fol. 46): ...de las leguas, que corresponden en la navegación a cada grado de altura por cualquier rumbo.

(70) El título completo fue: *Regimiento de Navegación Mandó hacer el rey Nuestro Señor por Orden de su Consejo Real de las Indias*.

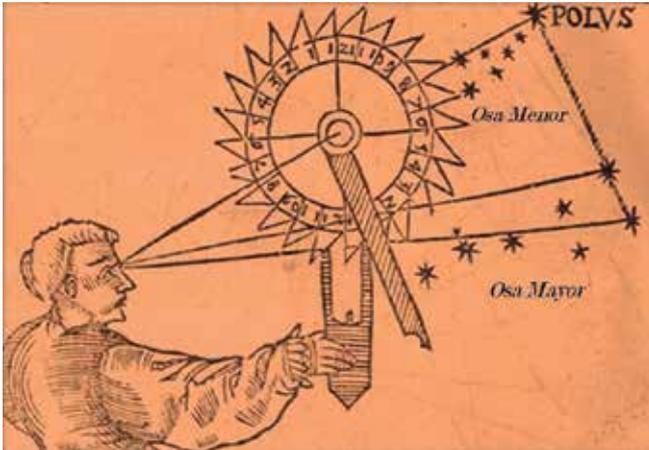


Figura 17. Midiendo la altura del Polo, supuesto coincidente con la estrella polar. Obsérvese que dos de las estrellas de la Osa Mayor están sensiblemente alineadas con el Polo. Ilustración de la *Cosmografía* de Apiano

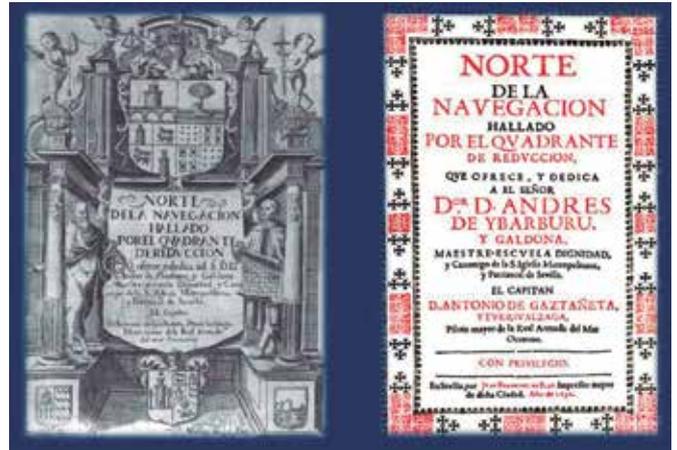


Figura 18. Frontispicio y portada del libro *Norte de la Navegación*. José Antonio de Gaztañeta (1692)

con la primera decía que no alcanzaba a comprender su pretensión, pues era sabida la relación del estadio con la milla: «...de la cual es una octava parte. Pero en España aún esto es ocioso, midiéndose tanto las leguas legales como las comunes por varas, y así es determinada la legua legal por 3000 pasos, 5000 varas o

15000 pies; del modo mismo que la común por 4000 pasos, o 20000 pies antiguos, o 32 estadios que hacen cuatro millas de a ocho estadios cada una». También refería Campomanes la diferencia entre la legua geográfica y la común, la cual estribaba en que los pies, de que constaba la primera, debían considerarse geométricos, o romanos, cuya relación con los españoles era de 12/13, añadiendo «porque la legua geográfica fue conocida, y anterior a la medida de Esquivel, y determinación del pie español». En cuanto a la diversidad de las leguas, recurría Campomanes a la autoridad del cosmógrafo Zamorano(71), quien había determinado que cada legua de las de 17.5 en el grado era en realidad la legua común

española de 4000 pasos: «De que resulta que la variedad de la legua de 17.5 en el grado no pende de que ella en sí sea inconstante, sino de la variación de las leguas terrestres, con que se compara».

El siguiente autor mencionado por Campomanes fue el portugués Antonio de Nájera, puesto que en el prólogo de su libro *Navegación Especulativa y Práctica*(72) (Lisboa, 1628), criticaba la obra de los dos cosmógrafos anteriores, dando la razón a Zamorano. La equivalencia entre el grado y la legua geográfica tampoco ofrecía novedad alguna, ya que repite la relación fijada por aquel: los Geógrafos tiene observado, que cada grado, que se les levanta, o baja la estrella del Polo(73), le responde de camino distancia de 17 leguas y media, por lo cual dieron a todo el ámbito de la tierra y agua 6300 leguas: lo cual no pudiera ser con esta regularidad, si no fueran estos dos cuerpos juntos esféricos. Trajo también a colación la obra geográfica(74) del general

toledano Sebastián Fernández de Medrano (1646-1705), director de la Academia de Matemáticas de Bruselas y autor de un informe sobre su funcionamiento, en el que se apoyó el rey Carlos II para fundar la Academia Militar de Barcelona (1700).

Al tratar en él de la magnitud de la Tierra, explicó detalladamente como se había medido el desarrollo de un grado del meridiano terrestre: ...supieron los matemáticos que a un grado de mayor círculo de la tierra correspondían 17.5 leguas, tomando un instrumento graduado, y eligiendo una Región muy llana, y notando en un paraje la altura del Polo, en que se hallaban, caminaron derechamente hacia el Norte hasta tanto que se hallaron en un grado más de altura: lo que sucedió al cabo de haber marchado 17.5 leguas, concluyendo con que a cada grado le correspondían otras tantas.

El penúltimo cosmógrafo referido por Campomanes fue el portugués Pedro Nunes (1502-1577), muy conocido en el mundo de la Geodesia y de la Cartografía por haber sido uno de los primeros estudiosos de las loxodrómicas, o líneas de igual acimut. Sin embargo, pasó a la posteridad por el invento del nonius con que dotó a los instrumentos

(71) El gran astrónomo jesuita José de Zaragoza y Vilanova (1627-1679), profesor del Colegio Imperial de Madrid, seguía repitiendo los valores asignados por Zamorano a la longitud de la circunferencia terrestre (6300 leguas españolas) y al desarrollo del grado (17.5 leguas españolas); añadiendo por su cuenta el valor del radio (≈1000 3 leguas españolas). Tales valores figuran en su obra más celebrada *Esfera en común Celeste y terráquea* (1675).

(72) *Navegación especulativa y practica: reformadas sus reglas y tablas por las observaciones de Ticho Brahe con enmienda de algunos yerros esenciales: todos provado con nuevas suposiciones mathematicas y demostraciones geométricos...*

(73) La altitud de un punto se puede definir como la altura del Polo (Polo Norte Celeste) sobre el horizonte del mismo. Como la llamada estrella del Polo (estrella polar), no coincide exactamente con él, la latitud obtenida por esa vía necesitaría ser corregida para aproximarse al verdadero valor de la misma.

(74) *Breve Tratado de Geografía* (1700), para el que contó con la colaboración de su alumno Próspero de Verboom (1667-1744), futuro creador del Real Cuerpo de Ingenieros.

DESARROLLO DEL GRADO		
Tipos	Varas	Pies
Cosmógrafos españoles antiguos	125650	376950
Mediano de las medidas modernas	133000	399000
DIFERENCIAS	7350	22050

A pesar de todo, Campomanes intentó guardar las apariencias, incluyendo una tabla en la que se vaciaban los desarrollos del grado, medido en varas y pies, según los cosmógrafos españoles antiguos y un hipotético grado medio (el mismo grado mediano) obtenido mediante las medidas modernas. En todo caso la diferencia entre los resultados de la tabla muestra con toda claridad la inconsistencia del modelo esférico de la Tierra, ya que con él se obtendrían resultados con un error por defecto próximo al seis por ciento.

JORNADA

La jornada fue la última medida itineraria a que se refirió Campomanes en su capítulo metrológico, recordando que estaba contemplada en el derecho español y asociada al seguro de que gozaban los viajeros, a la Corte del Rey, desde la época de Alfonso X el Sabio. Este monarca decía a tales efectos: ...esta seguridad deben haber desde el día que salieran de su casa hasta que lleguen a ella: y de sí al torno hasta que lleguen a sus lugares, andando todavía jornadas comunales. Se estimaba que la jornada de un día equivalía a diez leguas de andadura, debiendo entenderse que se trataba de leguas vulgares, por ser estas de las que hablaba la ley. La exposición de Campomanes concluía recordando que en el imperio romano se hablaba de mansiones, correspondiendo ocasionalmente a las jornadas en el ya citado Itinerario de Antonino, añadiendo: «también hay en el Itinerario mutaciones, que equivalían a nuestras Casas de Posta, pero como en los números de Antonino suele haber error, y el cotejo de los pasos y millas que distaban las mansiones, pida una mayor indagación, me contento con solo apuntar esta especie, dejando su examen por ahora, con lo que concluyo el discurso».

⁽⁷⁹⁾ Los meridianos eran elipses en lugar de circunferencias.

científicos que construía para aumentar la exactitud de las lecturas. El descubrimiento lo incluyó en su libro *Arte de Navegar*(75), en el que también figuraba la nota que llamó la atención de Campomanes: un grado de círculo máximo en la superficie de la Tierra contiene dieciséis leguas y media, siendo esa la opinión de los Cosmógrafos Portugueses.

Sorprende que Campomanes dejase para el final al cosmógrafo sevillano Pedro de Medina (1493-1567), máxime cuando en su *Arte de Navegar*(76) (1545), anterior a la ordenanza de Monzón, afirmase que cada grado constaba de diecisiete leguas y media. Otro de sus méritos añadidos fue el hecho de que su obra fuese una especie de libro de consulta al formar las cartas de marear. A él se debió también un Libro de Cosmografía, publicado en el año 1538, del que se ayudó para poder ingresar en la Casa de Contratación, en la que fue examinador de pilotos desde el año siguiente.

Ultimada la aportación de las pruebas, extraídas de obras cosmográficas tan notables, Campomanes coligió que no cabía duda acerca de la constancia de la legua geográfica y de que estaba avalada legalmente en nuestro país: como una medida constante, con que los españoles han dividido el grado. Asimismo continuaba insistiendo, al final de su alegato, en que la legua geográfica española equivalía a

4000 pasos romanos, a 20000 pies romanos, a 21538.5 pies castellanos o a 7180 varas castellanas, según la estimación de los Cosmógrafos españoles. Ya estaba en imprenta el *Itinerario de Postas*, cuando vio la luz una interesante publicación de José Antonio de Gaztañeta e Iturrizalza (1656-1728, su *Norte de la Navegación*(77) (1682). Se trató de un pequeño contratempo para Campomanes, que superó incluyendo una extensa nota a pie de página, para abundar aún más en que el valor del grado era de 17.5 leguas, tal como especificaba el gran marino vasco en su libro. En ella afirmaba, por otra parte y contundentemente, que su autoridad me parece que vale por muchas.

Alfinal, Campomanes tuvo que claudicar y terminar por aceptar valores sustancialmente diferentes del que tanto había defendido. Lamentablemente no entró a fondo en el asunto(78), limitándose tan solo a un breve apunte para aclarar que, según las medidas y las observaciones modernas, la magnitud recientemente obtenida para la legua era radicalmente distinta de la que indicaron los antiguos cosmógrafos españoles. El grave desencuentro fue debido a que el modelo matemático de la esfera terrestre había quedado superado por el elipsoidal, en el que el desarrollo del grado, y por tanto el de la legua definida en función de él, era dependiente de la latitud geográfica(79).

⁽⁷⁵⁾ De arte atque ratione navigandi. Coimbra (1573).

⁽⁷⁶⁾ Arte de navegar en que se contienen todas las reglas, declaraciones, secretos y avisos a que la buena navegación son necesarios, y se debe saber hecha por el maestro Pedro de Medina... Esta obra de náutica, la primera en ser impresa, se convirtió pronto en un verdadero manual para la formación de pilotos.

⁽⁷⁷⁾ Norte de la Navegación hallado por el cuadrante de reducción, que ofrece y dedica al Sr...

⁽⁷⁸⁾ Una omisión difícil de comprender, pues estaba al tanto de los resultados obtenidos en las expediciones científicas, auspiciadas por la Academia de Ciencias de París, para medir el grado de meridiano, en el Virreinato del Perú y en Laponia.

Epílogo

La influencia ejercida, por la obra metrológica y geográfica de Campomanes, sobre la producción bibliográfica posterior es una cuestión que todavía está pendiente de abordar con el suficiente detalle. Solo voy a dar aquí dos ejemplos, en cierto modo relacionados, uno cierto y otro muy verosímil. El segundo caso es la contribución metrológica del prestigioso cartógrafo y geógrafo francés Jean Baptiste Bourguignon de Anville (1697-

1782), plasmada en su libro *Traité des Mesures Itinéraires anciennes et modernes* (París, 1769). Y es que en su capítulo número XI, dedicado a la legua española, incluye numerosas referencias que coinciden con las desarrolladas por Campomanes. Se da además la circunstancia de que, en ocasiones, el texto recogido por el autor francés omitió palabras, que si incluyó Campomanes, básicas para comprender la idea que se pretendía transmitir. Lo sorprendente, a mi juicio, es que d'Anville no mencionase, en absoluto, el nombre del sabio español. D'Anville fue profesor del futuro cartógrafo Tomás López de Vargas y Machuca (1730-1802), cuando este se

desplazó⁽⁸⁰⁾ a París en 1752 comisionado por Zenón de Somodevilla y Bengoechea⁽⁸¹⁾ (1702-1781), siguiendo los consejos de Jorge Juan. A Tomás López se debe precisamente el primer ejemplo, ya que su interesante obra *Principios geográficos aplicados al uso de los mapas*, publicada en Madrid (1775), fue dedicada a Campomanes, al que consideraba un referente en los conocimientos geográficos y al que dedicó su libro. La dedicatoria refleja el respeto y consideración que sentía López hacia un personaje que había alcanzado ya el cenit de su carrera Primer Fiscal del Real y Supremo Consejo de Castilla. Su texto merece ser reproducido como homenaje a estos dos personajes, protagonistas singulares de la ciencia española en el Siglo de las Luces:

Parece natural que siempre que se ofrezca o dedique una obra, haya de ser a sujeto que tenga en ella conocimiento: porque se unen en este caso dos satisfacciones, que son el gusto del que la ofrece, y la complacencia del que la recibe. En lo acertado de mi elección no puede haber duda; pues dejando aparte las lisonjas, muy ajenas de V.S.I. todos saben de su talento en puntos geográficos; y si alguno ignorase este particular, podrá brevemente cerciorarse de ello con pasar la vista en su periplo; en el *Itinerario Real*



Figura 19. Homenaje postal al primer Conde de Campomanes, aprovechando la celebración del día del sello en el año 1992

de Postas de dentro y fuera de España, en la *Noticia Geográfica del reino y caminos de Portugal &c.* Si a V.S.I. presento este tratadito, no es porque lo creo perfecto, ni para que bajo su nombre se encubran sus defectos; pero si para suplicar disimule las faltas de los principios tan limitados de esta ensayo.

Nuestro Señor guarde la vida de V.S.I. muchos años. Madrid y Junio 8 de 1775. B.L.M. de V.S.I. su más rendido servidor. Tomás López.

⁽⁸⁰⁾ A Tomás López lo acompaña Juan de la Cruz Cano de Olmedilla (1734-1790), un cartógrafo más riguroso que su compañero pero mucho menos afortunado.

⁽⁸¹⁾ Marqués de la Ensenada.

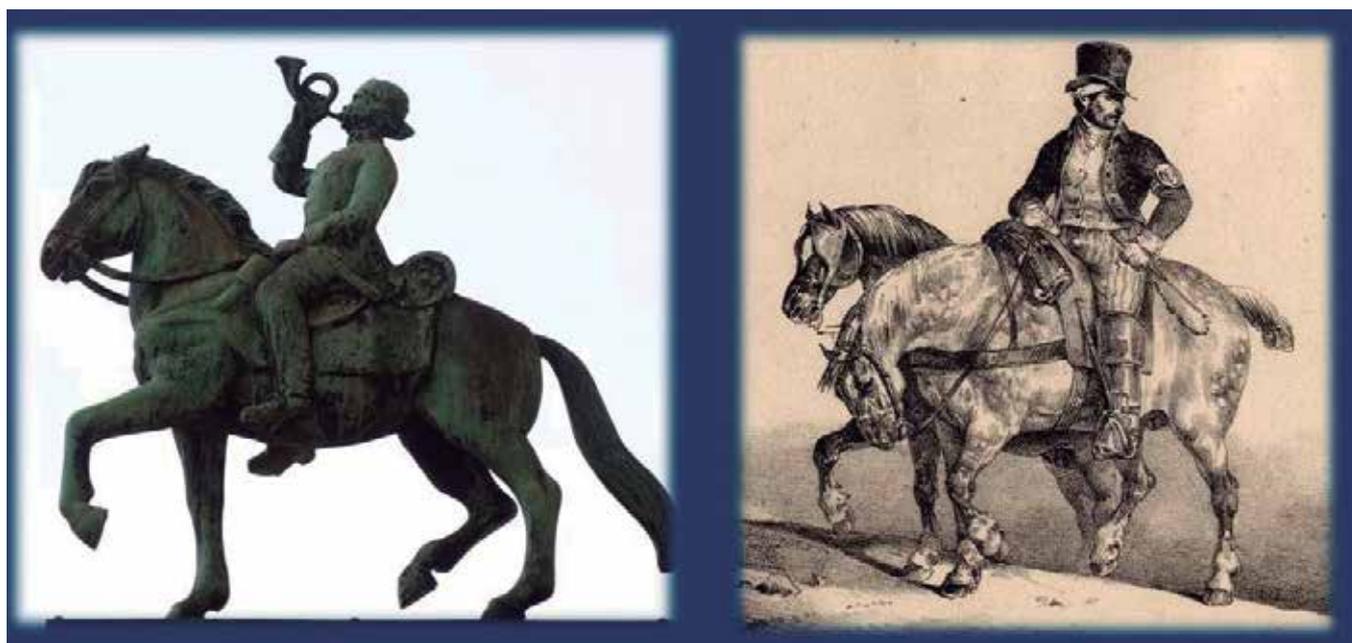


Figura 20. Dos imágenes del célebre postillón

Expanda su horizonte incluso a plena luz solar



FARO® LASER SCANNER FOCUS^{3D} X 330 EXPANDA SU HORIZONTE

Con su rango de escaneo extendido a más de trescientos metros, proporciona excelentes resultados en condiciones de luz solar directa e integra un GPS. El FARO Laser Scanner Focus^{3D} X 330 es el más ligero y compacto en todo el mundo y ofrece mediciones exactas tanto en interiores como en exteriores.

Llámenos al **00800 32 76 72 53** y solicite una demostración gratuita.

www.faro.com

FARO



Bischoff +Scheck utiliza los sistemas de seguimiento láser de FARO para conseguir una calidad reproducible y gran precisión en sus procesos de fabricación

La compañía reestructuró sus procesos de producción y aumentó su eficiencia, con ayuda de la última tecnología de medición láser de FARO. Ello le brindó nuevas oportunidades, como por ejemplo la fabricación en serie.

Cuando una empresa crece, inevitablemente llega un momento en el que hay que revisar y reestructurar las secuencias del proceso. En Bischoff + Scheck estas modificaciones y mejoras se realizaron con el objetivo de seguir garantizando la calidad y la rentabilidad a largo plazo. Bischoff + Scheck optó por la última tecnología de medición láser, de la mano de FARO, para ayudar en dichas tareas.

Concretamente, la tecnología de FARO ayudó a superar con nota la fase de correcciones en los procesos de fabricación en serie de la compañía y evolucionar a una nueva de mediciones precisas, que le permitió abrirse a nuevos pedidos. Todos los vehículos de Bischoff + Scheck son únicos y han sido especialmente diseñados a partir de los requisitos del cliente. Al principio a la empresa le valía con una cinta métrica y un nivel de agua, y solucionaba muchos de sus problemas realizando ajustes y pruebas una y otra vez. Pero cuando el volumen de pedidos aumentó, este método de trabajo pasó a ser demasiado costoso en términos de tiempo, lo cual también impedía a la empresa abrir sus puertas a nuevos clientes y pedidos.

Asimismo, durante ese periodo la empresa también generaba una gran cantidad de residuos, lo cual hacía aumentar los costes. Por tanto, Bischoff + Scheck básicamente reestructuró sus

procesos de producción y aumentó su eficiencia con ayuda de la última tecnología de medición láser de FARO. Ello no sólo tuvo como consecuencia una calidad más constante, sino que también le brindó nuevas oportunidades, como por ejemplo la fabricación en serie.

Al principio esto fue posible gracias al uso del Laser Tracker ION portátil de FARO. La tecnología de seguimiento láser le impresionó tanto, que ahora utiliza el último modelo, el FARO Laser Tracker Vantage, para medir los vehículos de transporte de grandes dimensiones. El Laser Tracker Vantage de FARO es un sistema de medición de alta precisión que permite comprobar la exactitud de

las piezas con el fin de garantizar una perfecta interacción de los componentes y las funciones.

«Pero no es suficiente solo con adquirir equipos de medición», explica Bernd Bischoff, fundador de la empresa. «Hay que coordinar todo el proceso con estos equipos. Por ejemplo, nosotros realizábamos cambios de diseño específicos y definíamos puntos de medición precisos sobre los vehículos. Si antes el proceso se definía exclusivamente por una producción a medida y única, ahora Bischoff + Scheck está cada vez más interesada en diseñar su producción a partir de factores económicos. Entre otros, esto incluye la producción de componentes independientes, que al final se unirán para crear el

Vehículo final. Algo así no funciona si no se tienen las medidas exactas con unas tolerancias definidas con precisión





construcción de vehículos con fines especiales.

Su nueva aventura comenzó diseñando y construyendo camiones que se transforman en puestos de venta para los mercadillos semanales, vehículos promocionales y transportes para

caballos. Actualmente, Bischoff + Scheck AG es una empresa consolidada en el campo del deporte del motor. Esta empresa líder ya está a la altura de cualquier reto, como por ejemplo el 'hospitality centre' que Bischoff + Scheck creó para Vodafone McLaren Mercedes. Este edificio de 2 plantas mide 16 x 18 metros, se desmonta por completo para su transporte y se monta en tan solo 2 días con 20 empleados. Se utilizó por primera vez en 2007 en Silverstone y sigue siendo el punto más destacado dentro de la competición que los equipos de Fórmula 1 mantienen para tener la presencia más impactante junto al circuito.

Por descontado, los 'hospitality centres' no son todo lo que Bischoff + Scheck AG realiza. La variada gama de productos de la empresa también incluye camiones de transporte para escuderías, vehículos todoterreno para expediciones, laboratorios médicos portátiles, vehículos de retransmisión televisiva de eventos y vehículos para fines especiales.

Desde su fundación, la empresa ha experimentado un crecimiento impresionante. En 1997 todavía se trabajaba en instalaciones alquiladas. Ahora su sede central se encuentra en el Baden Airpark, donde dispone de suficiente espacio para realizar sus proyectos a gran escala en un entorno de producción moderno.

Sobre Bischoff + Scheck

Bernd Bischoff, maestro constructor de motores, y Volker Scheck, graduado en ingeniería automovilística, tenían trabajos interesantes. Sin embargo, también tenían muchas ideas y pocas oportunidades de hacerlas realidad. Frustrados por esta situación decidieron fundar su propia empresa y especializarse en la

construcción de vehículos con fines especiales. Su nueva aventura comenzó diseñando y construyendo camiones que se transforman en puestos de venta para los mercadillos semanales, vehículos promocionales y transportes para

caballos. Actualmente, Bischoff + Scheck AG es una empresa consolidada en el campo del deporte del motor. Esta empresa líder ya está a la altura de cualquier reto, como por ejemplo el 'hospitality centre' que Bischoff + Scheck creó para Vodafone McLaren Mercedes. Este edificio de 2 plantas mide 16 x 18 metros, se desmonta por completo para su transporte y se monta en tan solo 2 días con 20 empleados. Se utilizó por primera vez en 2007 en Silverstone y sigue siendo el punto más destacado dentro de la competición que los equipos de Fórmula 1 mantienen para tener la presencia más impactante junto al circuito.

Desde su fundación, la empresa ha experimentado un crecimiento impresionante. En 1997 todavía se trabajaba en instalaciones alquiladas. Ahora su sede central se encuentra en el Baden Airpark, donde dispone de suficiente espacio para realizar sus proyectos a gran escala en un entorno de producción moderno.

Más información sobre Bischoff + Scheck AG: www.bischoff-scheck.de

Más información: www.faro.com/spain

Mapeando

Esta interesante aplicación nos va a enseñar desde cómo se hace un mapa, sus elementos (escalas, leyendas, simbología...) o la representación del relieve hasta cómo leerlos y todas sus utilidades prácticosen tu día o día.

Podremos introducirnos en el mundo de los mapas desde el principio de los tiempos hasta la actualidad y, nos daremos cuenta que a través de los descubrimientos el hombre va perfeccionándolos, y cómo en cada civilización se expresaban a través de los mismos representando en ellos no solo ros tenitorios descubiertos sino también los detalles de su vida y costumbres.

También podemos aprender las técnicas y los instrumentos que hacen posible la perfección de los mapas.

Ideal para todas aquellas personas interesadas en aumentar sus conocimientos en el campo de los mapas, su historia, su evolución y curiosidades hasta nuestros días.

Aprenderemos conceptos sobre temas tan interesantes como los Mapas Portulanos, los GPS, los mapas de navegación aérea, la geografía humana y la biogeografía. Y descubriremos como podemos orientarnos tonto por medios naturales, como mediante mapas y brújulas para llegar a nuestro destino.

Regularmente se irán añadiendo mapas antiguos de diferentes países y curiosidades refacionadas con los mapas.



FARO® lanza un escáner 3D portátil, innovador e intuitivo para satisfacer la creciente demanda de escaneado portátil

FARO Technologies anuncia el lanzamiento del nuevo escáner láser portátil FARO Freestyle3D, un dispositivo intuitivo y fácil de usar en arquitectura, ingeniería y construcción, además de por las fuerzas del orden (especialmente en criminología) y otros sectores.

El FARO Freestyle3D está equipado con una tablet Microsoft Surface™ y ofrece una visualización en tiempo real sin precedentes que permite al usuario ver nubes de puntos conforme se capturan los datos. El Freestyle3D escanea a una distancia de hasta tres metros y captura hasta 88000 puntos por segundo con una precisión superior a 1.5 mm. El sistema óptico autocompensador, cuya patente está en tramitación, también posibilita a los usuarios empezar a escanear de inmediato sin necesidad de un periodo previo de calentamiento.

«El Freestyle3D es la última incorporación a la gama de escaneado láser 3D de FARO y supone otro paso en nuestro viaje hacia la democratización del escaneado 3D», afirma Jay Freeland, presidente y CEO de FARO. «Tras la buena acogida de nuestros escáneres Focus3D para escaneado de largo alcance, hemos desarrollado un escáner que proporciona a los clientes la misma sensación y facilidad de uso para dispositivos portátiles».

La portabilidad del Freestyle3D permite a los usuarios manejar y escanear en áreas estrechas y de difícil acceso, como interiores de coche, debajo y detrás de mesas y otros objetos, lo que lo convierte en la solución ideal para recabar datos en la escena del crimen o en tareas de restauración y preservación arquitectónica. La tecnología de escaneado de memoria permite a los

usuarios del Freestyle3D pausar el escaneado en cualquier momento y continuar la recopilación de datos en el mismo punto sin usar objetivos artificiales.

El Sr. Freeland añade: «Los clientes de FARO siguen destacando la importancia de la simplicidad del flujo de trabajo, la

portabilidad y la asequibilidad como motivaciones claves de su uso continuo y la buena acogida del escaneado láser 3D. Nuestra respuesta ha sido desarrollar un dispositivo láser portátil con calidad industrial que fuera fácil de usar con un peso inferior a 1 kg».

El Freestyle3D se puede emplear como equipo independiente para escanear áreas de interés, o bien para su uso en combinación con los escáneres Focus



X 130 / X 330 de FARO. Los datos de las nubes de puntos de todos estos dispositivos se pueden integrar y compartir perfectamente con la totalidad de herramientas de software de visualización de FARO, incluidos los paquetes de FARO SCENE, WebShare Cloud y FARO CAD Zone.

Más información: www.faro.com/spain

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.



Fomento pondrá a disposición del público el inventario georreferenciado sobre cuevas, simas y manantiales

Los datos podrán consultarse a través del Portal de Geología y del IDENA, ambos accesibles desde www.navarra.es

El Departamento de Fomento del Gobierno foral, a través de la empresa pública Trabajos Catastrales de Navarra, va a poner a disposición del público el inventario de elaboración propia de 2.521 cuevas y simas y de 9.324 manantiales situados en la Comunidad foral, datos que hasta ahora estaban en forma de listado PDF y que ahora se podrán consultar georreferenciados, esto es, situados sobre la cartografía de Navarra.

Estos datos, recopilados por Fomento, se incorporarán tanto al Portal de Geología de Navarra, como una capa más para consulta, como a la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA), dependiente a su vez de del Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA), donde además de consultarse, pueden descargarse.

Una vez incorporados, ha explicado el Gobierno de Navarra en un comunicado, se podrá ver en el mapa la ubicación de las cuevas, simas y manantiales, junto con una pequeña ficha descriptiva en cada caso.

La información, que comenzó a recopilarse en los años 70, además de para divulgación científica resulta también útil en diversos aspectos, ha destacado el Ejecutivo. Así, por ejemplo, la ubicación de las cuevas es importante en labores de rescate y la ubicación de los manantiales es utilizada por entidades locales y Administración Local para la explotación del agua.

El inventario de cuevas y simas comenzó en los años 70 con la constitu-



ción de varios grupos de espeleología que contaron con el apoyo de la Diputación Foral, quien dotaba de material y avituallamiento a las expediciones que tenían lugar todos los veranos en los macizos kársticos y que pretendían conocer la situación de todas las cavidades de Navarra y la cartografía de muchas de ellas, de forma que la información se recogía también en el Servicio Geológico y se agregaba al inventario.

Posteriormente, se crearon otros grupos de espeleología y se modificó el sistema subvencionando parcialmente las expediciones que realizaban las labores de inventario de nuevas cavidades y su exploración que, en ocasiones, resultaba verdaderamente complicada. Por ejemplo, se encontraron simas de gran profundidad como la BU-56 en Larra, que fue récord del mundo en profundidad hasta que se encontró otra más profunda en los Alpes meses después.

Fomento ha reconocido el mérito de los distintos grupos de espeleología de Navarra, cuya actividad todavía continúa, y ha destacado que «sus aportaciones han resultado fundamentales a la hora de constituir el inventario de cavidades catalogadas y exploradas hasta el momento».

INVENTARIO DE MANANTIALES

Por su parte, el inventario de manantiales de Navarra comenzó en los 70 como parte del Proyecto Hidrogeológico que se realizó en dos fases que

finalizaron en 1982. Fue elaborado por personal de la Diputación Foral, constituyéndose varios equipos de campo que visitaron todos los municipios y poblaciones de Navarra localizando todos los manantiales existentes mediante consulta en los ayuntamientos y vecinos.

Una vez localizado un manantial, ha detallado el Ejecutivo, se situaba en campo en lo que se denominaba un «litoval» que era una copia en amoniacó en blanco y negro del negativo de las fotografías aéreas a escala 1:5.000 que representaba fielmente la fisonomía del territorio.

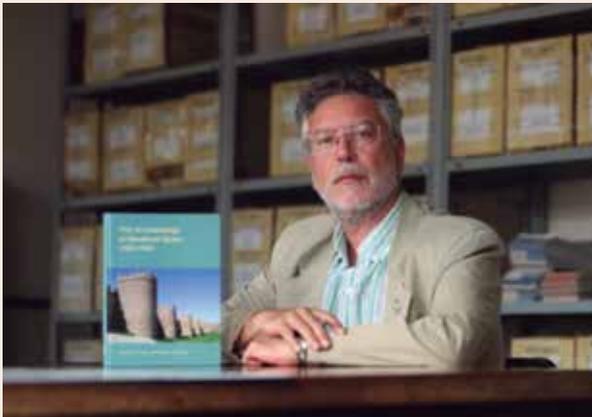
Posteriormente, se procedía a su aforo y se rellenaba una ficha en la que se incluían todos los datos, y, si el caudal era de cierta importancia, se tomaba una muestra para su análisis. Cuando se entregaban los datos en las dependencias del entonces Servicio Geológico de Navarra se procedía por parte del personal cualificado a su situación en la cartografía y a la asignación de las correspondientes coordenadas, que debían calcularse en cada caso, ya que entonces no se disponía de los medios actuales ni de GPS.

Asimismo, se valoraba en cada caso si los manantiales tenían suficiente interés para mantener un seguimiento de sus aportaciones estacionales y su calidad.

Fuente: EUROPA PRESS – PAMPLONA y EIDiarioNorte Navarra

Los monumentos medievales españoles, al descubierto en inglés

El investigador de la Universidad de Oviedo José Avelino Gutiérrez es coautor del primer manual sobre estos restos en la lengua anglosajona «Hemos situado España y su arqueología medieval en el mapa internacional, en el que hasta ahora era bastante desconocida». El profesor e investigador del Departamento de Historia de la Universidad de Oviedo José Avelino Gutiérrez es coautor,



José Avelino Gutierrez, con el manual del que es coautor. /

junto a Magdalena Valor, profesora de la Universidad de Sevilla, del primer manual sobre arqueología medieval española escrito en inglés. Publicado por la editorial británico-estadounidense Equinox Publishing, 'The Archaeology of Medieval Spain 1100-1500' recorre los principales lugares arqueológicos y monumentos de nuestro país entre los siglos XII y XV con carácter general.

Consta de once capítulos y en ellos se revisa la evolución de las ciudades y el poblamiento rural; la vida doméstica, la tecnología e industria de la época, así como el comercio y transporte y el peso de la religión dentro de la sociedad.

La visión de toda esa realidad se desgrana comparando la España que en aquel momento seguía formando parte de al-Andalus con el territorio

dominado por los reinos cristianos. En este segundo campo es el que ha abordado el profesor de la Universidad de Oviedo.

El manual revisa y compara los emplazamientos arqueológicos de mayor relevancia. «Junto a lugares de incomparable valor, como la Alhambra, existen excavaciones muy significativas y casi desconocidas en pequeñas aldeas», explica Gutiérrez.

La selección de los sitios arqueológicos da cabida a todas las regiones hispánicas. Dentro del Principado, el manual recoge, por ejemplo, la importancia de la Casa Palacio de

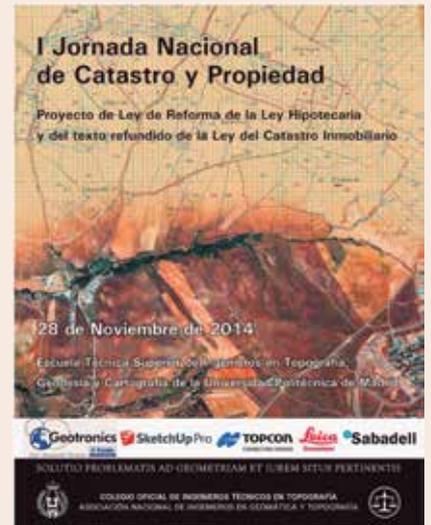
Valdecarzana o La Bargaña; la capilla funeraria de las Alas en Avilés o los restos hallados en las recientes excavaciones realizadas en el Monasterio de Corias de Cangas del Narcea. El trabajo se enmarca dentro de la serie europea sobre arqueología impulsada por universidades danesas, inglesas, francesas, alemanas y españolas. La

publicación cuenta con la colaboración de una veintena de expertos de universidades, museos y empresas dedicadas a la arqueología.

Fuente: *El Comercio-Asturias*

I Jornada Nacional de Catastro y Propiedad Internacional

El Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía y la Asociación Nacional de Ingenieros en Geomática y Topografía organizaron el 28 de noviembre de 2014 la I Jornada Nacional de Catastro y Propiedad dentro del Proyecto de la Junta de Gobierno sobre la Reforma de



la Ley Hipotecaria y del texto refundido de la Ley de Catastro Inmobiliario, bajo el lema «SOLUTIO PROBLEMATIS AD GEOMETRIAM ET IUREM SITUS PERTINENTIS».

La Jornada se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid, con el objetivo de dar a conocer el papel que pueden desarrollar los Ingenieros Técnicos en Topografía dentro del Proyecto de Reforma de la Ley Hipotecaria y del Catastro Inmobiliario.

La inauguración de las Jornada fue realizada por: D. Carlos Conde Lázaro, Rector de la Universidad Politécnica de Madrid; D. Benjamín Piña Patón, Presidente de la Jornada; Dña. Belén Navarro Heras, Directora General del Catastro; D. Francisco Javier Gómez Gálido, Director General de los Registros y del Notariado; D. Gonzalo Aguilera Anegón, Decano del Colegio de Registradores; D. Andrés Díez Galilea, Decano del Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía; D. Jordi Jané i Guasch, Diputado por CiU y Vicepresidente 4º del Congreso de los Diputados; D. Valeriano Gómez Sánchez, Diputado por el PSOE y Vocal de la Comisión Permanente del Congreso de los Diputados; D. Jorge Ibarondo Bajo, Senador por el PP y Portavoz Adjunto de la Comisión de Fomento del Senado; y D. Jesús Ve-



10 Jornadas Internacionales gvSIG

La Asociación gvSIG celebró durante los días 3, 4 y 5 de diciembre de 2014, en el Complejo Deportivo-Cultural La Petxina (Valencia-España), las 10as Jornadas Internacionales gvSIG bajo el lema «Estrategias Siglo XXI».

Como el año anterior, la Revista Internacional MAPPING colaboró en las Jornadas como medio de comunicación, llevando a cabo labores de difusión.

En esta ocasión eGeoMapping S.L. formó parte del Comité Científico, se hizo cargo de la moderación de la sesión 9ª y llevó a cabo el segundo taller de las Jornadas: Gestión de Espacios Naturales Protegidos y seguimiento de fauna con gvSIG.



Los contornos de una isla imaginaria: la mítica San Borondón

Manuel Poggio y Luis Regueira han llevado a cabo un estudio sobre la cartografía que se ha realizado sobre este misterioso territorio a lo largo de la historia, representado en decenas de mapas, incluido uno de Torriani.

Esta ínsula, sostienen los inves-

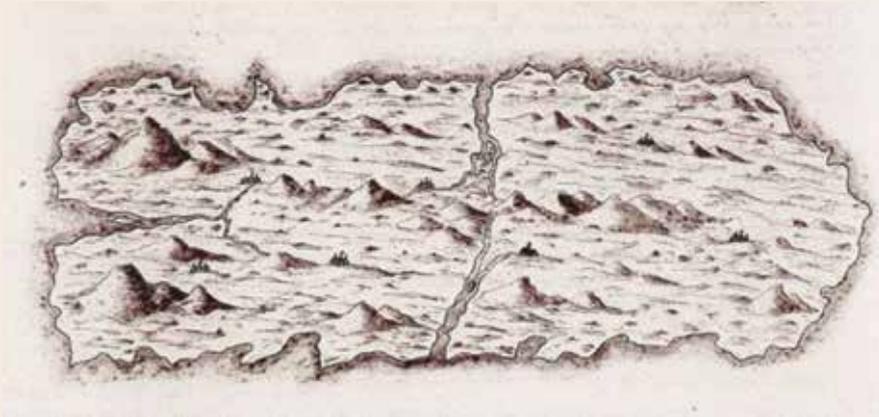
lasco Gómez, Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía de la UPM.

A lo largo de la Jornada se presentaron las siguientes ponencias:

- La identificación geográfica de las fincas. Coordinación: Registro-Catastro. Valoración del proyecto de ley en curso. Por D. Joaquín Delgado Ramos; Registrador de la Propiedad.
- Líneas básicas de la gestión jurídica de la información territorial. Por D. Antonio Jiménez Clar; Notario.
- Los topógrafos y la coordinación del Catastro y el Registro de la Propiedad. Por D. Pablo Puyal Sanz; Adjunto a la Directora General del Catastro.
- Objetivos finales de una reforma en riesgo de fracasar por defectos técnicos que traspasan líneas rojas (el Proyecto de Ley de Reforma de los arts. 9 y 10 LH). Por D. Óscar Vázquez Asenjo; Registrador de la Propiedad.
- Las Bases gráficas en el proyecto de Ley. Limitaciones. Por D. Miguel Ángel Castilla Blázquez; Vocal Responsable de Catastro, Registros y Notariado del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía.
- La Importancia del Sistema Geodésico de Referencia en las disposiciones normativas. Casos

prácticos. Por D. Javier González Matesanz, Subdirector General Adjunto en el Instituto Geográfico Nacional.

- Conflictos sobre la Propiedad Inmobiliaria y mediación. Por D. Agustín Azparren Lucas, Socio Director del Departamento de Derecho de Consumo y del Departamento de Calidad Jurídica de Martínez-Echevarría Abogados.
- Identifica la Propiedad y tendrás el Derecho. Por D. Daniel Bagalciaga Taborda, Perito Judicial.
- En la línea correcta. Por D. Ignacio Durán Boo, Director de Estrategia en Catastro y Territorio de Informática el Corte Inglés.
- Qualis sit et ad quae se extendat. Por José Antonio Suárez García, Delegado Territorial en Asturias del COITT, Coordinador del Gtc Equipo investigador en Geomática, Topografía y Cartografía de la Universidad de Oviedo.
- El Ejército de Tierra y los tratados de límites con Francia y Portugal. Por D. José Luis Sánchez Tello, Teniente Coronel del Servicio Geográfico del Ejército.
- La Propiedad inmobiliaria y el Catastro en la Titulación de Grado en Ingeniería Geomática y Topografía. D. Jesús Velasco Gómez. Universidad Politécnica de Madrid.



En la imagen, mapa que realizó Leonardo Torriani sobre San Borondón en 1592

tigadores, «conforma uno de los paisajes más cautivadores de nuestra historia y de nuestra geografía» y «ha penetrado en el universo cultural de los isleños, que encuentran en la escurridiza roca una seña común de identidad».

Es una isla mítica, imaginaria, que aparece y desaparece, que «viene y va», pero a la que a lo largo de la historia se le ha puesto contorno y se le ha situado en los mapas. Los investigadores Manuel Poggio Capote y Luis Regueira Benítez han realizado un estudio sobre la cartografía de San Borondón que dieron a conocer, en la Casa Salazar de Santa Cruz de La Palma, en el marco de las IV Jornadas Culturales sobre la victoria de Francis Drake.

Regueira y Poggio, autores del libro «La isla perdida. Memorias de San Borondón desde La Palma», explicaron que «la existencia en Canarias del mito de San Borondón se sustenta en tres pilares básicos». Por un lado, «las leyendas de la Antigüedad clásica que hablaban de la existencia de las Islas Afortunadas. En tiempos de los romanos estas islas se identificaban con Canarias, y es significativo que los primeros geógrafos, como Claudio Ptolomeo en el siglo II d.C, incluyera en ese archipiélago una isla llamada Aprositus, que literalmente significa 'inaccesible'. Por otro, «la aparición periódica de un efecto óptico atmosférico que hace que, en determinadas circunstancias

meteorológicas, los habitantes de Canarias vean en distintos puntos del horizonte algo que pueden identificar como una ínsula más. En la época de los descubrimientos geográficos esta aparición se consideraba un indicio de que quedaban tierras por descubrir en el Atlántico». El tercer pilar del mito es «la historia del monje irlandés Brendan de Clonfert, san Brandano, que vivió entre los siglos V y VI. Este santo es conocido sobre todo por unos manuscritos datados en los siglos IX y X que dan cuenta de la ' Navigatio Sancti Brandani', un periplo atlántico que el monje realizó en compañía de otros clérigos y que le llevó a una serie de escalas fabulosas, entre las que se encuentra un gigantesco pez que confundieron con tierra firme y en cuyo lomo celebraron una misa de Pascua», han relatado Poggio y Regueira, y han subrayado que esta es la causa por la que «a san Brandano se representa repetidamente sobre una ballena en las ilustraciones de las edades Media y Moderna. No es descabellado, por lo tanto, relacionar la historia de este santo con la visión de una isla que viene y va».

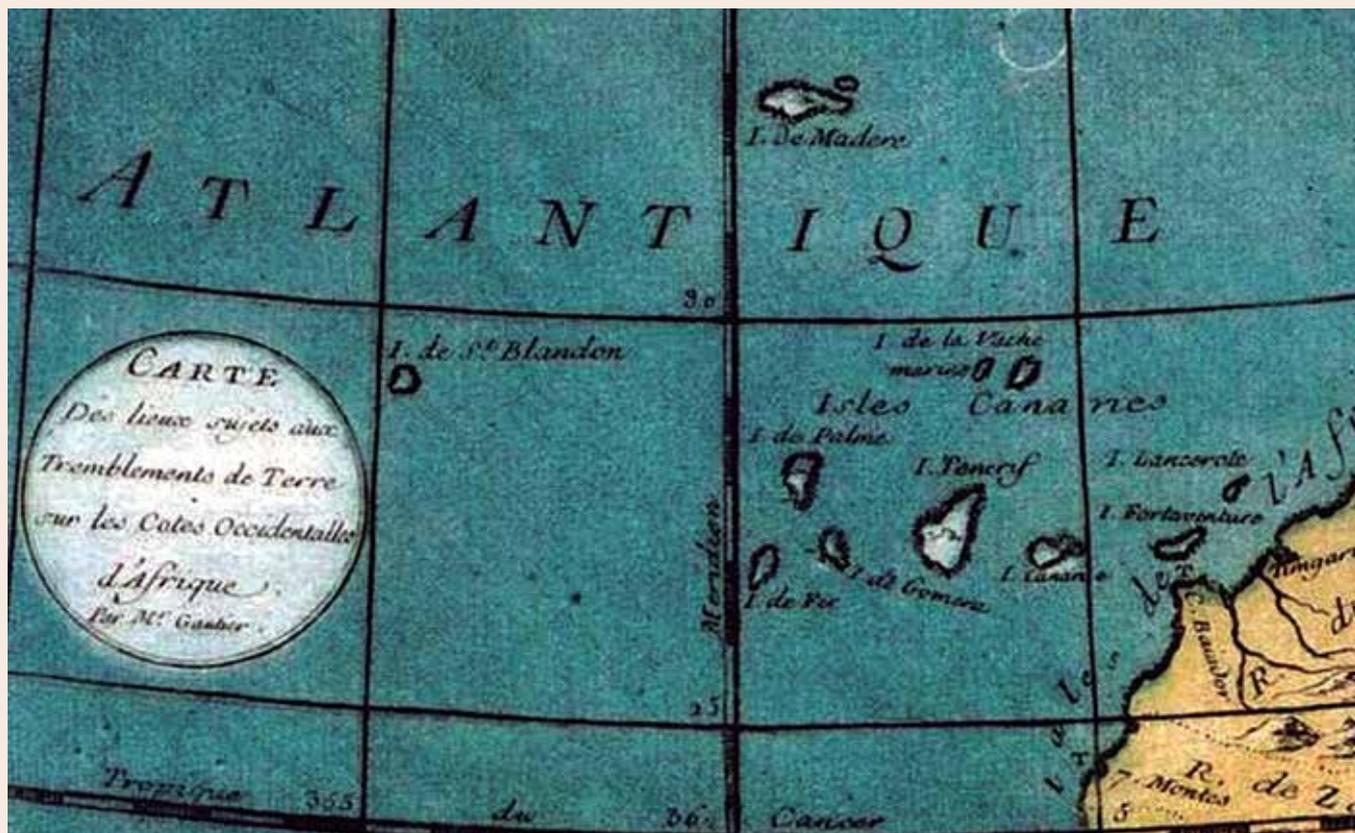
Han asegurado estos investigadores, especialistas en este mito archipiélagico, que si se busca a la isla de San Borondón en la cartografía «podemos encontrar decenas de mapas que la representan». «Los primeros son las reproducciones de los mapas de Ptolomeo, en los que

aparece Aprositus en la latitud de las islas Canarias. Pero cuando verdaderamente podemos vincular esta isla a la figura de San Brandano y, por tanto, podemos hablar de San Borondón, es a partir de los mapas del tipo T-O que se generalizaron desde el siglo XI. Estos mapas, como el famoso mapamundi de Ebstorf (1235) y el impresionante trabajo de Richard de Haldingham (1275) insertan un texto en las islas africanas en el que se lee que San Brendan llegó a ellas en su viaje».

A partir del siglo XIV, «cuando la cartografía evolucionó y aparecieron los llamados portulanos para facilitar la navegación, los mapas comenzaron a mostrar un enjambre de islas en el Atlántico en el que se mezclaban las islas reales con innumerables islas míticas. En estos casos aparecía ya el nombre de San Brendano usado como topónimo, pero en realidad no se refería a una isla concreta, sino a todo el conjunto insular que abarca desde Azores hasta Canarias». «La fórmula habitual para referirse a este archipiélago era 'Insullae Fortunatae sancti Brandani' (Islas Afortunadas de San Brandano), e incluía otras islas inexistentes como Brasil, Antilia, Selvagia y otras muchas. Algunas de



En la imagen, mapa de San Borondón según Pedro Agustín del Castillo (1686)



En la imagen, mapa de San Borondón realizado por Gautier D'Agoty en 1756

ellas han sido consideradas indicios precolombinos de la existencia de América, por lo que acabaron dando nombre a las tierras reales que se irían descubriendo en los años siguientes», han precisado.

El primer portulano en el que aparecen las islas Canarias (única-mente Lanzarote, Fuerteventura y Lobos) como islas reales después de su redescubrimiento por Lanzelotto Malocello hacia 1312, fue «el famoso mapa de Angelino Dulcert de 1339, y en él aparece este gran archipiélago con un rótulo en latín que lo llama Islas de San Brandano o de las Niñas».

En 1492, han destacado, «hubo otro gran adelanto cartográfico con la fabricación del primer globo terráqueo, la famosa 'manzana de la tierra' de Martin Behaim. En este globo no aparece América, y en medio del océano que separa Europa y África de Asia se incluye una isla de Sant Brandon con una leyenda que dice que San Brandano desembarcó allí en el año 565. Es la primera vez que

San Borondón aparece en un mapa con este nombre y como isla única».

A partir del mapamundi del pirata turco Piri Reis de 1513, construido con información de otros mapas anteriores entre los que había uno de Cristóbal Colón, «San Borondón se desplaza hacia el norte en los mapas. Este mapa turco la coloca cerca de Terranova, que será una de las posiciones más frecuentes en los mapas posteriores, pero este caso es particularmente interesante porque incluye una ilustración de un barco de monjes cristiano anclado en la ballena borondoniana y unos personajes cocinando sobre el lomo del animal. Una escena parecida puede verse en el mapa de Escandinavia de Olaus Magnus, de 1539». «Desde el final de ese siglo, con la aparición de una industria del mapa impreso en Europa inaugurada por Abraham Ortelius en 1570, no es raro encontrar San Borondón cerca de Terranova o frente a las costas de Irlanda», ha seladado.

Poggio y Regueira recuerdan que «en esos mares del norte permanecerá la isla errante para los cartógrafos europeos, pero en nuestro archipiélago seguían considerando que San Borondón es una isla canaria, y era tal el convencimiento de su existencia que acabaron por cartografiarla Leonardo Torriani, Pedro Agustín del Castillo, Dámaso de Quesada y Chávez y otros personajes. De esa forma se avivaba el interés por descubrir de una vez por todas el misterio de esta isla inaccesible, y de hecho fueron muchas las expediciones que se organizaron para descubrirla». «La fuerza de la San Borondón canaria fue tal que los cartógrafos de Europa acabaron devolviendo la isla a nuestras costas. Así lo hizo en 1653 el geógrafo mayor del rey de Francia, Pierre Duval d'Abbeville, que añadió a su mapa de Canarias una explicación sobre su inexistencia parecida a la que insertó en su mapa de África Guillaume de l'Isle hacia 1745».

Uno de los últimos ejemplos de

San Borondón cartografiada «aparece en 1756, curiosamente en un mapa científico, diseñado para una obra de Gautier d'Agoty sobre los terremotos. A partir de entonces es precisamente la ciencia la que descarta la existencia de San Borondón, y por tanto la cartografía deja de prestarle atención. Sin embargo, San Borondón sigue existiendo en Canarias, al menos en forma de isla mítica conformadora de uno de los pasajes más cautivadores de nuestra historia y de nuestra etnografía».

La cartografía de San Borondón ha sido abordada por varios autores. «Uno de los primeros fue Paul Gaffarel, que en un estudio de 1869 hace un primer repaso de los mapas que la incluyen. Más tarde será el profesor y académico Eloy Benito Ruano quien abordará el tema para una comunicación en el Coloquio de Historia Marítima de Las Palmas de Gran Canaria en 1982 y para un estudio que no se llegó a publicar. En 1996, Juan Tous Meliá editó el libro 'El plan de las Afortunadas islas de reyno de Canarias y la isla de San Borondón', en el que recogió tanto una pequeña relación de mapas generales en los que se menciona a San Borondón como, sobre todo, un análisis de las citas de autores insulares y representaciones gráficas de la isla de santo irlandés». «Pero habría que llegar hasta 2001 y 2005 para que de la mano de un médico y estudioso de San Borondón, Jorge Sörgel de la Rosa, se ejecutaran unos primeros inventarios de la cartografía brendaniana, para lo cual llegó a recorrer numerosas bibliotecas europeas», han expuesto.

Por último, Poggio y Regueira también realizaron algunas aportaciones en este campo en el libro 'La isla perdida' que publicaron en 2009 y en el que señalan que «el mito de San Borondón es patrimonio de todo el archipiélago. En no pocas ocasiones esta tierra se ha dejado ver desde las otras atalayas canarias, penetrando también su recuerdo en la

etnografía, la literatura, la toponimia y, sobre todo, en el universo cultural de los isleños, que encuentran en la escurridiza roca una seña común de identidad». «Si San Borondón tiene un significado simbólico, este seguramente estará relacionado con el placer de descubrir lo intangible más allá de lo que la razón nos enseña», han afirmado.

Fuente: el diario.es. Esther R. Medina

Zona Villuercas-Ibores-Jara en el Sendero Internacional de los Apalaches

Es la zona central del Sendero Internacional de los Apalaches (SIA) en España, donde veremos al 100% lo que es el relieve Apalachense, único lugar en Europa donde se puede observar éste relieve al igual que si estuviéramos en la Cordillera de los Apalaches en el Este de Estados Unidos.

Por este motivo, en la esta zona se ha hecho lo que se denomina «La Z del SIA», para no pasar de largo y

detener el sendero en esta zona sin igual, quedan sitios excepcionales por los que el sendero no pasa, pero es imposible poner toda la belleza de la zona en el SIA.

En total se andan unos 250 Km. pasando por las localidades de: Higuera de Albalat, Campillo de Deleitosa, Fresnedoso de Ibor, Robledollano, Cañas del Castillo, Solana, Berzocana, Logrosán, Cañamero, Guadalupe, Navazuélas, Navalvillar de Ibor, Castañar de Ibor, Peraleda de San Román, Valdecasa del Tajo, Villar de Pedroso, Alía, Navatrasierra y Puerto de San Vicente.

Se pasa por caminos públicos y se utilizan algunas etapas de los siguientes caminos: Camino Natural de las Villuercas, Ruta Isabel la Católica, Ruta Alfonso Onceno, Camino Natural del Tajo y Camino Real de Guadalupe.

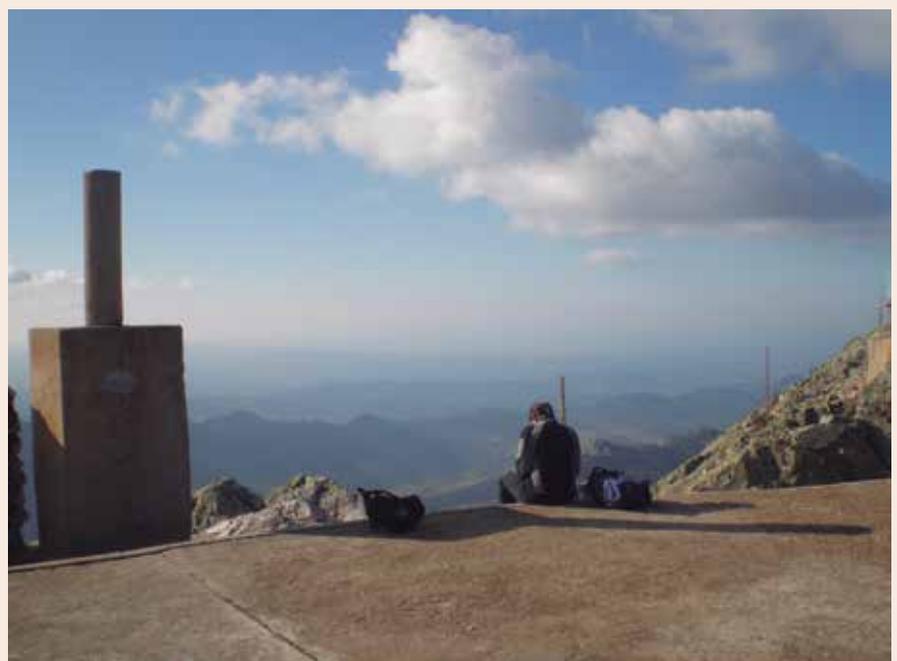
La zona también ha sido reconocida como Geoparque, El Geoparque Villuercas-Ibores-Jara.

Más información:

<http://senderointernacionalapalaches.org/>

<https://apalachesvilluercas.wordpress.com/>

<https://www.youtube.com/watch?v=B-Y9xNqbnEXs>



Defence Geospatial Intelligence Conference 2015



19-01-2015 / 21-01-2015

- **Londres, Reino Unido**
- **Contact:** dgi@wbr.co.uk
- **Website:** <http://dgi.wbresearch.com/>

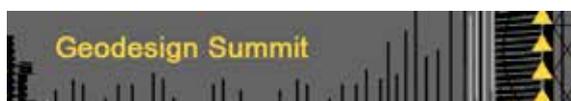
International Workshop on Spatial Data and Map Quality



20-01-2015 / 21-01-2015

- **Valletta, Malta**
- **Contact:** reservations@excelsior.com.mt
- **Website:** <http://www.eurogeographics.org/event/international-workshop-spatial-data-and-map-quality>

Geodesign Summit



22-01-2015 / 23-01-2015

- **Redlands, California**
- **Contact:** www.geodesignsummit.com
- **Website:** www.geodesignsummit.com

Oldenburger 3D Tage



04-02-2015 / 05-02-2015

- **Oldenburg, Alemania**
- **Contact:** christina.mueller@jade-hs.de
- **Website:** <http://www.jade-hs.de/3dtage>

TUSEXPO 2015



04-02-2015 / 06-02-2015

- **The Hague, Países Bajos**
- **Contact:** a.hagenstein@tusexpo.com
- **Website:** <http://www.tusexpo.com>

3D-ARCH'2015



25-02-2015 / 27-02-2015

- **Ávila, España**
- **Contact:** <http://www.3d-arch.org/>
- **Website:** <http://www.3d-arch.org/>

AUVSI'S UNMANNED SYSTEMS EUROPE 2015



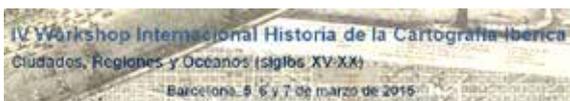
03-03-2015 / 04-03-2015

■ Bruselas, Bélgica

■ **Contact:** ddonahoe@auvsi.org

■ **Website:** <http://www.auvsi.org/UnmannedSystemsEurope/Home/>

IV Workshop Internacional Historia de la Cartografía Ibérica



05-03-2015 / 07-03-2015

■ Barcelona, España

■ **Contact:** <http://wihci2015-es.blogspot.com.es/p/call-for-papers.html>

■ **Website:** <http://wihci2015-es.blogspot.com.es/>

Photogrammetric Image Analysis (PIA) and High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information (HRIGI)



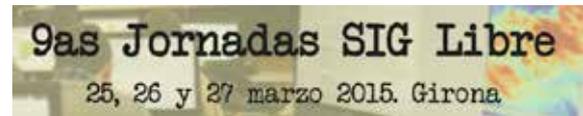
25-03-2015 / 27-03-2015

■ Munich, Alemania

■ **Contact:** heipke@ipi.uni-hannover.de

■ **Website:** <http://www.pia15.tum.de>

9ª Jornadas de SIG Libre



25-03-2015 / 27-03-2015

■ Girona, España

■ **Contact:** <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre/>

■ **Website:** <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre/>

XV encuentro de Geógrafos de América Latina



06-04-2015 / 10-04-2015

■ La Habana, Cuba

■ **Contact:** 15egal2015@geo.uh.cu

■ **Website:** www.xv-egal-cuba.com

GISTAM 2015



28-04-2015 / 30-04-2015

■ Barcelona, España

■ **Contact:** gistam.secretariat@insticc.org

■ **Website:** <http://www.gistam.org/Home.aspx>

1. Información general

MAPPING es una revista técnico-científica que tiene como objetivo la difusión y enseñanza de la Geomática aplicada a las Ciencias de la Tierra. Ello significa que su contenido debe tener como tema principal la Geomática, entendida como el conjunto de ciencias donde se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, y su utilización en el resto de Ciencias de la Tierra. Los trabajos deben tratar exclusivamente sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura de la revista.

Los trabajos deben ser originales e inéditos y no deben estar siendo considerados en otra revista o haber sido publicados con anterioridad. MAPPING recibe artículos en español y en inglés. Independientemente del idioma, todos los artículos deben contener el título, resumen y palabras claves en español e inglés.

Todos los trabajos seleccionados serán revisados por los miembros del Consejo de Redacción mediante el proceso de «Revisión por pares doble ciego».

Los trabajos se publicarán en la revista en formato papel (ISSN: 1131-9100) y en formato electrónico (eISSN: 2340-6542).

Los autores son los únicos responsables sobre las opiniones y afirmaciones expresadas en los trabajos publicados.

2. Tipos de trabajos

- **Artículos de investigación.** Artículo original de investigaciones teóricas o experimentales. La extensión no podrá ser superior a 8000 palabras incluyendo resumen, tablas y figuras, con un máximo de 40 referencias bibliográficas. Cada tabla o figura será equivalente a 100 palabras. Tendrá la siguiente estructura: título, resumen, palabras clave, texto (introducción, material y método, resultados, discusión y conclusiones), agradecimientos y bibliografía.
- **Artículos de revisión.** Artículo detallado donde se describe y recopila los desarrollos más recientes o trabajos publicados sobre un determinado tema. La extensión no podrá superar las 5000 palabras, incluyendo resumen, tablas y figuras, con un máximo de 25 referencias bibliográficas.
- **Informe técnico.** Informe sobre proyectos, procesos, productos, desarrollos o herramientas que no supongan investigación propia, pero que sí muestren datos técnicos interesantes y relevantes. La extensión máxima será de 3000 palabras.

3. Formato del artículo

El formato del artículo se debe ceñir a las normas

expuestas a continuación. Se recomienda el uso de la plantilla «Plantilla Texto» y «Recomendaciones de estilo». Ambos documentos se pueden descargar en la web de la revista.

- A. Título.** El título de los trabajos debe escribirse en castellano e inglés y debe ser explícito y preciso, reflejando sin lugar a equívocos su contenido. Si es necesario se puede añadir un subtítulo separado por un punto. Evitar el uso de fórmulas, abreviaturas o acrónimos.
- B. Datos de contacto.** Se debe incluir el nombre y 2 apellidos, la dirección, el correo electrónico, el organismo o centro de trabajo. Para una comunicación fluida entre la dirección de la revista y las personas responsables de los trabajos se debe indicar la dirección completa y número de teléfono de la persona de contacto.
- C. Resumen.** El resumen debe ser en castellano e inglés con una extensión máxima de 200 palabras. Se debe describir de forma concisa los objetivos de la investigación, la metodología empleada, los resultados más destacados y las principales conclusiones.
- D. Palabras clave.** Se deben incluir de 5-10 palabras clave en castellano e inglés que identifiquen el contenido del trabajo para su inclusión en índices y bases de datos nacionales e internacionales. Se debe evitar términos demasiado generales que no permitan limitar adecuadamente la búsqueda.
- E. Texto del artículo de investigación.** La redacción debe ser clara y concisa con la extensión máxima indicada en el apartado «Tipos de trabajo». Todas las siglas citadas deben ser aclaradas en su significado. Para la numeración de los apartados y subapartados del artículo se deben utilizar cifras arábigas (1. Título apartado; 1.1. Título apartado; 1.1.1. Título apartado). La utilización de unidades de medida debe seguir la normativa del Sistema Internacional.

El contenido de los **artículos de investigación** puede dividirse en los siguientes apartados:

- **Introducción:** informa del propósito del trabajo, la importancia de éste y el conocimiento actual del tema, citando las contribuciones más relevantes en la materia. No se debe incluir datos o conclusiones del trabajo.
- **Material y método:** explica cómo se llevó a cabo la investigación, qué material se empleó, qué criterios se utilizaron para elegir el objeto del estudio y qué pasos se siguieron. Se debe describir la metodología empleada, la instrumentación y sistemática, tamaño de la muestra, métodos estadísticos y su justificación. Debe presentarse de la forma más conveniente para que el lector comprenda el desarrollo de la investigación.

- **Resultados:** pueden exponerse mediante texto, tablas y figuras de forma breve y clara y una sola vez. Se debe resaltar las observaciones más importantes. Los resultados se deben expresar sin emitir juicios de valor ni sacar conclusiones.
- **Discusión:** en este apartado se compara el estudio realizado con otros que se hayan llevado a cabo sobre el tema, siempre y cuando sean comparables. No se debe repetir con detalle los datos o materiales ya comentados en otros apartados. Se pueden incluir recomendaciones y sugerencias para investigaciones futuras.
En algunas ocasiones se realiza un único apartado de resultados y discusión en el que al mismo tiempo que se presentan los resultados se va discutiendo, comentando o comparando con otros estudios.
- **Conclusiones:** puede realizarse una numeración de las conclusiones o una recapitulación breve del contenido del artículo, con las contribuciones más importantes y posibles aplicaciones. No se trata de aportar nuevas ideas que no aparecen en apartados anteriores, sino recopilar lo indicado en los apartados de resultados y discusión.
- **Agradecimientos:** se recomienda a los autores indicar de forma explícita la fuente de financiación de la investigación. También se debe agradecer la colaboración de personas que hayan contribuido de forma sustancial al estudio, pero que no lleguen a tener la calificación de autor.
- **Bibliografía:** debe reducirse a la indispensable que tenga relación directa con el trabajo y que sean recientes, preferentemente que no sean superiores a 10 años, salvo que tengan una relevancia histórica o que ese trabajo o el autor del mismo sean un referente en ese campo. Deben evitarse los comentarios extensos sobre las referencias mencionadas.
Para citar fuentes bibliográficas en el texto y para elaborar la lista de referencias se debe utilizar el formato APA (*American Psychological Association*). Se debe indicar el DOI (*Digital Object Identifier*) de cada referencia si lo tuviera. Utilizar como modelo el documento «**Como citar bibliografía**» incluido en la web de la revista. La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad del autor.
- **Curriculum:** se debe incluir un breve curriculum de cada uno de los autores lo más relacionado con el artículo presentado y con una extensión máxima de 200 palabras.

En los **artículos de revisión e informes técnicos** se debe incluir título, datos de contacto, resumen y palabras claves, quedando el resto de apartados a consideración

de los autores.

F. Tablas, figuras y fotografías. Se deben incluir solo tablas y figuras que sean realmente útiles, claras y representativas. Se deben numerar correlativamente según la cita en el texto. Cada figura debe tener su pie explicativo, indicándose el lugar aproximado de colocación de las mismas. Las tablas y figuras se deben enviar en archivos aparte, a ser posible en fichero 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 pixel por pulgada (ppp).

G. 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 deben numerar entre corchetes. Utilizar editores de fórmulas o incluirlas como imagen.

4. Envío

Los trabajos originales se deben remitir preferentemente a través de la página web <http://www.mappinginteractivo.es> en el apartado «**Envío de artículos**», o mediante correo electrónico a info@mappinginteractivo.es. El formato de los archivos puede ser Microsoft Word u Open Office y las figuras vendrán numeradas en un archivo comprimido aparte.

Se debe enviar además una copia en formato PDF con las figuras, tablas y fórmulas insertadas en el lugar más idóneo.

5. Proceso editorial y aceptación

Los artículos recibidos serán sometidos al Consejo de Redacción mediante «**Revisión por pares doble ciego**» y siguiendo el protocolo establecido en el documento «**Modelo de revisión de evaluadores**» que se puede consultar en la web.

El resultado de la evaluación será comunicado a los autores manteniendo el anonimato del revisor. Los trabajos que sean revisados y considerados para su publicación previa modificación, deben ser devueltos en un plazo de 30 días naturales, tanto si se solicitan correcciones menores como mayores.

La dirección de la revista se reserva el derecho de aceptar o rechazar los artículos para su publicación, así como el introducir modificaciones de estilo comprometiéndose a respetar el contenido original.

Se entregará a todos los autores, dentro del territorio nacional, la revista en formato PDF mediante enlace descargable y 1 ejemplar en formato papel. A los autores de fuera de España se les enviará la revista completa en formato electrónico mediante enlace descargable.

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 / SUBSCRIPTION:

- 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: CAIXAESBBXXX)

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

www.mappinginteractivo.es

Firma _____



TOPCON GNSS RECEIVERS

Batería De Larga Duración

Bluetooth Incorporado

Robusto

Varios canales (multi-canal)

GPS+ GLONASS

Tecnología Inspirada

Comunicación Dual

GSM or CDMA

Precisión RTK

Fabricado en USA

Ligero



A veces necesita un receptor rover rápido y ágil. Otras veces necesita el receptor más resistente y sofisticado del planeta. No importa lo que necesite, se merece la tecnología más avanzada.

Desde hace más de una década, Topcon ha liderado la innovación en tecnología GNSS.

Y seguimos haciéndolo hoy.

www.topconpositioning.es



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

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.