

# MAPPING

Revista Internacional de Ciencias de la Tierra

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

MEDIO AMBIENTE

TELEDETECCIÓN

CARTOGRAFÍA

CATASTRO

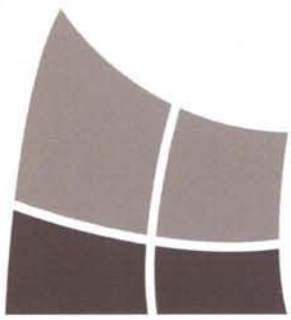
TURISMO



Nº 150 NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2011

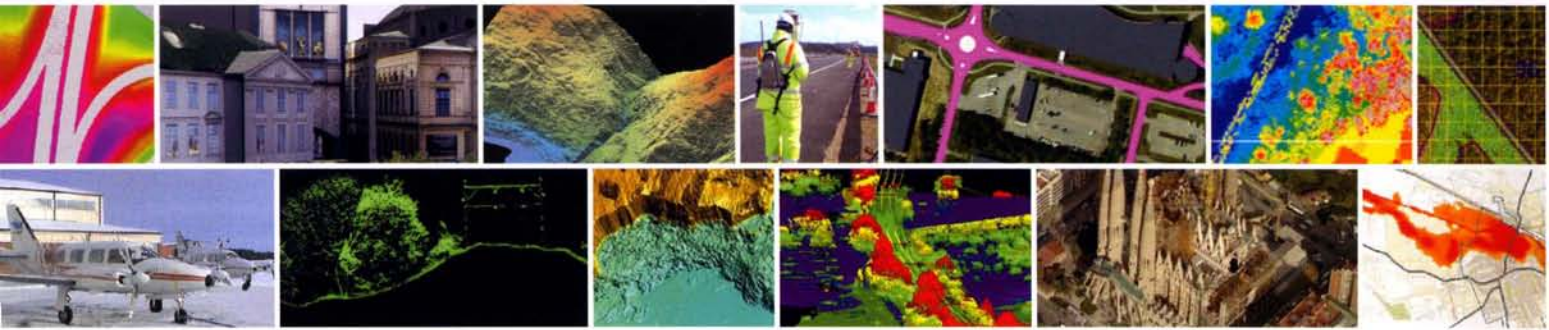
ISSN: 1.131-9.100





# BLOM

IMAGING THE WORLD



## PRODUCTOS & SERVICIOS

Fotografía aérea y sensores aerotransportados  
Servicios Online Blom  
Aplicaciones Blom  
Cartografía y modelado  
Servicios GIS: desarrollo y análisis  
Topografía  
Modelos de datos y bases de datos geoespaciales  
LiDAR y datos altimétricos  
Soluciones de movilidad

## MERCADOS

Defensa y seguridad  
Medio Ambiente y renovables  
Gobierno y Administraciones Públicas  
Comunicación, ocio y turismo  
Minería y canteras  
Transporte e infraestructuras  
Aplicaciones especiales  
Utilities

Blom Sistemas Geoespaciales, SLU

Sede central  
c/ Zurbano, 46  
28010 Madrid

Tel: +34 914150350  
Fax: +34 913104914  
Email: [info.spain@blomasa.com](mailto:info.spain@blomasa.com)

Sede I+D:  
c/ Andrés Laguna, 9-11  
Edificio Zarzuela  
Parque Tecnológico de Boecillo  
47151 Boecillo - Valladolid

[www.blomasa.com](http://www.blomasa.com)  
[www.blom.es](http://www.blom.es)



# Geotronics y Trimble: Precisión, Tecnología y Fiabilidad.

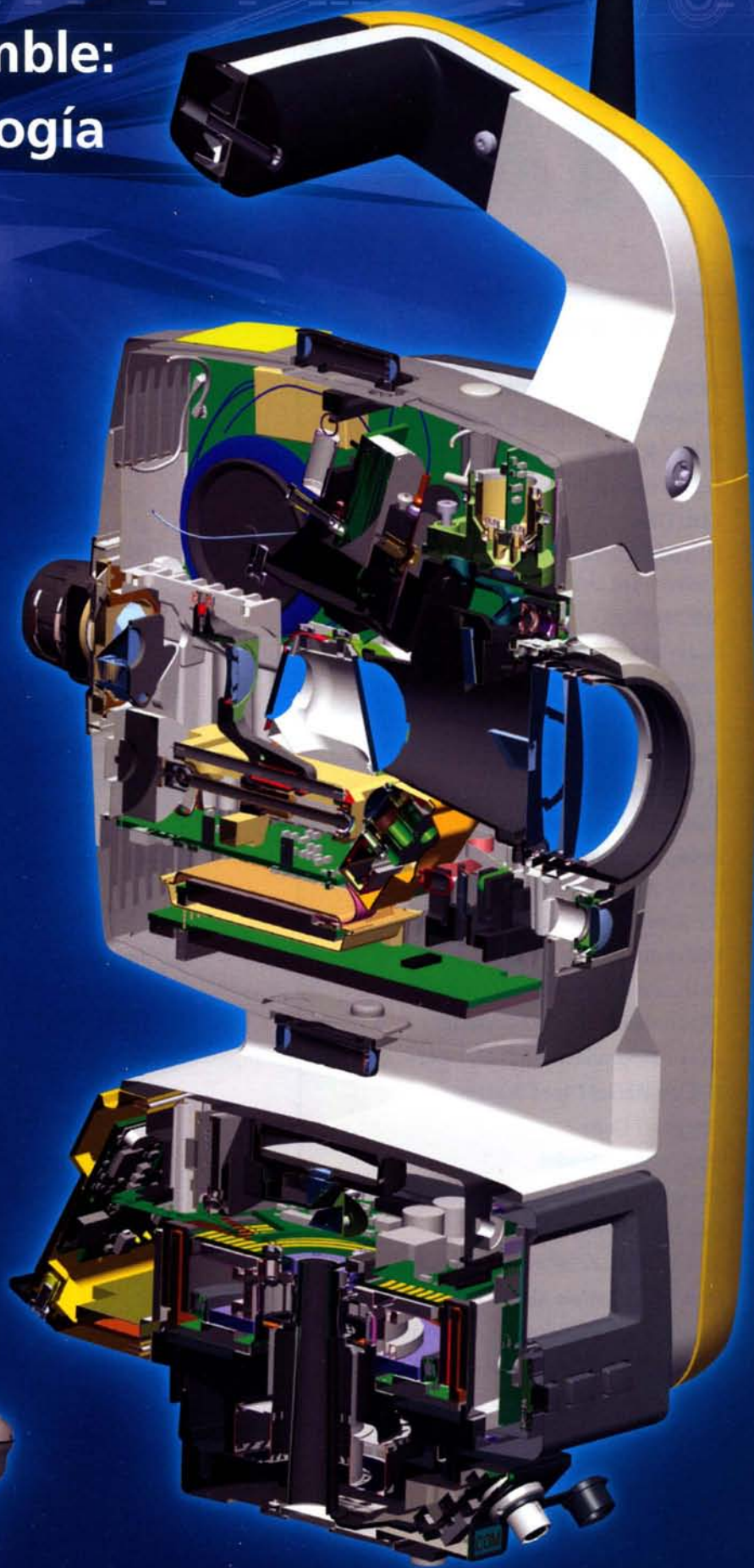
**Geotronics** es Distribuidor Oficial de Trimble *Survey* para la zona centro de España. Trimble está **a la vanguardia de la Tecnología desde hace más de 60 años.** **Geotronics** le acerca las soluciones Trimble para obtener los mejores resultados en sus proyectos.

**Venta de instrumentos topográficos y accesorios**

**Servicio de equipos y configuraciones en alquiler**

**Servicio técnico oficial autorizado Trimble**

**Servicio de soporte postventa y formación**



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

 **Geotronics**

 **Trimble**  
Distribuidor Autorizado



# MAPPING

## COMITE CIENTIFICO

### PRESIDENTE DE HONOR:

**D.Rodolfo Nuñez de la Cuevas**

### EDITORJEFE.

**D.José Ignacio Nadal Cabrero**

### EDITOR:

**D. Andres Seco Meneses**

*Universidad Pública de Navarra, España*

### MIEMBROS.

**D. Javier González Matesanz**

*Instituto Geográfico Nacional, España*

**D.Benjamín Piña Paton**

*Universidad de Cantabria, España*

**D. Andrés Díez Galilea**

*Universidad Politécnica de Madrid, España*

**D.Stéphane Durand**

*École Supérieure de Géomètres*

*Et Topographes, Le Mans, Francia*

**Dña. Emma Flores**

*Instituto Geografico, El Salvador*

**Dña.Tatiana Delgado Fernández**

*Grupo Empresarial Geocuba, Cuba*

**D. Luis Rafael Díaz Cisneros**

*Cesigma, Cuba*

**Dña. Sayuri Mendes**

*Instituto de Geografía Tropical, Cuba*

**Dña.Rocío Rueda Hurtado**

*Universidad de Morelos, México*

**Dña. Maria Iniesto Alba**

*Universidad de Santiago, España*

**Dña.Cleópatra Magalhaes Pereira**

*Universidad de Oporto, Portugal*

**D. Javier García García**

*Instituto Geográfico Nacional, España*

**D. Jorge Delgado García**

*Universidad de Jaen*

## SUMARIO

**6 La eficiencia de las IDEs**

**10 Rapideye y la banda Red-Edge, para el modelado de la vegetación y recuperación de la humedad del suelo**

**22 Washington, Jefferson y Lincoln, tres topógrafos memorables**

**48 Representación de una red de una cartografía mediante un grafo**

**54 Viabilidad técnica del uso de un interfaz cerebro-computador para el control de la dirección de un tractor agrícola**

**65 Sistemas de Información Geográfica libres**

**70 Sistemas de Información Geográfica libres**

**79 Sando coordina la construcción del Vertedero de Residuos No Peligrosos de Málaga con el software BIM de Autodesk para Ingeniería Civil**

**81 Contribución metodológica a la actualización, gestión y perfeccionamiento de un sistema de desarrollo agrícola**

**89 Valoración de impactos en ecosistemas costeros ante el riesgo de penetración del mar**

**Foto Portada:** Imagen correspondiente al artículo: Washington, Jefferson y Lincoln, tres topógrafos memorables

**Edita:** Revista Mapping, S.L. **Redacción, administración y publicación:** C/ Hileras, 4 Madrid 28013 -Tel. 91 547 11 16 - 91 547 74

69 [www.mappinginteractivo.com](http://www.mappinginteractivo.com). E.mail: [mapping@revistamapping.com](mailto:mapping@revistamapping.com) **Diseño Portada:** R&A MARKETING

**Impresión:** GRÁFICAS MONTERREINA **ISSN:** 1.131-9.100 **Dep. Legal:** B-4.987-92

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



# La eficiencia de las IDEs

Andrés Valentín

Secretario de la Comisión de Coordinación del SITNA  
sitna@cfnavarra.es

*En el actual escenario de restricciones presupuestarias aparece con frecuencia el requerimiento de eficiencia en el funcionamiento de las administraciones públicas, lo que me resulta extraño, ya que esa eficiencia debe exigirse de las administraciones también en momentos de bonanza.*

*En cualquier caso, opino –y argumentarlo es el objeto de estas líneas– que los sistemas de información territorial (en lo sucesivo, SIT) pueden y deben constituir un requerimiento y un impulso de esa pretendida eficiencia.*

## Introducción

Antes de entrar en el tema, haré referencia a algunas consideraciones de carácter general.

Entendemos un SIT como el componente territorial de un sistema de información, en nuestro caso, regional. En ese espacio incluimos no solo la administración titular del sistema, sino también otras administraciones, empresas y usuarios. Esto es relevante desde dos puntos de vista:

- El alcance del SIT es toda la información relativa a objetos o sucesos georeferenciables, un elevado porcentaje de los fenómenos que gestiona una comunidad.

- La integración con el resto del sistema de información corporativo y con otros sistemas; hoy no resulta defendible concebir un SIT como algo aislado.

Defendemos la calificación territorial por dos razones:

- Calificar, por ejemplo, las viviendas y las personas que las habitan, los locales y las actividades que en ellos se desarrollan como objetos geográficos parece excesivo, aunque lo sean los edificios y las parcelas que los albergan.

- Reservamos la denominación SIG para identificar la infraestructura informática y de telecomunicaciones que soporta el SIT, tal como lo definió Ros Domingo ya en 1993.

En muchos casos, especialmente cuando el despliegue de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) no encuentra como precedente algún sistema de tratamiento de la información geográfica, puede asimilarse a lo que estamos definiendo como SIT. La alusión a las IDEs en el título es puro oportunismo.

Las IDEs presentan dos características diferenciadoras: la interoperabilidad y los metadatos.

En cualquier sistema de información en el que cada productor aporta su información generada con visión multipropósito, es imprescindible documentar satisfactoriamente los datos de forma que puedan ser utilizados correctamente por otros agentes del sistema. Existiendo perfiles estandarizados de metadatos y herramientas para crearlos, carece de sentido desplegar alternativas de documentación. Con ello, ese aspecto diferenciador se diluye. En nuestro caso, todas las capas, incluidas las de difusión más restringida y que, por ello, no se publican, requieren el perfil IDENA de metadatos, una ampliación del Núcleo Español de Metadatos (NEM).

La interoperabilidad de datos y servicios es imprescindible para configurar en la red un sistema distribuido formado por los distintos nodos IDE. Sin embargo, la interoperabilidad no siempre es un requerimiento prioritario para la gestión del territorio: direcciones, urbanismo, catastro, etc. Por ello, –es nuestra experiencia–, un sistema –el SITNA– puede dotarse de su específica respuesta –IDENA– a los requerimientos de la directiva europea INSPIRE y de la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE), sin que la totalidad del sistema tenga que ser interoperable. Hechas estas matizaciones, que cada cual interprete SIT, SIG o IDE como considere conveniente; no haremos de su denominación un motivo de debate.

## Incorporación de Información

En la alimentación del sistema podemos distinguir diversas fuentes: productos, sistemas de información y usuarios.



## Productos

Los productos son resultados finales de procesos de observación (ortofotografías, imágenes LIDAR, de satélite, etc.) o de elaboración (mapas de cultivos, de ocupación del suelo, instrumentos de planificación y planeamiento territorial, etc.) con una precisa referencia temporal que carecen de mantenimiento, aunque cada producto pierda vigencia ante la disponibilidad de otro más reciente.

En los productos resultado de la observación la eficiencia deriva de un planteamiento cooperativo de la producción en la que un mismo producto puede y debe satisfacer las necesidades de todos y alimentar los distintos sistemas.

Este planteamiento tiene un largo recorrido entre nosotros. En el caso del SITNA permitió acordar en una breve y resolutive reunión la realización de la ortofotografía del año 2000 de la comarca de Pamplona que satisfacía las necesidades de las tres instituciones (Ayuntamiento de la capital, Mancomunidad de la Comarca de Pamplona y Dirección General de Ordenación del Territorio) que proyectaban realizar cada una de ellas sus respectivas ortofotografías. En otro ámbito, el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y el Plan Nacional de Teledetección (PNT) son expresión de este planteamiento colaborativo.

El perfil de los trabajos de elaboración de productos informativos debiera ser mucho más de ensamblador que de creador. Si cada titular competencial de las distintas capas las crea y actualiza adecuadamente, y, para ello, habrá sido preciso definir los requerimientos de todo tipo que deban satisfacer, la cartografía topográfica, por ejemplo, será el resultado de representar simultáneamente la hidrografía, los límites administrativos, la toponimia, la red viaria, etc. La generalización de un producto original deberá servir para satisfacer las necesidades de quienes requieren escalas menores. SIOSE, CORINE y, en algunos casos, la primera fase de Cartociudad son ejemplos de elaboración colaborativa.

La consolidación de estas experiencias y su ampliación a otros ámbitos es uno de los grandes retos para aumentar la eficiencia de estas producciones.

### *Sistemas especializados de información territorial*

El segundo input de un SIT procede de los sistemas de información departamentales, temáticos o de negocio. Los grandes sistemas con miles de ob-

jetos y variaciones (catastro, direcciones postales, establecimientos industriales, comerciales y turísticos, etc.), pero también aquellos que cuentan por decenas sus elementos (depuradoras de aguas residuales, centros de interpretación de la naturaleza, casas consistoriales, centros de salud,...) constituyen el elemento más fructífero del sistema.

Desde la perspectiva de su incorporación al sistema ofrecen un importantísimo potencial de eficiencia. Identificado el titular que ha de asumir la responsabilidad y la financiación de la creación y mantenimiento de los datos, metadatos y procesos de su competencia, habrá de definir el sistema que aporta los datos, lo que, en muchos casos, requiere su creación o la mejora de lo existente, y los procedimientos de actualización, su periodicidad, los canales, y las restricciones, si procede, de su difusión. Todo ello genera un impulso de modernización de la unidad productora de información. La gestión coordinada de estas incorporaciones permite evitar la duplicidad de tareas: quién necesite una información deberá requerir su disponibilidad al titular correspondiente, pero nunca crear capas que no sean de su competencia.

Sin embargo, tanto la elaboración de productos, como la aportación de los subsistemas, encierran un futuro potencial de eficiencia, que tenemos la responsabilidad de acercar. Actualmente los sistemas son estáticos, aunque sus actualizaciones resulten satisfactoriamente puntuales. Apuesto por sistemas y productos cuya actualización dinámica sea el resultado automático de la propia gestión.

Afirma Laureano Zurita en una publicación de próxima aparición que "los datos son caros de obtener y mantener". Pues bien, ese dinamismo al que me refiero conlleva que la elaboración de los productos y el mantenimiento de los sistemas presente un coste que tienda a cero.

El tercer input del SIT proviene de los usuarios; es el aporte menos explotado y, por ello, con mayor posibilidad de expansión.

## Usuarios

Los usuarios que denominaremos profesionales pueden aportar información privilegiada sobre las modificaciones que se producen en el territorio. Los carteros, los instaladores de agua, luz, telefonía, etc. son agentes imprescindibles para detectar las actualizaciones que hayan de producirse en las direcciones postales. Provistos de los dispositivos móviles adecuados podrán comunicar "in situ" la incidencia detectada y su referencia geográfica.



Los bomberos, guardas forestales, los agentes del SEPRONA son de los primeros en detectar incidencias en la navegabilidad, sobre todo, de caminos y senderos, los componentes menos conocidos de la red viaria. Si sus vehículos portan los dispositivos convenientes, el sistema podrá recibir automáticamente información sobre el trayecto que recorrió ese tipo de vehículo en esa fecha y, si se detecta una incidencia, se comunicarán todos sus detalles, incluyendo la referencia geográfica. Dependiendo de la naturaleza de la información, esa información recibida podrá impulsar un procedimiento (detectada una nueva calle, será preciso un Acuerdo del Ayuntamiento correspondiente para identificar su denominación) o afectar directamente al sistema resultando inmediatamente operativa, por ejemplo, si un policía de tráfico informa sobre el corte de un vial.

Las aportaciones de los usuarios particulares son un signo de nuestros días, hasta el punto de que algunos tienden a olvidar las fuentes de información anteriormente descritas: "la mayor fuente de datos sobre IG (información geográfica) en un futuro inmediato será la procedente de los ciudadanos" puede leerse en un artículo del nº 146 de Mapping. Permítaseme una caricatura malévola: a veces percibo la sensación de que con una WEB 2.0 (si es 3.0, mejor) desplegada con software libre todos los problemas están resueltos. En el mismo ejemplar de la revista citada se afirma que la adopción de soluciones basadas en software libre ha pasado a convertirse en el único camino viable.

El aporte colaborativo de la sociedad ha de ser decididamente impulsado y cuidadosamente recibido desde las administraciones públicas, no solo por los contenidos que comporta, sino también por la participación ciudadana que propicia.

Pero estas informaciones no deben mezclarse con aquellas que derivan de la responsabilidad competencial de las administraciones, aunque esto no implique siempre garantía de calidad.

Las administraciones públicas deben gestionar estas tendencias encontradas que habrá que conciliar.

## Gestión de la Información

La gestión de la información incorporada al sistema implica numerosos requerimientos con una eficiencia aparente poco llamativa, pero absoluta-

mente imprescindible para el funcionamiento del mismo.

Sea un almacén centralizado o distribuido, sean cuales sean las alternativas de hardware, software y de telecomunicaciones seleccionadas, los principales problemas que han de resolverse son de índole organizativa.

Sin entrar en detalle en aspectos tecnológicos, dejaré constancia de un par de conclusiones derivadas de nuestra experiencia:

- La tecnología, que nunca debe estar en el timón del sistema, no debe concebirse únicamente como un elemento instrumental, ya que su potencialidad, su vertiginoso desarrollo puede alterar ejes estratégicos del sistema.

- Apostamos por una tecnología de componentes reutilizables. Cada componente puede ser sustituido por otro más eficiente, sin prejuzgar su naturaleza de software libre, comercial o desarrollo propio. Todo componente queda disponible para su reutilización y mejora en posteriores desarrollos; en este sentido, el software libre y los desarrollos propietarios ofrecen ventajas.

Para afrontar las tareas de gestión de la información territorial es imprescindible dotarse de mecanismos corporativos y horizontales de planificación, programación y evaluación.

Las administraciones carecen de experiencia suficiente en la gestión horizontal de los proyectos y servicios. En muchos casos, el reto más difícil de superar es "entenderse" y, para ello, hay que tener mucha paciencia; estamos exigiendo cambios de cultura que no se logran siempre con una argumentación, por contundente que ésta sea. Pero el resultado puede ser intensamente gratificante: el aprendizaje colectivo que resulta de la reflexión conjunta desde perspectivas dispares es muy enriquecedor.

El territorio y, en consecuencia, los SIT, las IDEs, conllevan exigentes requerimientos de calidad de los datos, metadatos y procesos. Esta potencialidad ha de impulsarse para conseguir de esos sistemas la eficiencia que pueden aportar. Por ejemplo, estamos planteando modificar la definición del SITNA en el sentido de que una de sus funciones sea "actualizar la información", con una concepción proactiva, en sustitución de "mantener actualizada la información referida al territorio de Navarra", que veníamos utilizando.



## Difusión de la Información

La difusión y explotación de estos sistemas es el tercer componente de los mismos del que cabe esperar y exigir la máxima eficiencia.

Tal vez el tema más obvio resulte la utilización de las WEBS que ofrecen la visualización y descargas de la información, los servicios y recursos para su mejor utilización, la gestión del conocimiento y el impulso de la participación. En este sentido, el problema más relevante es la carencia de una métrica que nos permita medir su utilización, conocer el perfil de usos y usuarios, condición indispensable para orientar la evolución de los sistemas a satisfacer las necesidades de la demanda y para evaluar la calidad de esos servicios percibida por la sociedad.

En una aparente contradicción hay que potenciar un punto de referencia accesible para quién necesite información territorial; en nuestro caso, el Geoportal de Navarra (<http://sitna.navarra.es>). Simultáneamente se han de impulsar portales temáticos (catastro: <https://catastro.navarra.es>; SIUN: <http://siun.navarra.es>, etc.) o de negocio (Tienda de cartografía: <http://www.navarra.es/app-sex/tiendacartografia>; Portal de Coordinación de Canalizaciones Subterráneas: <https://pccs.tracasa.es>, etc.); interoperables (IDBD: <http://www.biodiversidad.navarra.es>) o no.

No se puede pretender que una WEB generalista responda satisfactoriamente a todas las demandas; las distintas WEBS especializadas son mucho más eficientes en su respectivo ámbito temático.

Sin embargo, si algo caracteriza el futuro de la difusión y explotación de las IDEs es el final del monopolio de las WEBS consultadas desde PCs de sobremesa.

La diversidad de soportes y espectacularmente los móviles en sus distintos formatos (desde el Tablet PC hasta el teléfono móvil) tienen y, sobre todo, van a tener una presencia creciente.

Pero, más allá de canales y soportes, el futuro eficiente de la difusión de información territorial se sitúa en la producción de servicios que impregnen la actividad de la sociedad. Quienes a finales de los 40 del siglo pasado diseñaban los primeros ordenadores no pensaban que pequeños procesadores jugarían, 70 años más tarde, un papel cada

vez más insustituible en vehículos, ascensores, lavadoras, etc. Quienes en 1964 impulsaron el Canadian Geographic Information System no sospechaban que la deriva de su iniciativa podría impregnar, 50 años después, todo el trabajo de las administraciones y de las empresas, la gestión del ocio, la atención de emergencias, etc.

Sin embargo, el escenario WEB no agota las posibilidades de explotación de un sistema de información territorial. Uno de los aspectos menos publicitados de la difusión de un SIT es aquel que se orienta hacia las propias administraciones que lo producen. Cada gestor dispondrá para realizar su tarea de todas las informaciones territoriales que precise en las condiciones más idóneas: se acabó buscar el dato, encontrar el contacto que te lo proporcione, por supuesto, sin metadatos y, por tanto, sin seguridad de que estamos utilizando la información adecuada; pero, sobre todo, se acabó el momento en el que el resultado final de un trabajo era el archivador correspondiente: ninguna tarea termina hasta que sus resultados no hayan revertido al sistema corporativo, en nuestro caso, territorial.

## Dos Conclusiones

Un sistema de información territorial constituye una nueva forma de acceder a la ciudadanía, a la sociedad, personalizando la atención que las administraciones están obligadas a prestar; representa un indiscutible impulso de la Sociedad de la Información y el Conocimiento y de la e-administración; requiere integración, estandarización e interoperabilidad; demanda modelos horizontales de planificación, gestión y evaluación de su actividad; configura el componente territorial del Sistema de Información Corporativo; exige calidad de los datos, metadatos y procesos; requiere un plan de comunicación y participación, una eficiente gestión del conocimiento, la puesta en marcha de procesos de aprendizaje colectivo y una suficiente gestión del cambio. En definitiva, impacta en la práctica totalidad de los ejes estratégicos de modernización de la administración.

Mi mayor preocupación en torno al tema de la eficiencia de los SIT, de las IDEs, es la carencia de hábito y método para evaluar, para cuantificar, para contabilizar, cuando se pueda, esa eficiencia. Solo si somos capaces de superar esta carencia, estaremos en condiciones de mostrar a la sociedad y a sus responsables que nuestro trabajo merece un respaldo claro, especialmente en momentos de crisis.



# Rapideye y la banda Red-Edge, para el modelado de la vegetación y recuperación de la humedad del suelo

## *Rapideye and the Red-Edge band, for modeling the vegetation and the recovery of the soil moisture*

Francisco Martín Alemany

Centre Suport Programa Català d'Observació de la Terra Institut Cartogràfic de Catalunya. España

---

### Resumen

En el marco del programa de las actividades del PCOT, el trabajo que se presenta se focaliza en el estudio de dos imágenes satelitales de la plataforma RapidEye, en el que se pretende analizar diferentes índices de vegetación ya ampliamente aceptados como son los índices NDVI, SAVI, así como el uso de un nuevo índice de vegetación basado en la banda 'red edge' proporcionada por RapidEye. Así mismo se analizará la idoneidad de estas imágenes como referencia para el modelado de la vegetación en los modelos propuestos para la recuperación de la humedad del suelo.

### Introducción

Una de las propuestas R+D+I (en adelante RADERO/HUMID) en curso por parte del PCOT estudia la recuperación de la humedad del suelo a escalas regionales/locales. Recientemente la humedad del terreno ha ido adquiriendo un mayor peso, llegando a destacarse como un elemento clave dentro del ciclo del agua, cuyo conocimiento entre otras cosas permitirá mejorar las predicciones climáticas y meteorológicas.

Diferentes datos satelitales han sido utilizados para derivar mapas de humedad del terreno, siempre a escalas de dato global. A finales del 2009 se lanzó la primera misión ESA focalizada en la recuperación de la humedad del suelo y la salinidad del océano (SMOS). En breve se prevé que la NASA lance su propia misión dedicada a la recuperación de la humedad del suelo (SMAP).

Es en este contexto en el que 'Programa Catalán de Observación de la Tierra'(PCOT) dentro de la estructura del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), propone el proyecto HUMID como una oportunidad para la recuperación de la humedad del suelo a escalas regionales/locales, donde se emplearán los aviones fotogramétricos ICC para embarcar los diferentes sensores que acabaran estimando la humedad del suelo.

A la hora de derivar la humedad del terreno, varias opciones pueden ser válidas, siendo actualmente la radiometría en banda L la más indicada para este propósito.

A frecuencias de microondas, y concretamente en la banda L, la constante dieléctrica presenta un gran contraste entre un suelo seco y uno húmedo, variando su valor desde 4 para el caso de un suelo seco a 20 aproximadamente para un suelo húmedo.

Por otra parte las microondas pasivas son más sensibles a la humedad del suelo que las microondas activas, siendo al mismo tiempo más robustas frente a la rugosidad del suelo y a la vegetación.

No obstante a pesar de las ventajas que presentan las microondas pasivas, hay una serie de desventajas, como una baja resolución espacial, o bien la pérdida de sensibilidad a la humedad del suelo en presencia de rugosidad, y especialmente en presencia de vegetación, pudiendo a llegar a enmascarar por completo la señal, haciéndola totalmente insensible a la humedad del suelo.



Uno de los métodos más utilizados para modelar los efectos de la vegetación es usando el modelo tau-omega (optical depth-single scattering albedo), cuya expresión corresponde a:

$$T_s = [1 + (1 - e)\gamma_{veg}](1 - \gamma_{veg})(1 + w)T_{veg} + (e\gamma_{veg}T_{soil}) \text{ Eq 1}$$

Donde  $w$  (albedo) representa la dispersión que provoca la cubierta de vegetación,  $e$  es la emisividad,  $T_{veg}$  es la temperatura de la vegetación,  $T_{soil}$  es la temperatura del suelo (en la práctica ambas se consideran iguales), y  $\gamma_{veg}$  es la transmisividad de la vegetación, que a su vez esta relacionada con el optical depth de la siguiente forma:

$$\gamma(\theta, p) = \exp\left(\frac{-\tau(\theta, p)}{\cos\theta}\right) \text{ Eq 2}$$

Donde a su vez  $\gamma_{veg}$  está relacionada con el 'vegetation water content' (VWC) de la forma:

$$\tau = b * VWC \text{ Eq3}$$

Siendo  $b$  un parámetro dependiente del tipo de vegetación. Referente al VWC, diferentes estudios relacionan el VWC, con índices de vegetación como ahora el NDVI, o el NDWI, llegando a ecuaciones semiempíricas claramente definidas para determinados cultivos estudiados.

RADERO/HUMID se basa en la combinación de información aportada por el radiómetro, así como de sensores hiperspectrales (VNIR y térmico). A partir de dichos datos se establecerán los índices de vegetación, los cuales se emplearán para implementar el modelo tau-omega.

Paralelamente a los datos obtenidos por los sensores embarcados en las plataformas ICC, RADERO/HUMID utilizará datos adicionales, tales como medidas 'in situ' o datos provenientes de satélites.

De hecho, HUMID ya ha empleado información proveniente de diferentes fuentes para validar y analizar ciertas asunciones realizadas en la definición de su algoritmo, como datos SMOS, Modis o RapidEye entre otros.

Este artículo se va a centrar en la evaluación de RapidEye como fuente complementaria en la determinación de los índices de vegetación. Para ello se disponen de dos imágenes proporcionadas por RapidEye de la zona de Bañolas correspondientes al 07-02-2009 y al 12-07-2009. El objetivo es ana-

lizar diferentes índices de vegetación ya tratados en teledetección, así como evaluar las prestaciones de RapidEye en el marco del programa HUMID.

## RapidEye

RapidEye es una constelación de cinco pequeños satélites desarrollados por RapidEye AG, que destaca tanto por la resolución espacial ofrecida (6.5 metros) como por el tiempo de revisita (1 día).

RapidEye lleva como carga útil un sensor multispectral, que aparte de las 4 bandas clásicas (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano), incorpora una quinta banda centrada en el 'red edge'. La banda 'red edge' es una banda centrada estratégicamente en el inicio de la porción donde la reflectividad presenta valores altos debido a la respuesta de la vegetación, radicando su interés en el hecho de que se encuentra en la zona de transición entre la reflectancia mínima y máxima, pudiendo ser útil en la medición del estado de la vegetación.

Recientes estudios llegan a sugerir el 'red edge' como alternativa al canal rojo, en base a a que este podría ser más sensible a cambios en el estado de la salud de la planta.

A continuación se muestra una tabla donde se detallan las principales características de las bandas de RapidEye.

Bandas Espectrales	Rango	Usadas en este doc
Blue (440-510 nm)		R <sub>440-510</sub>
Green (520-590 nm)		R <sub>551</sub> , R <sub>550</sub>
Red (630-685 nm)		R <sub>667</sub> , R <sub>670</sub>
Red Edge (690-730 nm)		R <sub>690-730</sub>
NIR (760-850 nm)		R <sub>800</sub>

Tabla 1. Bandas Espectrales disponibles en RapidEye

En la figura 1 se puede apreciar la información proporcionada por las bandas 3, 4 y 5 de RapidEye, así como el contraste existente en el valor de la reflectancia en función de la banda seleccionada. (Ver figura 1)

## Índices de Vegetación

A continuación van a ser analizados diferentes Índices de Vegetación, cuya elección se ha priorizado en base a las bandas espectrales, tanto en la inclusión de la banda 'red edge' para la valoración de su aportación, como las bandas coincidentes con el sensor hiperspectral VNIR disponible en el ICC.



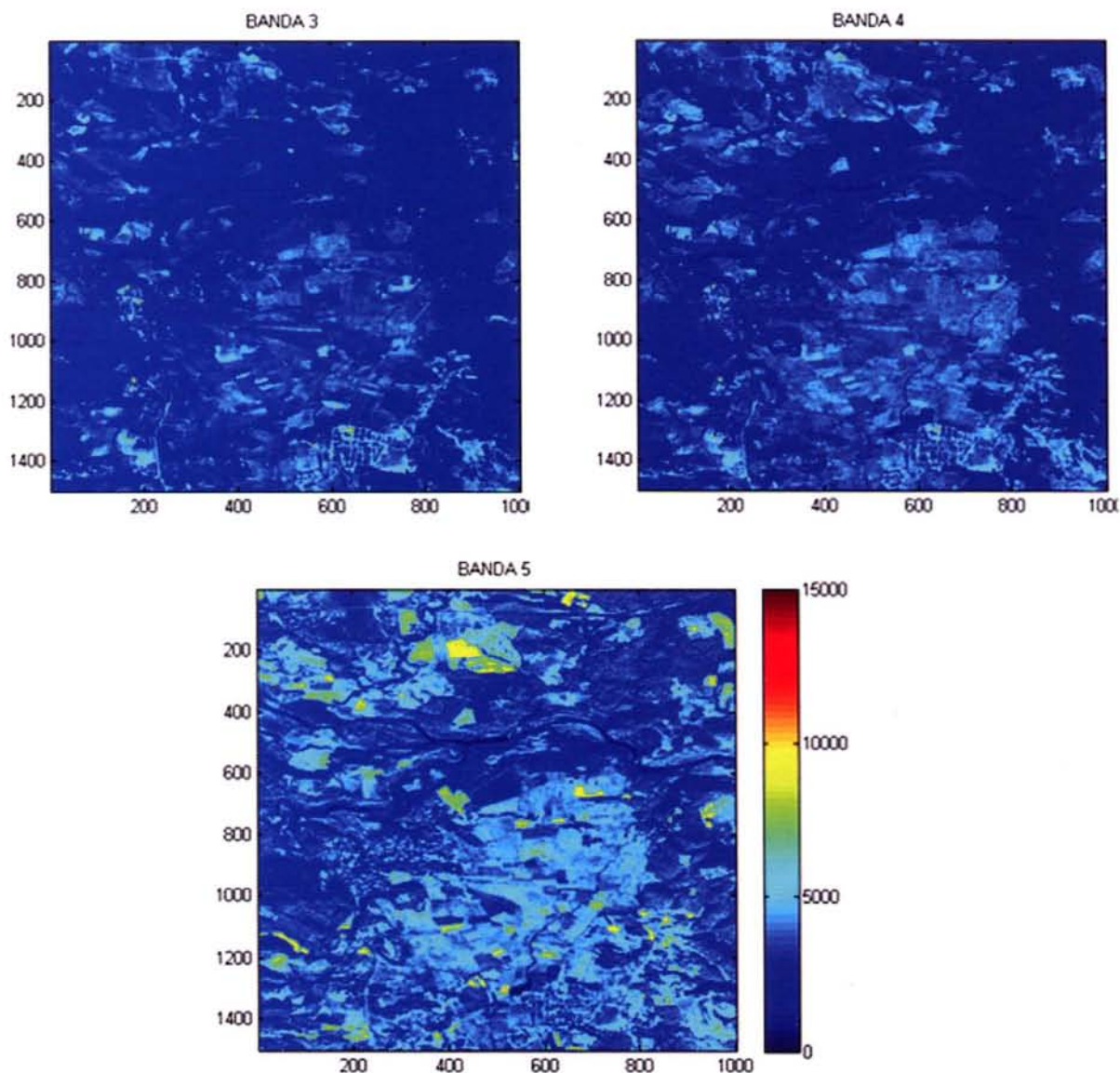


Figura 1. a) Imagen de Bañolas en la banda roja de RapidEye, b) Imagen de Bañolas en la banda 'red edge' de RapidEye, c) Imagen de Bañolas en la banda infrarroja cercana de RapidEye

Básicamente los índices de vegetación permiten realizar una estimación de la abundancia de vegetación utilizando datos espectrales, basándose para ello en las diferencias espectrales dadas entre la vegetación y otros componentes de la superficie terrestre.

Los índices de vegetación más simples son aquellos que se basan en la respuesta espectral dada en ciertas bandas, mientras que otros se basan en cocientes, siendo un ejemplo de ello el 'Greenness Index', el cual es el cociente entre la banda verde y la roja, pretendiendo ser un indicador del contenido de la clorofila, o el 'Simple Ratio Vegetation Index' (RVI) (Jordan, 1969) el cual se basa entre el cociente entre la banda infrarroja cer-

cana (máxima reflexión) y la roja (máxima absorción). Las ecuaciones de ambas expresiones son:

$$G = R_{554}/R_{677} \quad \text{Eq 4}$$

$$RVI = R_{800}/R_{677} \quad \text{Eq 5}$$

Las figuras 2 y 3 muestran el resultado de aplicar en las imágenes RapidEye los dos índices de vegetación anteriores sobre el área de Bañolas. (Ver figuras 2 y 3)

Una variante a los dos casos expuestos arriba sería el 'Normalized Difference Vegetation Index' (Rose, 1973) el cual es el cociente entre la diferen-



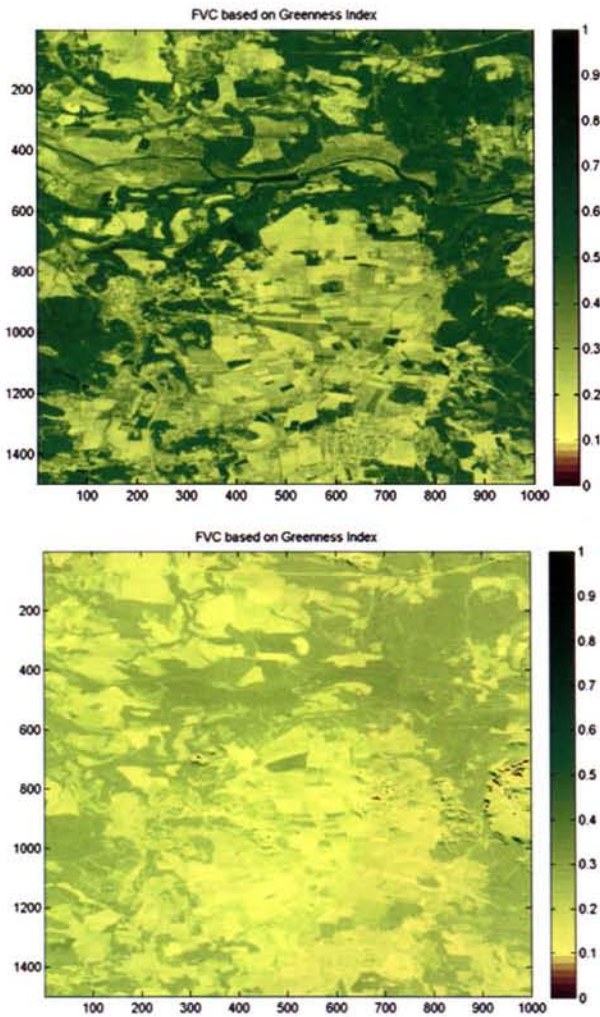


Figura 2. FVC basado en el 'Greenness Index' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

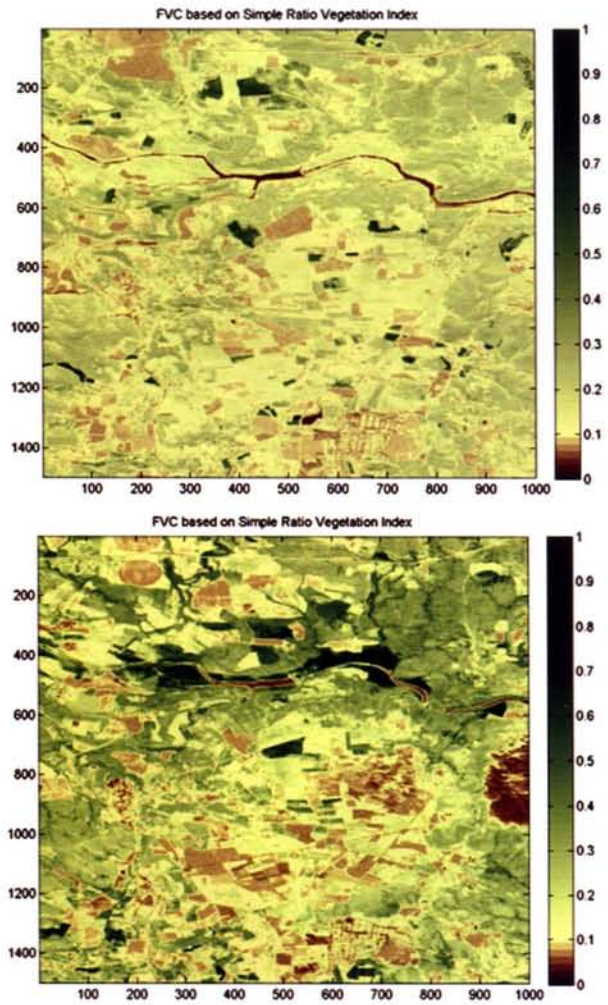


Figura 3. FVC basado en el 'Simple Ration Vegetation Index' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

cia de las reflectividades en el canal infrarrojo cercano y el rojo, y la suma de ambos, tal y como puede apreciarse en la ecuación 6.

$$NDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}} \text{ Eq 6}$$

El NDVI ha sido uno de los índices de vegetación más empleados como indicador del estado de la vegetación, donde se está aprovechando la máxima absorción producida en el canal rojo debido a los pigmentos de la clorofila y a la máxima reflectividad producida en el infrarrojo debida a la estructura celular de las hojas. El principal inconveniente de este índice de vegetación radica en su tendencia a saturarse en cubiertas vegetales moderadas o densas (Leaf Area Index (LAI) >3).

En este sentido el 'Renormalized Difference Vegetation Index' (RDVI) (Rougeon & Breon, 1995), y el 'Modified Simple Ratio' (MSR) (Chen, 1996),

implican una mejora respecto a NDVI, aportando según la literatura una mayor sensibilidad a los parámetros biofísicos.

$$RDVI = \frac{R_{800} - R_{670}}{\sqrt{R_{800} + R_{670}}} \text{ Eq.7}$$

$$MSR = \frac{R_{800}/R_{670} - 1}{(R_{800}/R_{670} + 1)^{0.5}} \text{ Eq.8}$$

Las figures 4, 5 y 6 muestran las diferencias entre ellos.

Índices de vegetación como el SAVI 'Soil Adjusted Vegetation Index' (Huete, 1988), el cual está basado en el NDVI, incluyen un factor L que pretende tener en cuenta las propiedades físicas del suelo.

En dicho escenario L deberá ajustarse a la cubierta bajo estudio, estando en función de la densidad de la vegetación. No obstante el mismo



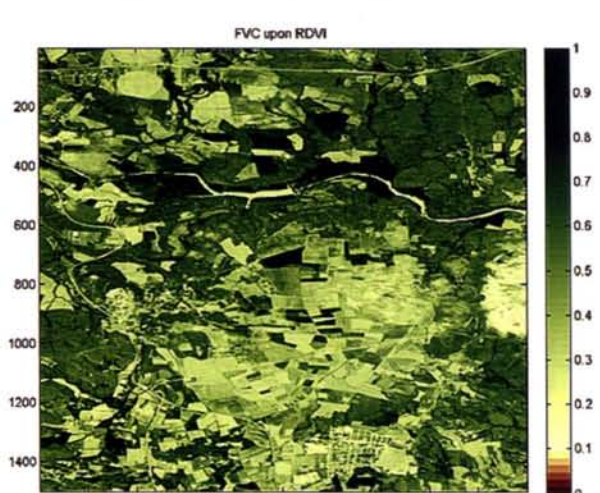
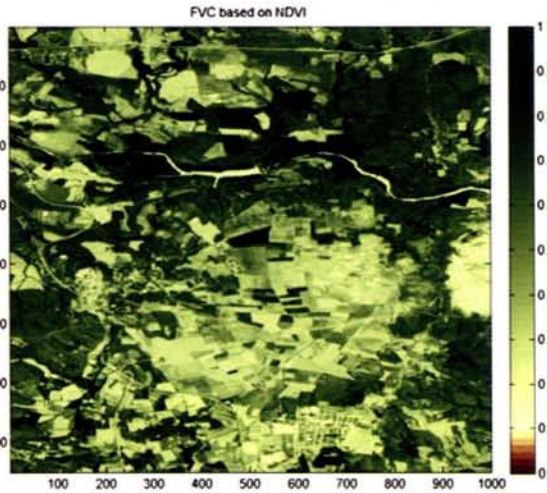
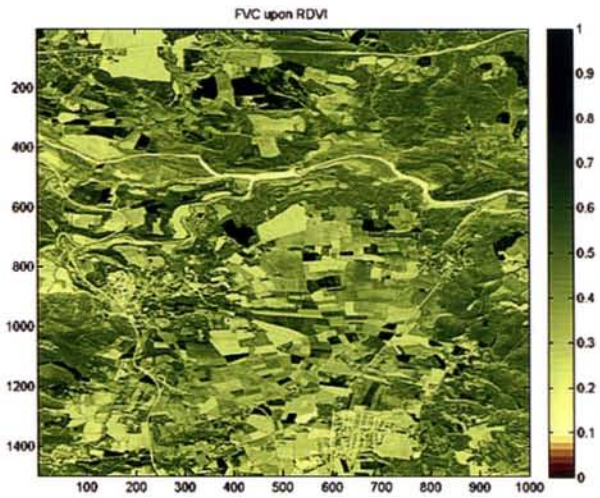
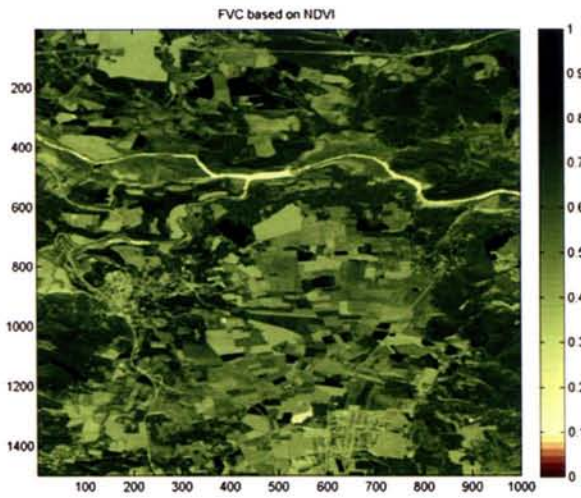


Figura 4. FVC basado en el 'NDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

Figura 5. FVC basado en el 'RDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

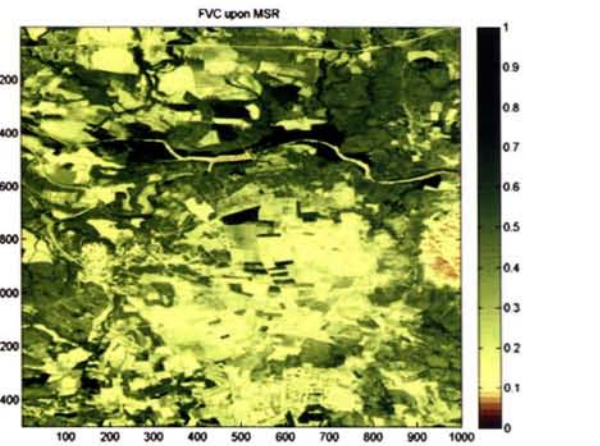
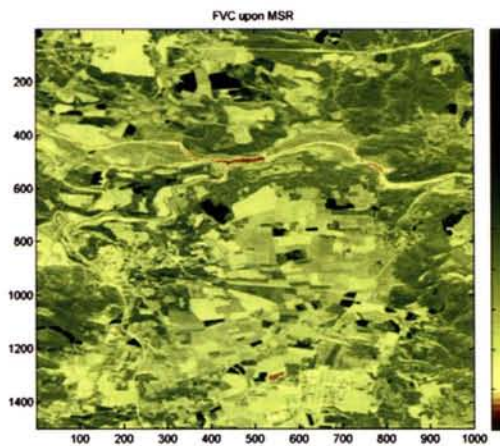


Figura 6. FVC basado en el 'MSR' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

Huete en (Huete, 1988) propone un valor de 0.5 como un valor óptimo de L, (valor adoptado en este artículo).

$$SAVI = (1 + L) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L) \quad \text{Eq. 9}$$

(Qui, 1994), desarrolló el MSAVI 'Modified SAVI', el cual según (Broge and Leblanc, 2000) es el mejor estimador LAI ('Leaf Area Index') en cubiertas densas.

$$MSAVI = \frac{1}{2} [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8(R_{800} - R_{670})}] \quad \text{Eq.10}$$



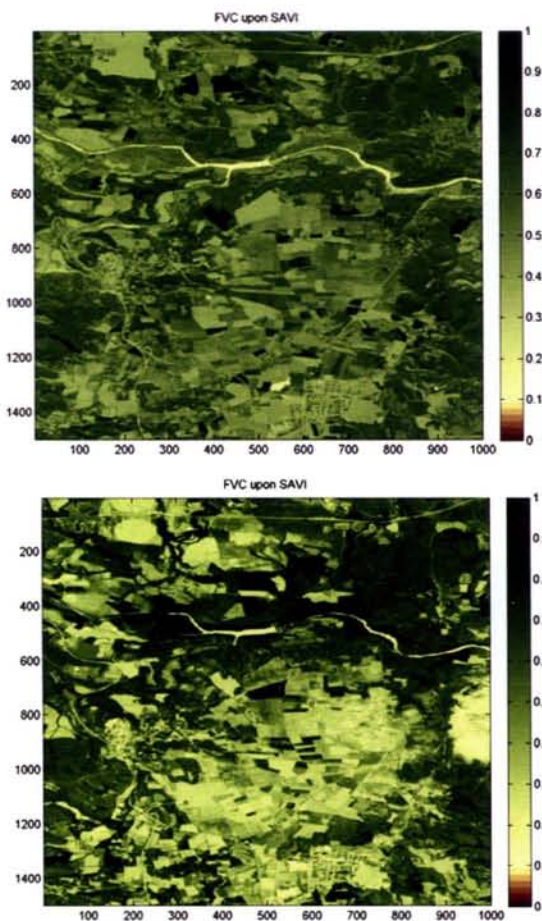


Figura 7. FVC basado en el 'SAVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

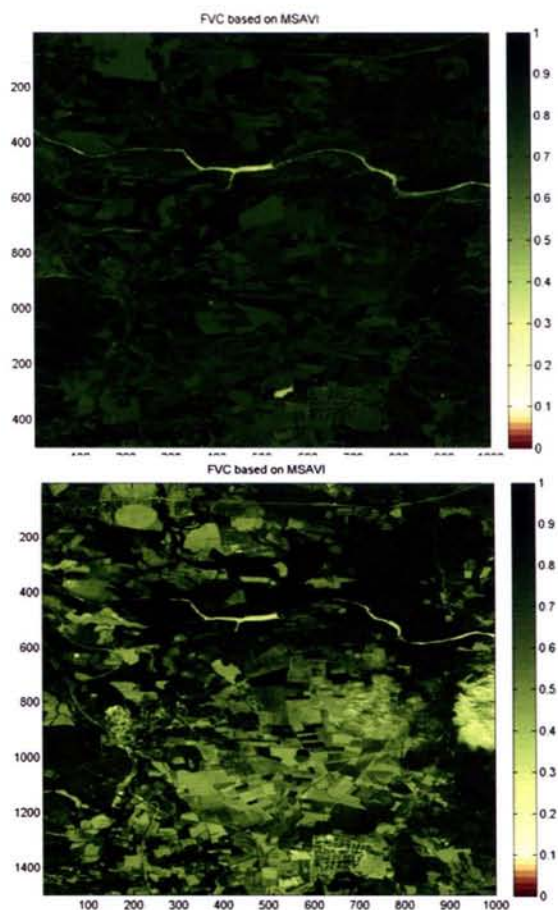


Figura 8. FVC basado en el 'MSAVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

Ambos índices de vegetación han sido aplicados a las imágenes RapidEye en la zona de interés. (Ver figuras 7 y 8)

Otros índices descritos en la literatura utilizan tres bandas discretas, como ahora el MCARI o el TVI, pero se omitirán en este artículo.

## Red Edge NDVI

(Wang Fu, 2007), propone el uso del GNDVI (Green NDVI) y GBNDVI (Green Blue NDVI) como alternativa al NDVI en aquellas situaciones en las que el LAI sea superior a 3. En su artículo Wang Fu analiza varias alternativas (NDVI, GNDVI, BNDVI, GRNDVI, GBNDVI, RBNDVI y PanNDVI) obteniendo para estos dos casos la mejor correlación con el LAI. A continuación se muestran tanto las expresiones de estos índices como los resultados obtenidos.

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green} \quad \text{Eq.11}$$

$$GNDVI = \frac{NIR - (Green + Blue)}{NIR + (Green + Blue)} \quad \text{Eq. 12}$$

(Ver figuras 9 y 10)

A partir del estudio llevado a cabo por Wang Fu, en este artículo se propone una alternativa a los índices de vegetación propuestos en (Wang Fu, 2007) aprovechando la banda 'red-edge'. Son varios los estudios que enumeran la relación entre esta banda y el nivel de nitrógeno o el contenido de clorofila de la planta. Así pues (Collins, 1978) argumenta los cambios en la reflectancia de la banda 'red edge' en función del estado de crecimiento de la planta. Por otra parte (Elvidge and Chen, 1995), muestran el espectro cubierto por la banda 'red-edge' como el más sensible para identificar diferentes niveles de nitrógeno, el cual se encuentra directamente relacionado con el contenido de clorofila de la planta. Otros autores (Elvidge, 1993), indican como la información sobre el contenido clorofílico de las plantas puede ser usada para identificar trazas de vegetación verde.

Atendiendo a los trabajos anteriormente citados, se propone una modificación del índice NDVI, donde a la máxima absorción producida en el canal rojo debido a los pigmentos de la clorofila y a la máxima reflectividad producida en el infrarrojo



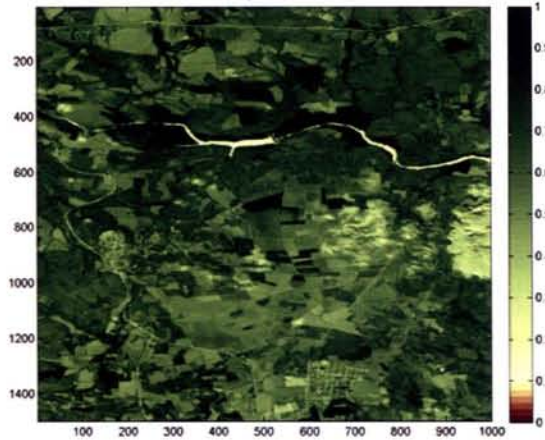
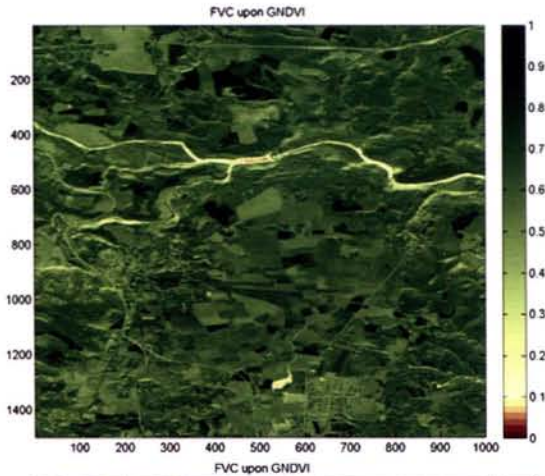


Figura 9. FVC basado en el 'GNDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

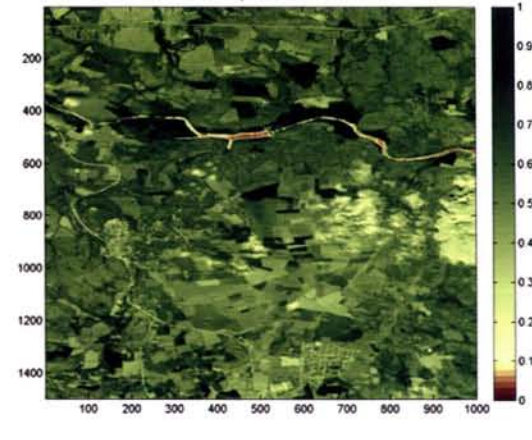
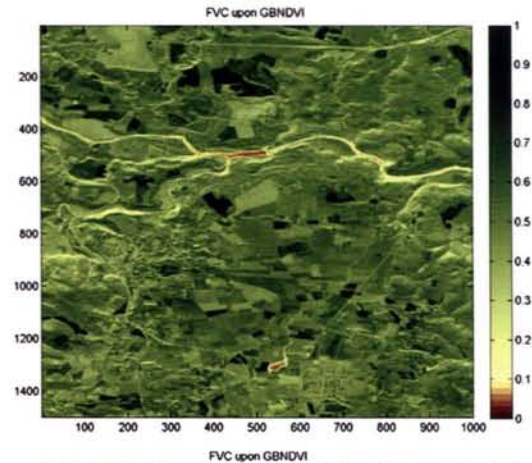


Figura 10. FVC basado en el 'GBNDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

debido a la estructura celular de las hojas, se le incluya la banda red-edge.

Así pues, la propuesta aquí realizada únicamente está combinando los beneficios del NDVI clásico con los beneficios fruto de la información aportada por la banda red-edge (mayor detección del nitrógeno y su relación con el contenido clorofílico).

La ecuación 13 representa la propuesta RedEdge\_NDVI.

$$\text{Red Edge NDVI} = \frac{\text{NIR} - (\text{Red} + \text{Red Edge})}{\text{NIR} + (\text{Red} + \text{Red Edge})} \quad \text{Eq. 13}$$

La siguiente figura muestra los resultados obtenidos con el Red Edge NDVI. (Ver figura 11)

## Resultados

Tomando como referencia los trabajos de Haboudane (Haboudane, 2004) se ha calculado el 'Leaf Area Index' (LAI) a partir de la siguiente ecuación.

$$\text{LAI} = 0.1633 \exp(4.2731 * \text{MSAVI}) \quad \text{Eq.14}$$

A partir de esta expresión se ha obtenido el LAI del área bajo estudio, tal y como se aprecia en la figura 12. Dicho cálculo servirá como referencia para evaluar los diferentes resultados, centrándose esta sección en el análisis sobre la imagen RapidEye tomada el 12-07-2009. (Ver Figura 12)

Para analizar el comportamiento de los diferentes índices expuestos anteriormente, se han realizado diferentes cortes transversales sobre la zona de interés, buscando obtener una LAI heterogénea tal y como se muestra en la figura 13.

En las figuras 14, 15 y 16 se muestran tres gráficas que contienen las correspondientes representaciones de los diferentes índices de vegetación tratados anteriormente, sobre el corte descrito anteriormente. (Ver figuras 14, 15 y 16)

Los resultados obtenidos permiten extraer unas primeras conclusiones. La primera es que entre el 'Greenness Index', 'Simple Ratio Vegetation Index' y el 'Normalized Differential Vegetation Index', es este último el que presenta un mayor rango dinámico en su respuesta, estando ésta bastante ajustada a la LAI.



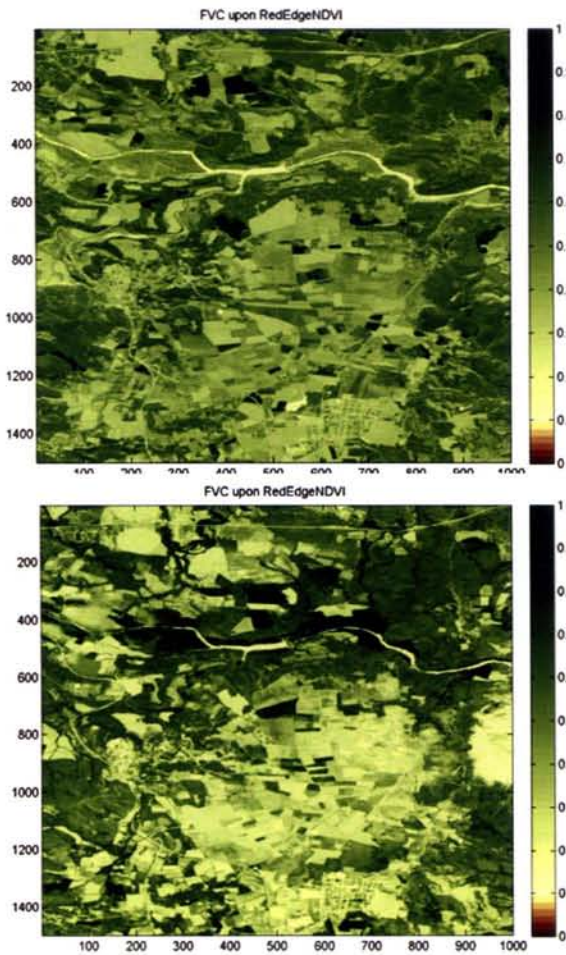


Figura 11. FVC basado en el 'RedEdge NDVI' a) 07-02-2009, b) 12-07-2009

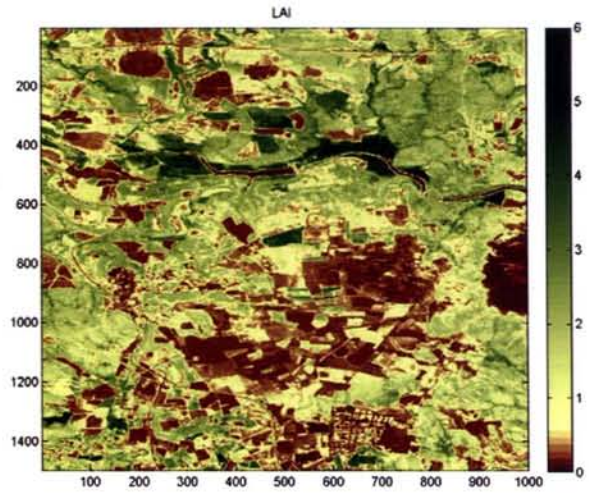


Figura 12. LAI obtenido para la época 12-07-2009

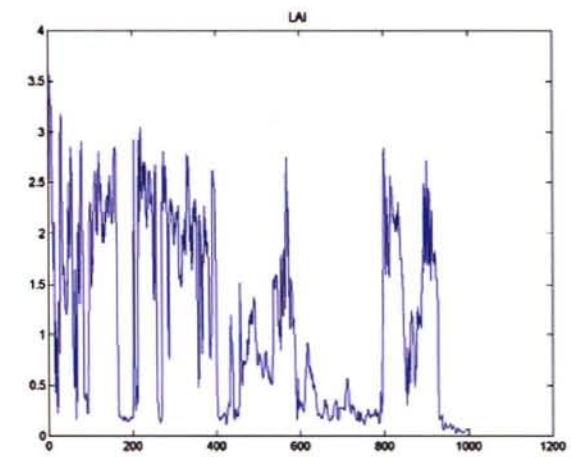


Figura 13. LAI transversal obtenido para la época 12-07-2009

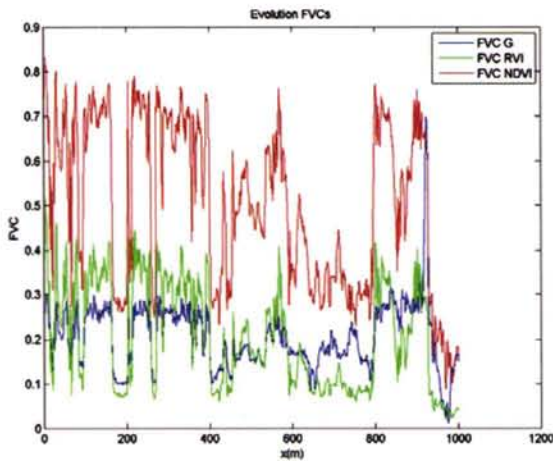


Figura 14. FVCs transversales para el 'Greenes Index', 'RVI' y 'NDVI' obtenidos para la época 12-07-2009.

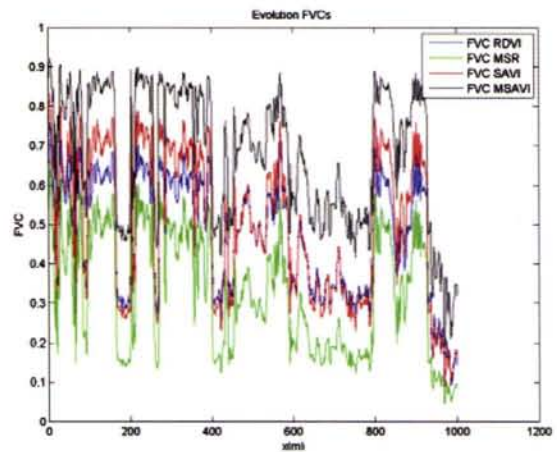


Figura 15. FVCs transversales para el 'RDMI', 'MSR', 'SAVI' y 'MSAVI' obtenidos para la época 12-07-2009.

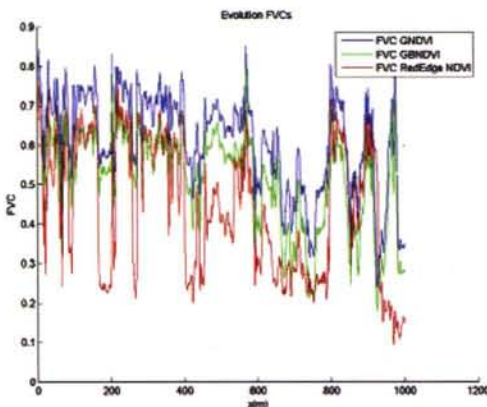


Figura 16. FVCs transversales para el 'GNDVI', 'GBNDVI', 'RedEdge NDVI' obtenidos para la época 12-07-2009



De los diferentes índices de vegetación definidos para mejorar las prestaciones del 'NDVI' en cubiertas vegetales moderadas o densas ( $LAI > 3$ ), de la figura 15 se extrae que el 'SAVI' es de los cuatro índices propuestos como alternativa al 'NDVI' quien presenta una mejor respuesta en términos de rango dinámico, siendo sus resultados muy similares al 'RDVI' pero ofreciendo como ya se ha comentado un mejor rango dinámico. No obstante el comportamiento presentado por todos ellos es muy similar, únicamente variando la sensibilidad de su respuesta.

Finalmente si comparamos los índices de vegetación propuestos en (Wang Fu, 2007) con el propuesto en este artículo, se puede apreciar como la respuesta ofrecida por el RedEdge modified NDVI presenta un mayor rango dinámico junto a una mayor sensibilidad al LAI, que los dos índices propuestos en (Wang Fu, 2007).

Además en la figura 17, se puede apreciar como la correlación existente entre el RedEdge modified NDVI y la LAI es superior que la existente entre esta y los otros dos coeficientes aquí analizados.

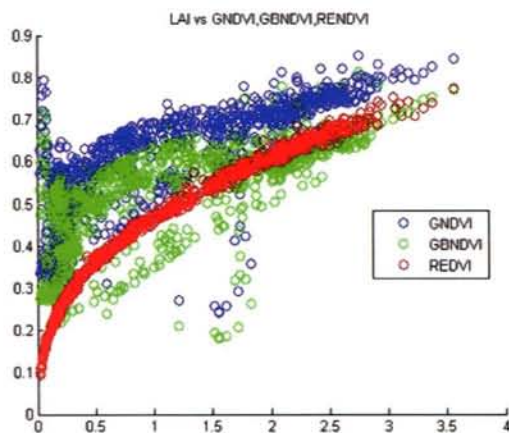


Figura 17. Correlación entre el LAI y el FVC obtenido para el caso 'GNDVI', 'GBNDVI' y 'RedEdge NDVI'

## Conclusiones

A lo largo de este documento se ha intentado evaluar la potencialidad de los productos ofrecidos por RapidEye dentro del marco de trabajo del programa RADERO/HUMID, así como evaluar diferentes Índices de Vegetación, proponiéndose una variante aprovechando el canal 'red-edge' que ofrece RapidEye.

La primera conclusión es que RapiEye puede ser un gran complemento a la información obtenida por el sensor hiperspectral embarcado en los aviones ICC. Teniendo en cuenta la resolución espacial ofrecida por RapidEye, en un principio se aproximará bastante a la que se podrá obtener en

los vuelos (1-5m), con lo cual podría resultar una información complementaria en la validación de los resultados que se obtengan en los vuelos.

Al mismo tiempo es difícil extraer una conclusión respecto a cual de todos los índices de vegetación es el más óptimo en base a los objetivos perseguidos por RADERO/HUMID. De los resultados expuestos la respuesta ofrecida por el NDVI es bastante coherente en áreas cuya LAI no es superior a 3, siendo en este sentido los resultados ofrecidos por el 'SAVI' bastante interesantes y similares a los del NDVI.

Por otra parte, teniendo en cuenta estudios previos realizados, y aprovechando el uso del canal RedEdge se ha realizado una modificación a los Índices expuestos por (Wang Fu, 2007). Wang Fu propone varias modificaciones del NDVI para situaciones de vegetación densa ( $LAI > 3$ ). En este artículo se han comparado los dos índices de vegetación destacados en (Wang Fu, 2007), con una modificación aprovechando el canal 'Red Edge' de RapidEye, obteniéndose mejores resultados a priori, siendo similares a los obtenidos anteriormente con el 'NDVI' y el 'SAVI'.

Se puede pues concluir afirmando que las imágenes 'RapidEye' dentro de los objetivos del programa RADERO/HUMID, pueden ser útiles como complemento a la información que se obtenga con el sensor VNIR con el que se realizarán las campañas de vuelo, aún más si cabe en aquellas zonas donde la LAI sea superior, en cuyos casos será interesante el empleo del índice de vegetación aquí propuesto.

## Referencias

- Broge, N. H., & Leblanc, E. (2000), "Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density", *Remote Sensing of Environment*, vol. 76, pp. 156-172.
- Collins, W. (1978.), *Remote Sensing of Crop Type and Maturity*, *Photogramm. Enq. Remote Sensing*, 44, 43-55.
- Chen, J. (1996). *Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications*. *Can. J. Remote Sens.* 22, 229-242.
- Elvidge, C. D., Chen, Z., and Groeneveld, D. P. (1993), *Detection of trace quantities of green vegetation in 1990 AVIRIS data*, *Remote Sens. Environ.* 44:271- 279.



Elvidge, C.D. and Chen, Z., 1995. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices, *Remote Sens. Environ.* 54 : 38-48.

Haboudane, D., Miller, J., Pattey, E., Zarco-Tejada, P., Strachan, I. (2004), "Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture", *Remote Sensing of Environment*, vol. 90, pp. 337-352

Huete, A. R. (1988) "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, pp. 295-309.

Jordan, C. F. (1969) "Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor," *Ecology*, vol. 50, pp. 663-666.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., and Kerr, Y. H. (1994) "Modified Soil Adjusted Vegetation Index

(MSAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 48, pp. 119-126.

Rougean, J. L. And Breon, F. M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bi-directional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 51:375-384.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," *Third ERTS Symposium, NASA SP-351*, vol. 1, pp.309-317.

Ulaby, F., Moore, R., Fung, A., *Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Vol 3* (1986). Artech House inc.

Wang, F., Huang, J., Tang, Y., Wang, X. (2007), "New vegetation Index and its application in estimation Leaf Area Index of rice", *Science Directe*, vol. 14, 195-203.

## NOTICIAS

### Nuevo receptor topográfico GNSS Leica Viva GS25

El Leica Viva GS25 es el definitivo receptor topográfico de alto nivel GNSS y amplía el portafolio de Leica GNSS en su exitosa familia Leica Viva. El receptor GS25 ofrece un rendimiento óptimo, incluso en las condiciones más exigentes, ofreciendo la máxima precisión y fiabilidad, mayor flexibilidad, una tecnología probada, extrema robustez y diseño.

Alta precisión y muy fiable - un sensor que puede ser utilizado en cualquier lugar. Los topógrafos necesitan realizar sus tareas con la mayor precisión y fiabilidad. Para las tareas cotidianas de los más exigentes o complicados trabajos topográficos GNSS, el versátil Leica Viva GS25 cumple todos los requisitos.

Con la protección ambiental IP67, el Leica Viva GS25 está construido con los más altos estándares para los ambientes más extremos.

Máxima flexibilidad - la creación de soluciones para cualquier reto. El receptor GNSS Leica Viva GS25 permite múltiples opciones de configuración para conectar una amplia variedad de dispositivos y dispositivos de almacenamiento de datos. Interfaces para el SPP, que junto a un nuevo y excelente motor de medida, hace que sea el receptor ideal para aplicaciones especiales, tales como la investigación académica.

Con la moderna tecnología incorporada en comunicación como Bluetooth® inalámbrico, GSM, UMTS o radio interior, no

necesita de ningún dispositivo de comunicación externo o cables. La pequeña pantalla y la interfaz de usuario en el GS25 Viva permite la configuración sin necesidad de ningún dispositivo externo. Además, el receptor GNSS puede ser fácilmente controlado por un navegador web.

Todas estas características, el mayor número de salidas, y las diferentes formas de acceder al software, permite a los usuarios pueden realizar la más amplia variedad de tareas, y hace del receptor Leica Viva GNSS GS25 el más flexible del mercado hoy en día.

El Leica Viva GS25 estará disponible en noviembre de 2011, junto a la nueva versión de Leica SmartWorx Viva v4.0.



# Washington, Jefferson y Lincoln, tres topógrafos memorables

Mario Ruiz Morales

Centro Nacional de Información Geográfica & Universidad de Granada. España

El ejercicio de la topografía ha sido considerado desde siempre como una profesión digna, poco común y rodeada del halo característico que suele acompañar a lo desconocido. En el antiguo Egipto la practicaban fundamentalmente individuos de la casta sacerdotal, cuyo cometido básico era replantear los límites de las propiedades que periódicamente desaparecían tras las inundaciones del Nilo, para que así pudieran restablecerse los cobros de los impuestos correspondientes. Esa estrecha relación entre religión y gobierno quedó asociada a la secular tarea de aquellos agrimensores y expertos geometras, hasta el punto de perdurar en los siglos venideros. Así quedó recogido en la obra de Plinio el viejo, cuando dejó escrito que la actividad topográfica era sublime y solo al alcance de los privilegiados.

Quizás fuese Herón de Alejandría (10-70) el último representante de aquella pléyade de topógrafos que le precedieron. A él se debe uno de los tratados más antiguos de que se tienen noticias, en el que, además de describir los instrumentos necesarios para las operaciones de campo, incluyó un interesante listado en el que se detallaban las equivalencias entre las unidades de medida antiguas y las de su tiempo. A Herón debe de considerársele como el prototipo de ingeniero y precursor de una ciencia tan moderna e importante como la metrología. La tradición topográfica la continuaron en el imperio romano sus gromatici, gracias a los cuales se desarrolló sobremanera el catastro; baste decir que se confeccionaban dos copias de las representaciones gráficas: una para la colonia y otra para Roma. De entre todos ellos, merece ser destacado Sextus Julius Frontinus (c.35-104), gobernador de Britania, en cuyos trabajos se evidencian ya los principios de la topografía catastral y de la distribución de la propiedad, en la que el *cardus maximus* (NS) y el *decumanus maximus* (EW) fueron las líneas maestras.

Los árabes, que continuaron la tradición astronómica y geodésica de los griegos, contaron también con topógrafos excepcionales en el califato de Bagdad, entre los que al-Khawarizmi

(780-850) y al-Biruni (973-1048) fueron dos figuras de primer orden; aunque sea obvio que destacaron más en las otras dos disciplinas. De entre todos los topógrafos renacentistas sobresalen Leonardo da Vinci (1452-1519) y Gerard Mercator (1512-1594), que estuvieron al servicio respectivo de Francisco I (1494-1547) y de Carlos V (1500-1558). A este último rey se le debió la feliz iniciativa de crear el primer Cuerpo Profesional de Topógrafos en los Países Bajos, encargado de los levantamientos catastrales de aquellos territorios y cuyo reglamento firmó en el año 1534. Jacob van Deventer (1500-1575), topógrafo sobresaliente y contemporáneo del emperador, empleó por vez primera la novedosa triangulación como método ideal e indirecto para determinar grandes distancias entre puntos inaccesibles, un procedimiento que cobraría a partir de entonces una especial relevancia en la historia de las medidas de la Tierra (Figura 1).



Figura 1



En el siglo XVII sobresale también en Holanda la figura de Willebrod Snel van Royen (1580-1626), que con el gran cuadrante construido por William Blaeu (1571-1638), logró medir el desarrollo de un arco de meridiano aplicando la metodología anterior. Fue en el transcurso de tales operaciones cuando efectuó la primera intersección inversa de los tiempos modernos que está debidamente documentada, para obtener así las coordenadas de su vivienda en la ciudad de Leiden. Otro topógrafo que tampoco debe pasar por alto fue el abad francés Jean Picard (1620-1682), el cual ideó la nivelación geométrica y la aplicó con gran éxito en los jardines de Versalles. Sin embargo la contribución con la que pasó a la posteridad fue su rigurosa determinación del radio terrestre, midiendo para ello el arco de meridiano comprendido entre París y Amiens, apoyándose para ello en una cadena de triángulos similar a la que ya había sido usada por Snel. No debe de olvidarse que dicho cálculo le permitió a Isaac Newton (1642-1727) comprobar la bondad de su conocida ley de gravitación universal y decidirlo a publicar sus trascendentales Principia (Philosophiae Naturalis Principia mathematica) en 1687; que quizás sea la obra más relevante en la historia de la ciencia.

Culminaremos esta breve aproximación cronológica dando paso al incipiente desarrollo topográfico que se estaba gestando en los futuros estados Unidos de América, desempeñando sus muchos topógrafos un papel básico para el conocimiento geográfico de aquellas extensas e inexploradas regiones; sin olvidar las difíciles tareas de amojonamiento de sus límites y su decisiva colaboración en el consiguiente reparto de tierras entre los colonos (los nuevos habitantes de las mismas). El papel desempeñado por esos topógrafos en los condados de las colonias fue clave para el posterior desarrollo político del país, llegando a competir su influencia en condiciones de igualdad con la de los gobernadores reales. Es constatable que la participación de sus líderes en la vida pública sirvió no solo de revulsivo para la ordenación territorial, sino que también contribuyó la misma a la consolidación de la milicia y de la cultura, como un bien fundamental. No es por tanto casual que tres de los primeros presidentes de los Estados Unidos hubiera ejercido en su juventud la profesión de topógrafo. Aunque pretenda reivindicar la importancia de la labor desempeñada por todos ellos, es a esos tres topógrafos memorables a las que se dedica de manera especial este pequeño homenaje, a saber: G. Washington, T. Jefferson y A. Lincoln<sup>1</sup> (Figura 2).



Figura 2

## GEORGE WASHINGTON (1732-1799)

G. Washington nació en el seno de una familia acomodada de Virginia, no en vano sus dos hermanos<sup>2</sup> mayores fueron educados en Inglaterra. En cambio sus primeras enseñanzas se limitaron al aprendizaje del inglés y a unas ligeras nociones de aritmética y geografía, pues la muerte del padre y las dificultades económicas consiguientes son las únicas que fueron posibles. Aunque generalmente sea sabido el hecho de que Washington fue el líder de la revolución americana y de la lucha por la independencia de los Estados Unidos, además de su primer presidente, es menos numeroso el colectivo que asocia su nombre con la geografía, la cartografía y la topografía. Un hecho que es muy relevante, ya que los conocimientos topográficos, que adquirió en su juventud, y su actividad cartográfica posterior fueron de gran importancia para el buen desempeño de su presidencia. Sus primeras lecciones de topografía las recibió en la Henry Williams School, mientras que vivía a cargo de su hermano Augustine (1694-1743), siendo allí donde se inició el desarrollo de su especial habilidad para la geometría y su práctica. Acto seguido pasó a la escuela de James Marye en Fredericksburg, finalizando su etapa escolar cuando tenía quince años.

El hecho de que hubiera muy pocos topógrafos en su condado, y de que fuese notorio el elevado importe de sus ganancias, debió ser suficiente para que sus hermanos decidieran que esa debería ser su futura profesión; máxime cuando eran conscientes de los trabajos topográficos previos que ya había realizado durante su etapa de aprendizaje, utilizando la cadena de agrimensor que había comprado al efecto<sup>3</sup> y otros instrumentos con los que había efectuado diferentes observaciones desde la terraza de su propia casa<sup>4</sup>. De entre todos ellos cabe citar el plano del jardín que



había heredado de su hermano mayor Lawrence (1718-1752), un lugar al que luego puso el nombre de Mount Vernon<sup>5</sup>. Este hermano de Washington estaba casado con Anne Fairfax (1728-1761), que pertenecía a una de las familias más acaudaladas e influyentes del condado<sup>6</sup>. No es de extrañar pues, que Lord Fairfax (1693-1781), concededor de la valía de su recomendado, lo propusiera como colaborador asistente del inglés James Genn, topógrafo oficial del Prince William County. Fue a raíz de entonces (1748) cuando comenzó la actividad profesional de Washington, en compañía de George William Fairfax (1725-1787), efectuando toda clase de levantamientos por la zona de Blue Ridge Mountains; la campaña de campo duró casi un mes, y Washington relató los pormenores de la misma en sus diarios. Uno de los primeros planos levantados por Washington se descubrió en el condado de Fairfax (Virginia), realmente se trata de un testimonio gráfico de primer orden manuscrito y firmado por él mismo, en el año 1749, es decir cuando solamente tenía diecisiete años. El trabajo lo hizo por encargo de lord Fairfax. El texto va ilustrado con una bonita acuarela que representa el tramo de un arroyo y una isla situada en el centro de su curso; el lugar, situado en "Broad Run of Occoquan", se encontraba a unas 20 millas de M. Vernon, que luego sería la residencia de Washington. (Figura 3).



Figura 3

El papel desempeñado por los topógrafos de Virginia se revalorizó sobremanera cuando los grandes propietarios decidieron efectuar el levantamiento fiable de sus territorios, determinando y marcando los límites de los mismos. De ese modo, el status social de tales profesionales mejoró sustancialmente, hasta el punto de poder adquirir porciones sustanciales de los terrenos que previamente habían medido. Fue entonces, en

1749, cuando Washington aceptó el nombramiento de topógrafo oficial del condado Culpeper, sirviendo como tal hasta 1752. Durante ese periodo adquirió una reputación de hombre capaz y honesto, que lo distinguía de otros de sus compañeros, amparado siempre por el apoyo que le proporcionaba la familia Fairfax. De ese tiempo (1750) data el plano levantado, por encargo de John Lindsey (1750-1806), de unos 460 acres extendidos a lo largo del Great Cacapon River; la representación lleva las iniciales S.C.C. (Surveyor of Culpeper County), prueba inequívoca del carácter oficial de este trabajo topográfico de G. Washington. Tanto en ese plano, conservado en la Biblioteca del Congreso, como en los casi 200 que se atribuyen, se aprecia su buen estilo, excelente terminación y mejor apariencia estética.

Además de esos levantamientos de carácter oficial, Washington realizó muchos otros en la zona del río Potomac, que se transformaría luego en la ciudad americana de Alejandría. El primero de este grupo, ultimado en 1745, que tituló Plat of the land whereon now stands the town of Alexandria, se refiere al futuro emplazamiento de esa ciudad (como aclara el título) y se representaron en él estructuras previas y otros detalles de primer orden, como sondas del río, básicas para el posterior proyecto del puerto. El que no figure el entramado urbano parece demostrar que los correspondientes trabajos de campo debieron de efectuarse entre marzo de 1748 y julio de 1749, año en que se constituyó formalmente la referida ciudad. Otro plano igualmente significativo fue el llamado Plan of Alexandria, en el que ya si incluyó el proyecto de red viaria aunque aún no se hubiese hecho efectivo; este plano fue usado para adjudicar los diferentes solares en ese último mes. Una información añadida que proporciona ese plano, y que incrementa su valor, es el listado que lo acompaña, especificándose en él el nombre del propietario de cada lote, su localización y el precio pagado

por el mismo; entre ellos destacan los dos hermanos de Washington y otros miembros de la familia Fairfax. (Figura 4).

Es muy probable que su conocimiento del territorio propiciado por su incesante actividad topográfica, amén de su prestigio, contribuyeran a su incorporación al regimiento de Virginia, como adjunto del gobernador Robert Dinwiddie (1693-





Figura 4

1770), el cual había solicitado su presencia. Su involucración en la guerra con los indios y los franceses fue inmediata, siendo elegido para ofrecer un ultimátum al fuerte francés de Le Boeuf, junto a la actual Waterford (Pensilvania), insistiendo en que en todo caso serian expulsados del valle. Ese suceso aumentó aún más su fama, gracias a la reimpresión de su diario de operaciones, realizada en Londres. Para explicar los pormenores de esa operación militar, se valió Washington de un mapa aproximado de la región<sup>7</sup>, el cual serviría a la larga para ilustrar la amenaza asociada al destacamento francés durante las primeras escaramuzas de la guerra de 1754 y su posterior desastre en el valle de Ohio.

Aunque resulte un tanto curioso, la actividad topográfica de Washington aparece también indisolublemente unida a la de especulador del suelo, que inició en el año 1752, cuando compró 1459 acres en el condado de Frederick (Virginia). En el año 1758, una vez abandonada su carrera militar e incorporado a la vida civil, retoma

esa actividad financiera. Dos años después compró 1806 acres, en la frontera Norte del estado, a su vecino William Clifton; conservándose en la Biblioteca del Congreso dos planos manuscritos que hizo Washington en relación con esa operación. El primero de ellos es una copia de 1760: Plan of M. Clifton's Neck Land from an original made by T.H. in 1755 and copied by G. Washington in 1760. El plano es acotado y detalla las dimensiones de las distintas fincas cultivadas, también en este caso se incluyó un listado con los nombres de los labradores que trabajaban en su propiedad. En 1766 preparó un plano de una porción de la misma, llamado A Plan of My Farm on Little Hunting Creek, un lugar por el que sintió especial predilección el resto de su vida. En sus diarios figura que hasta el año de su fallecimiento estuvo preocupado por la representación fiable de sus propiedades en Mount Vernon, repitiendo incluso algunos de sus trabajos previos. (Figura 5).

En el año 1769, Washington pudo por fin cumplir la promesa de 1754, por la que se entregarían a los soldados de Virginia 200000 acres en los terrenos fértiles del Norte de Ohio. Para ello presionó al Colegio de William y Mary<sup>8</sup> con el fin de que seleccionasen como topógrafo responsable a su viejo amigo William Crawford (1732-1782), con el que había compartido muchos de sus trabajos. El presidente de la institución, James Horrocks (†1772), le aseguró a Washington que su recomendado era del todo competente y que no defraudaría su confianza. El nombramiento lo fechó en



Figura 5



1771, justamente cuando los oficiales ya habían reclamado los terrenos correspondientes. Crawford procedió con rapidez, como demuestra el hecho de que a finales del año 1772 ya había levantado 128000 acres, es decir unas 52800 hectáreas. Los trabajos de campo los empezó al Oeste de Fort Pitt, aunque después trasladase la jurisdicción al territorio que había en la unión de los dos ríos: Ohio y Big Sandy. Por esas mismas fechas Washington ya había repartido 6843 acres junto al río Kanawha (Condado de Botetourt), añadiéndole otros 7276 al año siguiente.

Las inquietudes cartográficas del primer presidente de los Estados Unidos discurrieron en paralelo a sus numerosos trabajos topográficos, haciéndose más patentes durante la revolución previa a la independencia. Ante la permanente falta de mapas del teatro de operaciones, denunciada por él en numerosas ocasiones<sup>9</sup>, propuso la creación de una especie de Centro Geográfico del Ejército, con el objetivo inmediato de paliar esa dificultad. Al frente del mismo colocó, en 1777, al ingeniero escocés Robert Erskine (1735-1780), del que ya tenía noticias por sus planos Marine Cheveaux de Frise, que facilitaron el bloqueo de los barcos ingleses en el río Hudson. Cuando Washington murió en M. Vernon y años después se inventariaron los bienes y documentos de su residencia, se encontró una valiosa colección cartográfica compuesta por noventa mapas y atlas, incluyendo el celebrado mapa de Virginia (1770), hecho a escala 1/400000 por John Henry (1704-1773) y otro del Estado de Virginia, compuesto por Joshua Fry (1700-1754), coronel de su regimiento, y por Peter Jefferson (1708-1757), buen cartógrafo y padre del futuro presidente Thomas Jefferson. (Figura 6).



Figura 6

Acto seguido se publicaron numerosas biografías en las que se glosaban, de una u otra forma, los trabajos topográficos de su juventud. Sin embargo, no fue hasta el año 1932 cuando se recopilaron la mayoría de sus imágenes cartográficas en el Atlas confeccionado en su honor: The George Washington Atlas<sup>10</sup>. El editor fue el coronel Lawrence Martin (1880-1955), responsable por entonces de la Cartoteca del Congreso, el cual descubrió más de veinte mapas o planos debidos a Washington de los que no había constancia. En el listado de las obras aparecen desde sus primeros planos topográficos de 1747 hasta su último levantamiento del Monte Vernon, incluyendo además croquis a lápiz y a tinta, planos expeditos y otros cuidadosamente elaborados. En el año 1991 realizó Edward J. Redmon una tesis doctoral, defendida en la Universidad de Westchester, con el título *George Washington's activities in securing land grants along the western Frontiers of Virginia (1767-1799) and list of maps drawn or annotated by George Washington*, en la que se descubrieron nuevos documentos cartográficos que no habían sido inventariados cuando se confeccionó el atlas anterior.

## THOMAS JEFFERSON (1743-1826)

Jefferson fue el tercer topógrafo de su familia, puesto que antes lo había sido su bisabuelo y aún lo era su padre cuando él nació. Su padre fue precisamente quien le enseñó a leer y a escribir, además de explicarle las primeras nociones de aritmética. También fue muy temprana su afición por la música, llegando a leerla y a tocar el violín. Con tan poca edad estaba muy interesado en las aventuras topográficas de su padre y de otros compañeros de profesión, quienes a menudo tenían

que defenderse de los ataques de los indios y hasta de las fieras. Mención aparte merece su interés por la biblioteca de su padre y por los instrumentos matemáticos con que contaba. Jefferson completó sus primeras enseñanzas con las lecciones de topografía que le daba aquel, al que acompañó en numerosas ocasiones, además de otras de dibujo, una materia en la que no tardó en mostrar su habilidad.

También fue decisión de su padre que pasara cinco años en la Latin School del sacerdote escocés William Douglas (1708-1798), en la que aprendió las lenguas clásicas, francés, álgebra, geometría, topografía, fortificación, navegación y el uso de globos y mapas. Thomas Jefferson tenía 14 años



cuando murió su padre, heredando así todos sus mapas e instrumentos, junto a la pesada carga que suponía el transformarse en el nuevo cabeza de familia. Ello no le impidió continuar sus estudios en la escuela del sacerdote irlandés James Maury (1719-1769), The Maury's School, la institución más prestigiosa que había en el condado de Albemarle; allí fue donde se desarrolló su permanente curiosidad científica<sup>11</sup>. Con diecisiete años finalizó sus estudios medios y emprendió los superiores en el colegio William and Mary, el único centro que había por aquellos territorios del Sur, una vez desechada la posibilidad de cursarlos en alguna universidad inglesa por el elevado coste que ello habría supuesto. (Figura 7).



Figura 7

Sin embargo, el nivel académico que imperaba en ese centro no era el adecuado y Thomas Jefferson solo prestó verdadera atención a las clases de William Small (1734-1775), el único miembro del claustro que no era sacerdote, profesor de física, metafísica y matemáticas<sup>12</sup>, además de múltiples prácticas con variados instrumentos. Muy pronto surgió entre profesor y alumno una sólida amistad, producto de sus numerosas conversaciones, tal como refería nuestro protagonista años después: "probablemente mi mayor fortuna y la

que forjó el destino de mi vida, se deba a que el doctor escocés William Small fuera entonces mi profesor de matemáticas; un hombre conocedor de todas las ramas de la ciencia, un excelente comunicador, correcto y caballero, con una mente abierta y liberal"<sup>13</sup>. De la talla intelectual de Small da idea la bibliografía que manejaba en sus clases: The construction and use of celestial and terrestrial globes (1719) de George Adams (1720-1773), o el Lexicon Technicum and astronomical dialogues... with a description of the Orrery, publicado por John Harris (1668-1719) en 1719.

Jefferson fue presentado por este profesor al gobernador de Virginia, Francis Fauquier (1703-1768), el cual tenía un probado interés por las ciencias, como muestra el hecho de que se llegasen a publicar sus trabajos en la Royal Society de Londres. De esa forma Jefferson tuvo acceso a los instrumentos científicos de aquel, entre los que cabe destacar un telescopio, instrumentos de dibujo, un nivel y un odómetro o perambulator; colaborando con el gobernador en muchos de los experimentos y demostraciones realizadas con estos. Al finalizar su estancia en el colegio, aceptó la sugerencia de W. Small, y de su también amigo George White (1775-1863), y comenzó a estudiar derecho<sup>13</sup> en el despacho de este último, a finales del año 1762, desplazándose para ello a la ciudad de Williamsburg.

Durante su estancia en aquella ciudad alcanzó su mayoría de edad, en el año 1764, y retomó su actividad topográfica, midiendo la altura de sus dos ensenadas, una tributaria del río James y otra del río York, siendo los dos navegables hasta una milla adentro de la ciudad; es probable que se valiera para ello de los instrumentos anteriores. Siendo ya formalmente el cabeza de familia, decidió hacer navegable el río Rivanna, que discurría por sus propiedades. Durante los trabajos previos, hizo un levantamiento del mismo, a bordo de una canoa, el cual confirmó la viabilidad de su proyecto. La limpieza y el dragado del río se completaron en los próximos cinco años. Por ese entonces fue cuando compró los terrenos situados sobre una suave colina que solía frecuentar en sus paseos y a la que luego llamó Monticello, clara evidencia de la admiración que sentía por los trabajos del arquitecto Andrea Palladio (1508-1580), de los que estaba muy al tanto. Quizás compró, por ese motivo, el primer instrumento de su propia colección, un nivel de burbuja, con el que supervisaría las explanaciones y nivelaciones necesarias para construir la casa, en 1767. Los planos de su futuro hogar los dibujó al año siguiente, trasladándose a él en el año 1770. El primer día del año 1772, Jefferson contrajo matrimonio con Marta Skelton (1748-1782), una bella y joven viuda, teniendo en el mes



de septiembre su primera hija. Los deberes para con su nueva familia pospusieron sus inquietudes científicas en los próximos años, aunque otra circunstancia no menos relevante fuera que el conflicto de las colonias americanas con Inglaterra eracada vez más patente.

En el otoño del año 1773, el director y el claustro del colegio de William y Mary acordaron por unanimidad, ofrecer a Jefferson la plaza de topógrafo del condado de Albermale. Sin embargo, este rechazó el posible nombramiento, a pesar de que por esas fechas estaba pensando en dejar el ejercicio de la abogacía. Varias son las razones que podrían explicar su rechazo, por una parte el hecho de que el territorio público ya había sido prácticamente repartido y no eran previsibles demasiadas tareas para los topógrafos; en segundo lugar recordaría que su padre se veía obligado a pasar demasiado tiempo lejos de la familia. Aunque al parecer el motivo principal fue que otros deberes inexcusables fueron ocupando sistemáticamente más parte de su tiempo. No obstante, a pesar de su incesante actividad política, había ciertos periodos en los que pasaba en Monticello varios meses seguidos. Durante uno de ellos (1777) se creó el condado de Fluvanna, segregándolo del de Albermarle; siendo el propio Jefferson el encargado de hacer el correspondiente levantamiento topográfico para fijar el límite jurisdiccional entre ambos, siendo su resultado la primera contribución cartográfica que se le supone. En enero de 1778 compró un teodolito para realizar una vuelta de horizonte desde su casa, fijando la altitud y acimut de los picos más notables observados durante la misma. También fue en ese año cuando efectuó la observación del eclipse de Sol ocurrido el día 24 de junio, desde igual lugar. De nuevo se desperta-

ron sus inquietudes astronómicas y su deseo de contar con un observatorio, una idea que ya tuvo en 1772, llegando a proyectar uno de cinco plantas y con una altura total de 107 pies, es decir mayor de 30 metros<sup>16</sup>, aunque nunca llegase a buen término. (Figura 8).

Siendo ya gobernador de Virginia, en 1779, se le encargó a Jefferson la prolongación de la línea fronteriza entre ese estado y el de Pennsylvania. Para ello eligió como responsable a los sacerdotes James Madison (1749-1812) y Robert Andrews (1746-1813), los cuales debían extenderla cinco grados de longitud mediante observaciones astronómicas, terminando así el trabajo realizado en su día por los ingleses Charles Mason (1730-1787) y Jeremiah Dixon (1733-1779)<sup>17</sup>. Unas observaciones se efectuaron desde Filadelfia y otras desde el fuerte Pitt. En cuanto a los instrumentos, se adquirirían en aquella ciudad los usados por el primer equipo, mientras que los del segundo los debería proporcionar el colegio de William y Mary. El retraso en la entrega de estos últimos hizo que los trabajos no se concluyeran hasta el año siguiente.

En su residencia de Monticello, redactó Jefferson su obra científica más sobresaliente, *Notes on the State of Virginia*<sup>18</sup>, cuya primera edición se realizó en 1781, aunque fuese revisada y ampliada en 1782 y 1783. En ella se refleja su profundo conocimiento del territorio y sus grandes dotes de estadista<sup>19</sup>. El detonante de la misma fue el cuestionario enviado por Francia, una especie de requerimiento estadístico, geográfico e histórico, imprescindible para su ayuda posterior a los futuros estados. El soporte cartográfico de esta recopilación científica fue un excelente mapa del estado de Virginia, producto de la actualización del que habían confeccionado su padre y J. Fry, como reconoce el propio Jefferson en la cartela del mapa<sup>20</sup>, añadiendo que también había tenido en cuenta las recientes aportaciones de Thomas Hutchins (1730-1789) en 1778. Fue publicado en Londres (1787) a escala 1: 1300000 y muestra los límites jurisdiccionales entre condados y entre estados, comprendidos en el cuadro definido por los meridianos de 10° y de 80° al Este de Filadelfia y por los paralelos de latitud 36° y 42°. El relieve se representó mediante finas hileras de perfiles abatidos superpuestos, incorporando un cuidado dibujo de las aguas. Las longitudes están referidas al meridiano de Filadelfia, como era costumbre, y lleva dos escalas gráficas: una de millas geográficas de 60 en el grado y otra de millas americanas de 69.5 en el grado. Jefferson tardó más



Figura 8



# Sensores Lidar

¿Quiere ver el mundo con otra perspectiva?

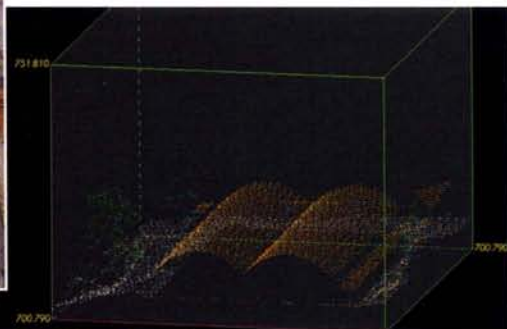
El sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema láser de medición a distancia, que permite la modelización rápida y precisa del terreno, compuesto por un receptor GPS y un sistema inercial (proporcionan la posición, trayectoria y orientación del láser), un emisor y un barredor (scanner)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

## Aplicaciones:

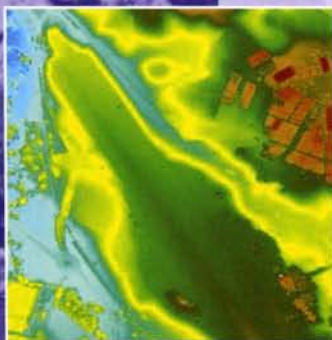
- Aplicaciones cartográficas
- Modelos hidráulicos
- Estudios forestales
- Modelos tridimensionales urbanos
- Seguimientos de costas
- Líneas eléctricas, inventario, puntos críticos

## Productos derivados:

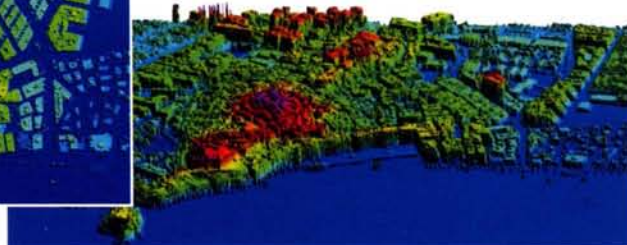
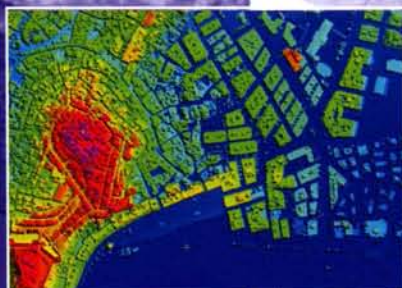
- Curvas de nivel
- Modelos hidráulicos
- TINs
- Cubicaciones
- Perfiles transversales o longitudinales
- Mapas de pendientes
- Mapas de exposiciones
- Visualización 3D



Vuelo digital + LIDAR. 18 cm, Comunidad de Madrid



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



LIDAR en Almuñécar (Granada) para estudios de inundabilidad

## Ventajas frente a otras técnicas:

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



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

www.stereocarto.com





de un año en completar el mapa, usando la latitud de 38° 8' 17", que había determinado él mismo en Monticello, y las que le proporcionaron J. Madison y David Rittenhouse (1732-1796). (Figura 9).

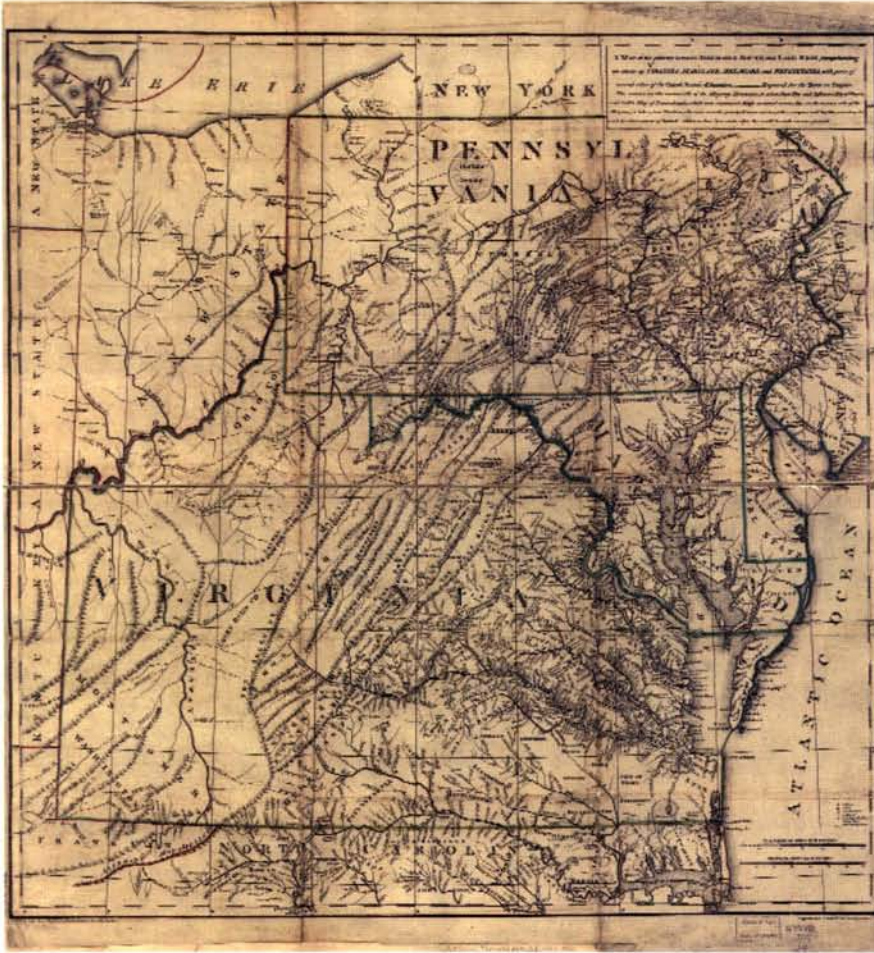


Figura 9

Como miembro del Congreso contribuyó Jefferson a la ordenación, denominación y límites entre los estados del Oeste. Su propuesta para las fronteras fue eminentemente geográfica, pues defendía que cada uno de ellos debería extenderse dos grados de latitud, de Norte a Sur, a partir del paralelo 31. En cuanto a la longitud, creía que sus dimensiones estaban fijadas por los paralelos que discurrían entre las cataratas del río Ohio y la desembocadura del río Great Kanawha. En su propuesta llegó a incluir los posibles nombres de los mismos, tratando de respetar la denominación autóctona de sus primeros pobladores. Aunque al final no fuesen aceptadas sus propuestas, si es cierto que en la visión final de las ordenanzas se mantuvo la filosofía de Jefferson. Los topónimos fueron incluidos en un mapa de los Estados Unidos: Bailey's Pocket Almanac (1785).

Puede asegurarse, sin exageración, que Jefferson fue el que promovió la ordenación del territorio en su país. Pues nada más finalizar la guerra de la independencia y unirse los extensos territorios occi-

dentales a los de las trece primeras colonias, intentó poner fin a la confusión, y hasta el caos, de aquellos, al tiempo que de ese modo se podían conseguir fondos para las arcas del tesoro. La ordenanza Territorial de 1785 (The Land Ordinance of 1785<sup>21</sup>) y la Ordenanza del Noroeste (Northwest Ordinance), dictada dos años después, ordenaba el amojonamiento de los terrenos y establecía un sistema de coordenadas rectangulares que facilitaba la transferencia de los terrenos federales a los ciudadanos, ese fue pues el origen del actual PLSS (Public Land Survey System). La división territorial se consiguió con la introducción de distritos cuadrados (townships), una especie de unidad básica, con un lado de seis millas ( $\approx 9.6$  km). Cada uno de ellos se dividiría en 36 secciones de una milla cuadrada ( $\approx 2.6$  km<sup>2</sup>) o 640 acres<sup>22</sup>. Las secciones también podrían subdividirse de acuerdo con el propietario y el especulador de turno. El estado se reservaría la propiedad de ciertas secciones. Los datos geométricos del amojonamiento y del límite de cada propiedad los fijaría el topógrafo correspondiente. El control del sistema se lograba mediante el estable-

cimiento de puntos fijos repartidos por toda la nación, intersección de un meridiano llamado principal y de un paralelo llamado base (base line), tales ejes clasificaban los distritos en occidentales, orientales, meridionales y septentrionales. El responsable último de la dirección de todo ese sistema fue Thomas Hutchins, nombrado al efecto Geógrafo de los Estados Unidos. Sin embargo, en 1796 pasaría a denominarse Topógrafo General y luego Comisionado, cuando en 1812 se creó la Oficina General del Territorio (The General Land Office).

En agosto de 1784 llegó Jefferson a París, comisionado por el Congreso, con el firme propósito de contactar con la comunidad científica europea<sup>23</sup>. Como era de esperar se encontró con Benjamín Franklin (1706-1790), que era el embajador americano en Francia. Cuando poco después se le comunicó que iba a sustituirlo en el puesto y fue a presentar sus credenciales al Ministro de Asuntos Exteriores, Charles Gravier (1717-1787), este le preguntó si reemplazaba al Sr. Franklin, respon-



diéndole Jefferson que solo le sucedía, pues nadie podría reemplazarlo. Quizás fuese Jefferson uno de los primeros americanos en adquirir la famosa Enciclopedia de Denis Diderot (1713-1784) y Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), haciendo lo propio con los cinco volúmenes del *Connaissance des Tempes*, para los años 1781 y 1785, por incluir el catálogo de las fijas que había sido formado por Nicolas L. de la Caille (1713-1762). Igual hizo con el homólogo de John Flamsteed (1646-1719), con el catálogo de nebulosas de Charles Messier (1730-1817) y con otras publicaciones astronómicas. Jefferson aprovechó su estancia en el viejo mundo para viajar a Londres y negociar allí un tratado junto al futuro presidente John Adams (1735-1826), al tiempo que adquirió numerosos instrumentos matemáticos. A Peter Dollond (1731-1821) le compró un telescopio, un higrómetro y un microscopio solar. Al reputado Jesse Ramsdem (1735-1800) le compró, el mismo día, un termómetro, un globo, un transportador, un teodolito y otros de importancia menor<sup>24</sup>. Su estancia en Londres la aprovechó también para negociar la grabación de su mapa de Virginia, que le había encargado a Samuel John Neele (1758-1824), del que recibió 450 copias que se encargó el mismo de colorear. (Figura 10).

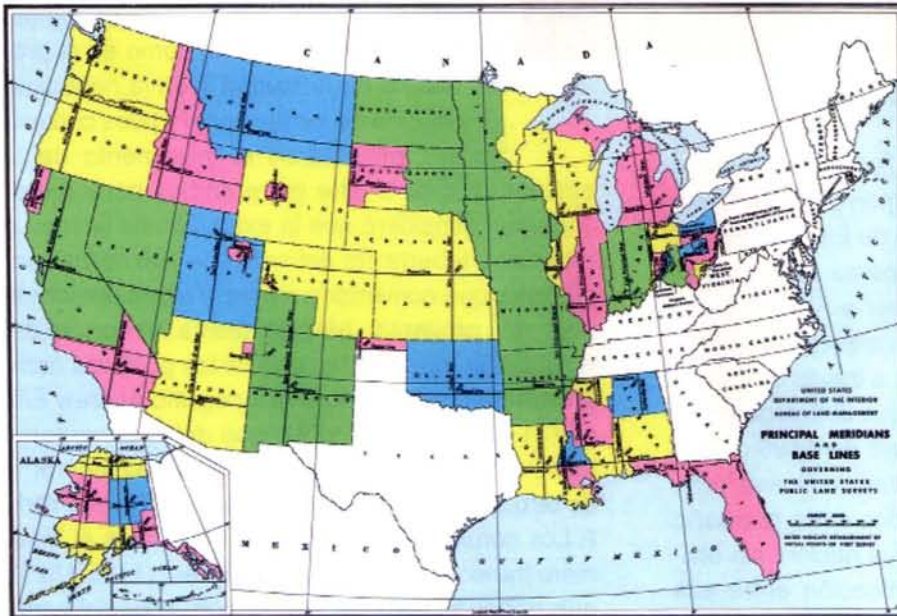


Figura 10

En los años siguientes se iban a producir en Francia y en Norteamérica una serie de acontecimientos que iban a reclamar la atención permanente de Jefferson y la puesta a prueba de su evidente sagacidad<sup>25</sup>. Cuando vio que se aproximaba el fin de su estancia en Europa, decidió enviar paulatinamente instrumentos científicos a su país, así como otras pertenencias que no iba a necesitar de inmediato. Gracias a un inventario reali-

zado por el mismo Jefferson se tiene constancia de tales instrumentos: un par de globos, un teodolito y un antejo ecuatorial de Ramsden, varios grafómetros, un sextante y una cadena de Gunter, entre otros. También cumplió Jefferson el encargo que le hizo años antes su amigo James Madison, para el que compró un podómetro, unido a las instrucciones detalladas de su funcionamiento. Abandonar Francia no le resultó nada fácil, sirva de ejemplo el hecho de que diez días después del 14 de julio de 1789 (Toma de la Bastilla), Jefferson y su familia estaban prisioneros en su propio domicilio; a pesar de que su situación pudiera considerarse privilegiada, pues su condición de diplomático, y su amistad con Lafayette, le permitían conocer con antelación ciertos sucesos. No obstante, las dificultades ya eran casi insostenibles meses atrás, como prueba el que Jefferson le hubiera pedido al presidente Washington volver a su país, en noviembre del año anterior. Finalmente lograron abandonar Francia en el mes de octubre de 1789.

A la vuelta de París encontró sobre su mesa una comunicación, tan sorprendente como estrambótica, de John Churchman (1753-1805), un topógrafo y cartógrafo de Nottingham (Maryland), en la que aseguraba haber descubierto el origen de la variabilidad de la declinación magnética y como se podría aplicar el mismo a resolver definitivamente el secular problema de la longitud geográfica. La noticia, que ya había aparecido en la prensa de 1777, era ciertamente llamativa pues su fundamento era la supuesta existencia de dos satélites girando alrededor de la Tierra, uno en torno al Polo Norte y otro en torno al Polo Sur, que no eran visibles desde bajas latitudes, y cuyos periodos estimaba que eran del orden de 463 años. En 1787 la American Philosophical Society rechazó esa posibilidad, calificándola como un

pasatiempo infundado. Ante tal contratiempo Churchman solicitó la mediación de Jefferson ante la Academia de Ciencias de París, la cual la consideró tan poco explícita que no se podía emitir un informe al respecto. El propio Jefferson trató de disuadirlo con argumentos técnicos expresados con prudencia. Impávido ante tanta negativa, Churchman trató de buscar apoyo económico, amparándose para ello en que la Constitución autorizaba al



Congreso a promover el progreso de la ciencia y de sus aplicaciones. Aunque al final no logró el reconocimiento científico que solicitaba, sí consiguió publicar su Atlas magnético<sup>26</sup>, cuatro veces reeditado y ampliamente difundido. (Figura 11).

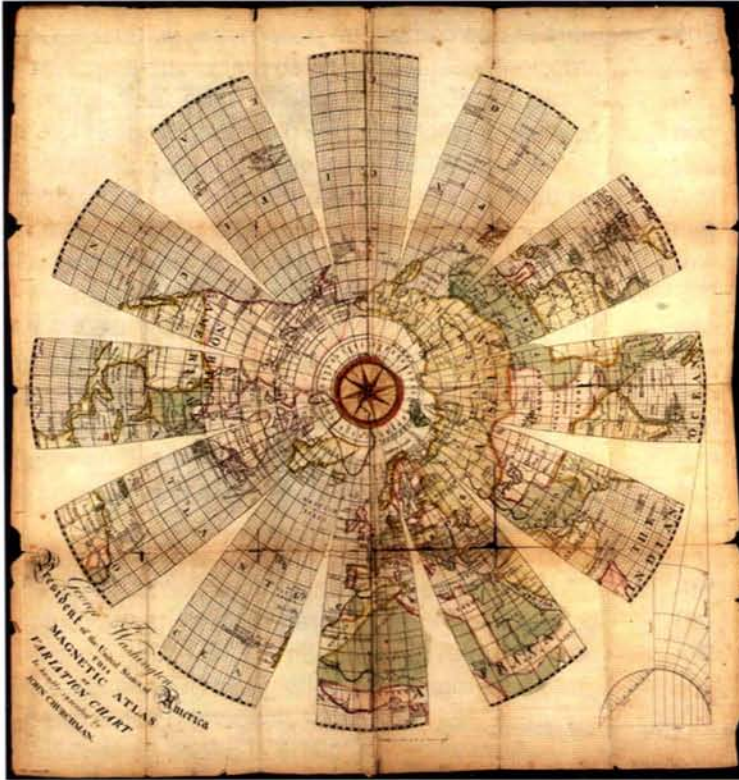


Figura 11

Justo un mes después de su llegada, en diciembre de 1789, recibió de Washington el ofrecimiento formal del puesto de Secretario de Estado, pero le manifestó que preferiría mantenerse como embajador, puesto que deseaba volver a Francia, aunque pensaría en su oferta en los meses siguientes. Las presiones de la presidencia, a través de James Madison (1751-1836), hicieron que Jefferson aceptase a regañadientes, en febrero de 1790, y que tuviera que trasladarse a la ciudad de Nueva York. Uno de sus principales cometidos sería el diseño de la política exterior de la nueva nación, sin olvidar la permanente intercomunicación entre sus treinta estados. Pronto fue informado de que la Cámara de representantes había decidido que otra de las tareas básicas de la Secretaría de Estado debería ser la elaboración de un plan que eliminara el desbarajuste reinante en los sistemas de pesas, medidas y moneda<sup>27</sup>.

Jefferson, indudablemente influenciado por los conocimientos adquiridos en Europa<sup>28</sup>, propuso que el patrón de longitudes debería estar ligado a la naturaleza y ser fácil de reproducir. Concretamente defendió que su medida debía coincidir con la de la longitud del péndulo que batía segundos,

alrededor de 58.7 pulgadas; proponiendo al mismo tiempo que el prototipo debería dividirse en cinco nuevos pies, cada uno de los cuales se subdividiría en diez de las nuevas pulgadas. A los seis meses de haber iniciado la recopilación de la información correspondiente, envió Jefferson al Congreso un elaborado plan con el que se podrían uniformizar todos los pesos, medidas y monedas. Además de la novedad que significaba ese nuevo estándar de longitud<sup>29</sup>, ha de reseñarse la importancia de otra no menos significativa, como fue la introducción de la división decimal en un sistema revolucionario que afectaba a los pesos y a las medidas, como ya había sucedido con las monedas, que pretendía romper definitivamente con los patrones de tipo antropométrico.

Otra de las actividades sobresalientes de Jefferson en ese periodo de gobierno, tuvo que ver con el emplazamiento previsto para la sede permanente de la administración y de la Presidencia, un lugar que ya había sido previamente elegido por Washington, cerca del río Potomac. Jefferson se involucró de lleno en el proyecto, tanto en la supervisión de los levantamientos topográficos del territorio, como en el propio diseño de la ciudad y en la necesaria adquisición de los terrenos<sup>30</sup>; tales circunstancias propiciaron el incremento de la amistad que ya existía entre ambos personajes. Jefferson consideró que la extensión de la zona a urbanizar debería ser del orden de 100 millas cuadradas y que convendría nombrar a tres responsables del proyecto, bajo la última dirección del presidente. No obstante uno de los primeros nombramientos recayó sobre el topógrafo Andrew Ellicott (1754-1820), en 1791, que debió encargarse del levantamiento del llamado "territorio federal" y de otro situado al Norte del estado de Nueva York. A los comisionados se les unió después el ingeniero francés Pierre Charles L'Enfant (1745-1825), que debería colaborar con Ellicott, especialmente en la localización y diseño de los edificios. Los planos resultantes fueron dos: uno general<sup>31</sup> del territorio de Columbia a escala 1/31680, ultimado en 1793, y otro más detallado y referido a la ciudad propiamente dicha, a escala 1/19800 y con las manzanas incorporadas. El meridiano del Capitolio fue elegido como origen de las longitudes<sup>32</sup>, fijándose su latitud en 38° 53'. Tal meridiano está materializado sobre el terreno gracias al llamado hito o piedra de Jefferson, una especie de mira meridiana situada junto al monumento a Washington, alineada con su centro y con el del Capitolio.



La precisa localización de la ciudad y su posterior desarrollo serían fijados por el presidente. Tanto él como Jefferson estaban convencidos de que el diseño de la capital nacional debía efectuarse con visión de futuro, siendo decisiva la experiencia atesorada por el segundo en ese sentido. De hecho fue él quien proporcionó a L'Enfant su colección de planos de diversas ciudades del mundo, aconsejándole que el proyecto del Capitolio convendría que fuese análogo al que ya había usado él en Virginia. Jefferson sugirió también que las calles debían ser mutuamente perpendiculares<sup>33</sup>, rectas y espaciosas; con un ancho no menor de 100 pies y con aceras para los peatones de unos quince pies. Las alturas de los edificios no podrían ser arbitrarias, sino equilibradas, al modo de las de París, debiendo construirse con ladrillos en lugar de piedras. Finalmente instruyó a Ellicott sobre los levantamientos y planos consiguientes de la zona, así como a L'Enfant sobre la topografía del entorno. El nombre elegido para la ciudad fue el de Washington, en honor del primer presidente, y para la región el de Territorio de Columbia, para honrar a Colón. Washington fue también el encargado de poner la primera piedra de la futura Casa Blanca, en el año 1793; estando prevista su ocupación en el año 1800. (Figura 12).



Figura 12

Dos años antes, Jefferson había sido nombrado vicepresidente de la American Philosophical Society, coincidiendo con el momento en que trató de satisfacer una de sus constantes preocupaciones científicas: la medida de las distancias que recorría en sus múltiples desplazamientos. Ese fue el mo-

tivo por el que encargó al relojero Robert Leslie (†1804) un podómetro, que ya usó en uno de sus viajes a Monticello. Una vez que lo colocó en la rueda de su carruaje, sus anotaciones son del todo elocuentes: 360 revoluciones en una milla; aunque acto seguido corrigiese el resultado para fijarlo en 354.95 vueltas. Sus inquietudes se manifiestan de nuevo cuando negoció la compra de un telescopio de montaje ecuatorial, construido por Ramsden, que era propiedad de John William G. de Brahm (1718-1799), un ingeniero militar alemán y topógrafo de la provincia de Georgia. El diseño del instrumento lo mejoró después el mismo Jefferson, incorporándole un anteojo de 12 pulgadas que le encargó al fabricante inglés William Jones (1763-1831), para así poder observar los satélites de Júpiter y el anillo de Saturno. Pero más interesante fue aún el mecanismo de relojería que le instaló, logrando imprimirle una velocidad de rotación igual a la de la Tierra en torno a su eje, de manera que así las estrellas que visualizara siempre se mantendrían en el campo visual del anteojo. Tal instrumento astronómico fue el más complejo con el que contó Estados Unidos en aquella época.

En el mismo año de 1791, hay otro hecho capital en la vida de Jefferson, que dice mucho a favor de su hombría de bien y que tuvo que ver con la recepción de unos cálculos manuscritos relacionados con las efemérides astronómicas para el año 1792. El remitente fue Benjamín Banneker (1731-1806), un matemático y astrónomo autodidacta que fue colaborador de Ellicott mientras se levantaban los planos del territorio federal. El asunto no tendría mayor transcendencia si no hubiese sido por que Banneker era un hombre negro, el cual acompañó sus cálculos con una carta dirigida a Jefferson, dada su conocida accesibilidad y buena disposición hacia las personas de color; mencionando además que sus trabajos probaban que la capacidad humana era independiente de la raza.

Meses después envió Jefferson los cálculos a su amigo Condorcet, Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias de París, con una nota en la que se decía: "I am happy to be able to inform you that we have now in the United States a negro, the son of a black man born in Africa, and of a black woman born in the United States, who is a very respectable mathematician... I have seen very elegant solutions of geometrical problems by him. Add to this he is very worthy & respectable member of society. He is a free man. I shall be delighted to see these instances of moral eminence so multi-



plied as to prove that the want of talents observed in them is merely the effect of their degraded condition, and not proceeding from any difference in the structure of the parts on which intellect depends”.

No se conserva la respuesta de Condorcet, si es que la hubo. La explicación es obvia y trágica a la vez, la carta salió de América en agosto y en septiembre ya fue arrestado y encarcelado el que fuese ministro de Luis XIV (1638-1715). Poco tardó en ser hallado muerto en su celda sin que se sepa a ciencia cierta la causa del fatal desenlace. Los cálculos astronómicos del primer topógrafo negro se publicaron en Baltimore durante el mismo año de 1792. Ese fue el inicio de una serie de almanaques que, con el nombre de Manneker, fueron apareciendo hasta el año 1797. Fueron financiados por las sociedades abolicionistas de Pennsylvania y de Maryland, siendo ampliamente distribuidas tanto en los Estados Unidos como en Inglaterra. La carta de Banneker a Jefferson y la respuesta a la misma se incluyeron en el almanaque de 1793, así como en forma de separata, alcanzando también una gran difusión. Precisamente fue en ese año de 1793 cuando Jefferson levantó un plano de sus campos para revisar sus límites, de acuerdo con los patrones impuestos por la rotación de la cosecha. (Figura 13).



Figura 13

En 1794 Jefferson abandonó la vida pública y se refugió en Monticello, con la intención de remodelar su casa y prestar mucha más atención a los intereses científicos. Sin embargo, tres años después fue nombrado Presidente de la American Philosophical Society y vicepresidente de la nación, bajo la presidencia de John Adams, con lo que de nuevo se vería obligado a abandonar temporalmente sus investigaciones, aunque mantuviese viva su intención de participar en las actividades de esa Sociedad, al tener que residir en Filadelfia. No obstante, la falta de atribuciones concretas en su nuevo cargo gubernamental hizo que se trasladase otra vez a su residencia de Virginia. A pesar de todo, las ausencias de Monticello iban a ser obligadas en lo sucesivo. A finales del

año 1800 se trasladó a Washington, en donde estaba la sede del gobierno desde el mes de junio. Para mediados de diciembre ya estaba Jefferson convencido de que su victoria era segura y de que por tanto sería el tercer presidente de los Estados Unidos. Su mandato como vicepresidente lo culminó a finales de febrero de 1801, tomando posesión de la presidencia el día 4 de marzo. La opinión mayoritaria fue que se había llegado al final de una era y al inicio de otra cargada de ilusiones.

Coincidiendo con el inicio de esa campaña presidencial, recibió Jefferson una carta de su amigo A. Ellicott en la que le comentaba que había estado haciendo los planos de los territorios del Sur, justo en la frontera con las posesiones españolas, incluida Florida. La tarea no debió ser nada fácil, a tenor de las más de cuatrocientas estaciones astronómicas que fueron necesarias para fijar el límite con un cierto rigor geométrico. También le refirió Ellicott que el método de las distancias lunares, para determinar la longitud geográfica, acompañado de un buen sextante y de un mejor cronómetro, era tan exacto como el de la observación de la ocultación de los satélites jovianos. Finalmente, le pedía a Jefferson su ayuda para publicar algunas de sus observaciones, puesto que se requería la autorización previa del Departamento de Estado. Jefferson le brindó su apoyo, al tiempo que señalaba la conveniencia de que cualquier gobierno facilitase al público el resultado de trabajos tan interesantes como los que él había efectuado.



Al extenderse considerablemente la superficie del país, Jefferson creyó oportuno crear la figura del Topógrafo General de los Estados Unidos, pensando además que no había nadie más cualificado para el puesto que A. Ellicott, al que ya se debían los planos del territorio federal y los de la región fronteriza del Sur. Ellicott estuvo en principio muy interesado, aunque de inmediato puso la condición de que la contratación de un asistente debía correr a cargo del gobierno, una cuestión que resolvió inmediatamente el presidente. Días después envió el aspirante las líneas generales que deberían presidir el funcionamiento de su oficina. Entre sus cometidos fundamentales estipulaba los siguientes: el topógrafo general sería el responsable de fijar la posición geográfica de todos los puntos necesarios para la producción cartográfica del país, asimismo indicaba como habría que efectuar la división territorial y el modo de realizar los levantamientos topográficos correspondientes; también sería él quien nombraría a los topógrafos responsables de



cada distrito; la sede oficial de la oficina estaría en Washington, siendo responsabilidad suya la elaboración de todos los mapas y planos que requiriese la nación; a él se le enviarían todas las imágenes cartográficas de los distritos, para ser supervisados en la capital e incluso corregidos si así se estimaba necesario. Aparte de tales requerimientos, formuló una serie de comentarios poco acertados, e inconvenientes, sobre la situación científica del país, presentándose indirectamente como su salvador. El caso es que las propuestas de Ellicott no fueron aceptadas por su inconsistencia legal y no fue hasta 1803 cuando se estableció definitivamente la deseada oficina, haciéndose cargo de la misma Jare Mansfield (1759-1830), el primer Topógrafo General de los Estados Unidos, cuyo primer cometido sería hacer los mapas de los territorios de Ohio y del Noroeste. (Figura 14).

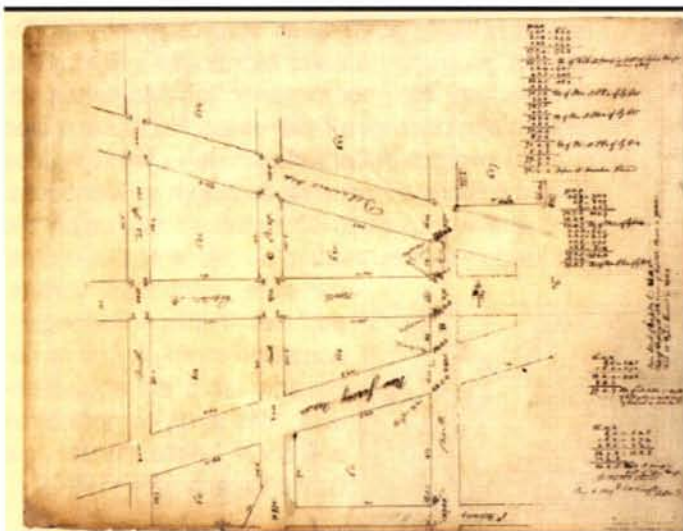


Figura 14

Jefferson aprovechó su presidencia para llevar a cabo una idea en la que venía pensando desde hacía más de veinte años y que sería su proyecto de mayor calado geográfico. Se trataba de medir

y representar cartográficamente la región occidental de Norteamérica, para lo cual se creó el llamado Corps of Discovery; sin olvidar que también se facilitó el mismo al contar con el conocimiento geográfico y con la experiencia topográfica del presidente. A finales del año 1802 les comentó sus intenciones al embajador de España, Carlos Manuel Martínez de Irujo (1765-1824), y al representante de la legación francesa, a la vez que les pedía los necesarios salvoconductos para transitar, aunque fuese parcialmente, por sus territorios. Su intención no era otra que explorar el río Missury, cruzando las Montañas Rocosas, hasta llegar al océano Pacífico. Jefferson nombró jefe de la expedición a su secretario Meriwether Lewis (1774-1809), familiarizado con las exploraciones y capitán de infantería. De inmediato comenzó a estudiar este en la propia biblioteca del presidente y a realizar prácticas de observaciones astronómicas, tales como la medida de las alturas meridianas del sol mediante el octante<sup>34</sup>; prácticas que se vieron luego enriquecidas al efectuarlas bajo la dirección de Ellicott. Con igual intención recopiló Lewis todos aquellos mapas que pudieran facilitar sus futuros desplazamientos.

Antes de informar al Congreso, Jefferson le encargó a M. Lewis la redacción de la memoria del proyecto, en la que se detallarían el número de hombres necesarios, el equipamiento, los alimentos, vestimentas y todos los demás datos imprescindibles para evaluar su coste<sup>35</sup>. La propuesta fue remitida al Congreso, una vez logradas las autorizaciones española y francesa para viajar a través de sus territorios. Obtenido también el visto bueno de esa institución, solicitó Jefferson la ayuda de la American Philosophical Society, en su calidad de presidente de la misma, y más concretamente la colaboración de todos aquellos miembros que pudieran verse afectados por tan ambicioso proyecto<sup>36</sup>. Jefferson redactó las instrucciones para los trabajos de campo, fijando tanto la instrumentación como la metodología. En el primer capítulo se incluyeron brújulas, teodolitos, sextantes, octantes, cronómetros, cintas metálicas y en general todos los que se iban a necesitar para la determinación astronómica de la latitud y longitud geográficas. El método de observación para la latitud era relativamente sencillo, en cambio los de la longitud eran más complicados, pues al de las distancias lunares se podía añadir el de la ocultación de los satélites de Júpiter, y no había unanimidad a la hora de fijar el más recomendable. Mención especial merecen las características de los emplazamientos que deberían convertirse en estaciones astronómicas: puntos



notables del río (empezando por su desembocadura), entre los que se contarían los de confluencia con otros menores, islas, rápidos, cataratas, etc. La brújula sería el instrumento con el que se observarían los itinerarios topográficos que discurrirían a lo largo del río, anotando las posibles variaciones de la declinación magnética. Jefferson insistía en todo momento en la importancia de que las observaciones fuesen rigurosas y lo más exactas posible.

Aunque en un principio contempló Jefferson un solo responsable de la expedición, pronto comprobó la verdadera envergadura de la misma y comprendió que se debería nombrar a un posible sustituto de Lewis, para que se hiciese cargo de la misma en caso de enfermedad o accidente de este. Lewis eligió a su compañero de armas, William Clark (1770-1838), de considerable experiencia militar y buen conocedor de la región común a Ohio y al Mississippi. El 31 de agosto de 1803 embarcaron en Pittsburg, iniciando la travesía hacia Wheeling, para dar comienzo a la expedición propiamente dicha. La vuelta a Washington no se produjo hasta finales del año 1806, recibiendo sus responsables los consabidos homenajes. Lewis fue nombrado gobernador en el territorio de Luisiana y Clark comisionado para los asuntos indios en aquella misma región, aunque más tarde fuese también gobernador del territorio de Missouri. La publicación con los pormenores y resultados de aquella aventura científica no aparecieron hasta el año 1814, ya fallecido Lewis (1809). Clark y Jefferson habían decidido antes que el relato debería hacerlo un escritor experimentado, mientras que el análisis correría a cargo de un científico. Nicholas Biddle (1786-1844) fue el encargado de la primera tarea y Benjamin Smith Barton (1766-1815) el de la segunda. El mapa que reflejaba la imagen del territorio explorado, con sus detalles planimétricos<sup>37</sup> más significativos fue compuesto por el propio Clark, apoyándose en toda la documentación de campo; más tarde sería reproducido total o parcialmente en numerosas ocasiones. (Figura 15).

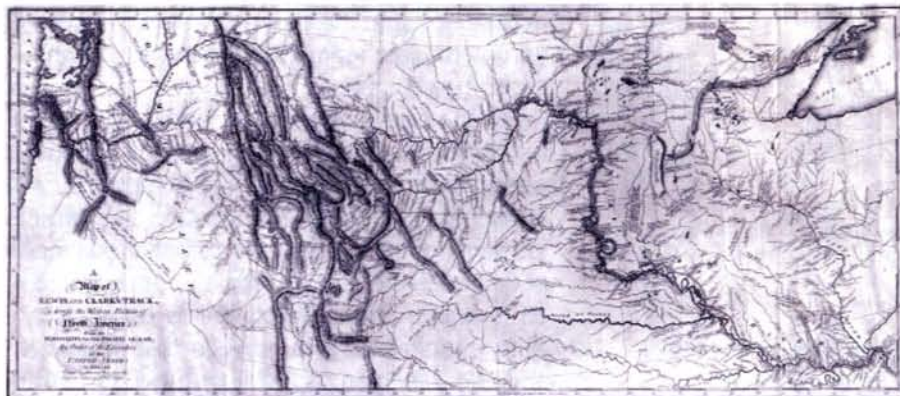


Figura 15

Coincidiendo con la expedición anterior, abordó Jefferson otros proyectos geográficos con menor resonancia pero de análoga importancia, e informados por la misma filosofía al captar la información geográfica de los territorios a explorar: los 2.144.476 km<sup>2</sup> de Luisiana<sup>38</sup>, recién comprados a Napoleón Bonaparte (1769-1821), y el resto de la nación. Para esta ocasión contó con la ayuda de Isaac Briggs (1763-1825) un topógrafo del Sur de Tennessee, cuya competencia creía similar a la de Ellicott. Fue en ese tiempo cuando Jefferson conoció al naturalista alemán Alexander von Humboldt (1769-1859), el cual quiso visitar al presidente aprovechando su periplo americano. Para entonces ya había adquirido, junto a su colega francés Aimé Bonpland (1773-1858), su amplio conocimiento de América latina y formado su célebre mapa de Nueva España, cuya minuta planimétrica<sup>39</sup> original mostró y comentó con el presidente. El continuado interés de Jefferson por las expediciones científicas, le llevó a comprar nuevos instrumentos y mapas para añadir a su ya extensa colección: dos globos ingleses, transportadores y un telescopio acromático, además de mapas de Europa y Asia realizados por Aaron Arrowsmith (1750-1823), así como el magnífico mapa de América Meridional, a escala 1: 5000000, debido al cartógrafo español Juan de la Cruz Cano y Olmedilla (1734-1790)<sup>40</sup>.

Aunque durante el segundo mandato de Jefferson, 1805-1809, se alcanzó el cenit de su presidencia, es cierto que su actividad fue la menos productiva de su vida pública. Así pudo retomar las cuestiones científicas, en las que de una u otra forma no dejaba de pensar. Nuevamente se manifestó su interés por evaluar correctamente las distancias que recorría entre Monticello y Richmond, Washington, etc.; comparando los resultados obtenidos con odómetros diferentes. No se sabe bien cuando compró Jefferson uno de la firma inglesa Nairne & Blunt, que aún se conserva en Monticello, en el que se indicaban las lecturas sobre un círculo graduado y se expresaban en diferentes unidades:

cadena, eslabones, yardas, perchas, millas y furlongs<sup>41</sup>; contando también con la necesaria tabla de equivalencias. Más tarde compró otros a Robert Leslie (1791) y a David Rittenhouse (1794).

Asimismo mandó construir otros, con su propio diseño, al instrumentista James Clarke, con quien siguió en contacto hasta el final de sus días. Al saber que Clarke había fabricado uno, para ser



# Cartografía de Calidad

Empresa certificada a la  
calidad NOR ISO 9002



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



fijado detrás del carruaje, que iba marcando las revoluciones de la rueda mientras viajaba, Jefferson le pidió que le dejase uno a prueba, para comprobar su funcionamiento durante un viaje que pensaba hacer entre Washington y Monticello. Clarke se sintió halagado con la petición y optó por regalarle una versión mejorada de su modelo anterior, en el que un índice marcaba el número de millas recorrido y otro registraba las décimas de milla, contando además con la incorporación de una campanilla que sonaba al final de cada milla. Años después Clarke le hizo otro odómetro que marcaba las centésimas de milla y del que Jefferson se sintió siempre orgulloso, así se desprende de lo escrito en su autobiografía: "I use when I travel, an odometer of Clarke's invention, wick divides the mile into cents, and I find everyone comprehends a distance really, when stated to him in miles and cents". (Figura 16).

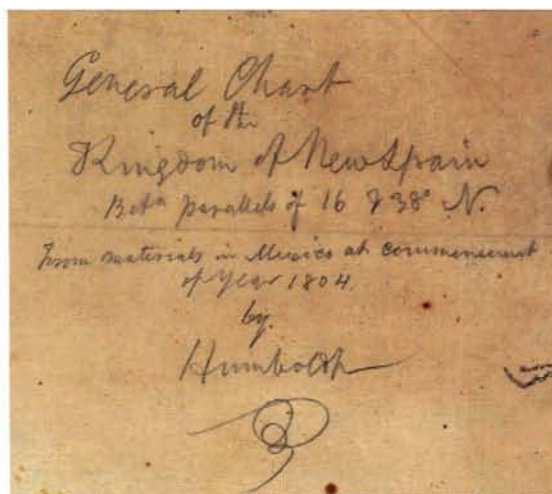


Figura 16

La creación del United States Coast Survey<sup>42</sup> fue el acuerdo científico más importante de Jefferson, aunque estuviese probablemente influenciado por Robert Petterson (1743-1824), un profesor de matemáticas de la universidad de Pennsylvania. La propuesta se presentó al Congreso en el año 1806 y al año siguiente ya estaba autorizado el presidente para que dispusiera el levantamiento topográfico de las costas de los Estados Unidos. Jefferson encargó al Secretario del tesoro del desarrollo de la propuesta, el cual envió una especie de circular descriptiva a personas cualificadas, tratando de conseguir su involucración en ese proyecto hidrográfico. Las misiones del futuro Centro se estructuraban en tres grupos independientes pero complementarios, a saber: a) localización geográfica de una serie de puntos singulares, obtenida a través de observaciones astronómicas, b) levantamiento trigonométrico de la línea costera entre tales puntos y c) representación gráfica de ensenadas y sondas a lo largo del litoral, apoyados

siempre en el levantamiento anterior. De entre todas las respuestas recibidas se seleccionó la que había sido remitida por Ferdinand Rudolph Hassler (1770-1843), un ingeniero suizo que era profesor de matemáticas en la Academia Militar de West Point y que por su probada experiencia llegó a convertirse en el primer Superintendente del U.S. Coast Survey. Entre sus propuestas figuraba la construcción del que hubiese sido el primer Observatorio Astronómico de los Estados Unidos. El lugar elegido fue Washington, en una colina al Norte del Capitolio, que se uniría así a las principales capitales europeas que ya contaban con uno. Segú él, el observatorio sería además de un monumento científico de primer orden, un buen instrumento para incentivar el interés por la ciencia en general. Sin embargo, al tratar de constituir la agencia surgieron ya problemas relacionados con la adquisición de los imprescindibles instrumentos

ingleses, pues hasta el año 1811 no fue autorizado Hassler para ir a comprarlos a Londres. De nuevo surgió una dificultad mayor y lamentablemente Hassler no pudo regresar a América hasta cuatro años después, al haber sido acusado de espionaje y estar detenido en Inglaterra durante la gran guerra. De vuelta a América inició el levantamiento hidrográfico de la bahía y el puerto de Nueva York, pero tuvo que suspenderlo al denegar el Congreso el desembolso correspondiente<sup>43</sup>. La Agencia Estatal del Coast Survey

no volvió a ser operativa hasta el año 1832.

Una semana después de que tomase posesión James Madison, como cuarto presidente de los Estados Unidos, salió Jefferson de Washington camino de Monticello, con la intención de establecerse allí definitivamente. Sus costumbres variaron profundamente, pues él mismo referiría luego al nuevo presidente que se había olvidado de leer la prensa y que en su lugar pasaba el tiempo con Tácito (c.55-120), Tucídides (c.460-c.396), Newton y Euclides (c.325-c.265), de manera que era mucho más feliz que antes. Ello no quiere decir que viviera alejado de la realidad, pues sus amigos del gobierno, Madison y James Monroe (1758-1831) sobre todo, le tenían al tanto de los principales acontecimientos. Como era de esperar no tardó en retomar sus estudios y observaciones astronómicas, destacando la del eclipse anular de Sol ocurrido el 17 de septiembre de 1811 y el paso del mismo por el meridiano, así como su



intención de basar en ellas el cálculo de la longitud del lugar. Al final no logró su deseo, a pesar del intercambio de información que mantuvo con otros observadores, como William Lambert (1772-1824) y Henry A. Scammell Dearborn (1783-1851). (Figura 17).



Figura 17

Por aquellas fechas, su nieto mayor Thomas Jefferson Randolph (1792-1875)<sup>44</sup> ya tenía conocimientos suficientes como para ser su asistente, de hecho llegó a calcular por su cuenta la latitud de Poplar Forest y Willis Mountain, y comprobar así los valores obtenidos antes por su abuelo. De la rigurosidad de Jefferson da idea la construcción, en una de las habitaciones de su casa, de una plataforma para estacionar el instrumento de observación y amortiguar así, en la medida de lo posible, las inevitables vibraciones. El saber astronómico de Jefferson quedó reflejado en el cálculo de las líneas horarias de un reloj de Sol que preparó para la latitud de Poplar Forest (37° 22' 26"). En relación con esta temática ha de subrayarse el apoyo que prestó a Melatiah Nash (1767-1830) para que publicase unas efemérides que proporcionasen más información astronómica de la que generalmente se ofrecía en los almanaques al uso, sugiriéndole por otra parte la conveniencia de que incluyese la ecuación de tiempo, tan necesaria para la regulación de ese tipo de relojes, y la declinación del Sol, imprescindible para el cálculo analítico de las horas del orto y ocaso solar. (Figura 18).



Figura 18

La cuestión cartográfica seguía estando presente en las inquietudes científicas del ex presidente, mucho tiempo después de haber dejado la capital, a tenor de la correspondencia que mantuvo con Ellicott, acerca de ella y de las observaciones astronómicas. En una de sus cartas (24 de junio de 1812) lo expresaba Jefferson con toda claridad, al afirmar que las imágenes cartográficas de su país adolecían de importantes defectos, más relativos a las longitudes que a las latitudes. Más adelante añadía lo siguiente: "Towards this we have done too little for ourselves and depend too long on the ancient and inaccurate observations of other nations", una clara denuncia del limitado alcance de sus actuaciones cartográficas y de la escasa fiabilidad que tenían los mapas antiguos con que contaban. Mientras tanto mantenía también sus intercambios epistolares con Humboldt, el cual periódicamente enviaba a Jefferson copias de sus nuevos trabajos. En una de sus cartas, le manifestaba este al naturalista alemán la necesidad de que Norteamérica y Europa no viviesen en mundos independientes, un claro anticipo de lo que luego ocurriría. Tampoco faltaban en sus cartas las alusiones cartográficas, como en aquella en la que le comentaba a Humboldt que el británico A. Arrowsmith la había copiado su mapa de Méjico.

En el mes de noviembre de 1814 renunció Jefferson a su cargo de presidente de la American Philosophical Society, pero no a sus actividades como miembro de la misma; cuatro años después fue nombrado el primer consejero de dicha Sociedad. En ese tiempo retomó sus estudios sobre la instalación de un observatorio astronómico, pensando instalarlo en un edificio de la colina de Monroe, propiedad de la nueva Universidad Estatal de Virginia, de la que había sido fundador y nombrado rector de la misma; el emplazamiento reunía los requisitos indispensables de elevación y aislamiento. En los años sucesivos estudió con detalle los observatorios repartidos por el mundo, con vistas a seleccionar sus mejores características e incorporarlas en el diseño del próximo Observatorio Universitario (estaría destinado a los profesores de astronomía y a sus alumnos). Inmediatamente comprobó que los edificios que los albergaban

eran más altos que los de su entorno, tal como sucedía con el de París, que tenía ochenta pies de alto (casi 25 metros). Jefferson reconoció con humildad que el proyecto análogo que había redactado antes Hassler era mejor que el suyo, aunque discutiese con él sobre las mejores cubiertas del edificio: mientras Jefferson defendía el tejado plano, Hassler



consideraba que era inapropiado para el uso a que estaba destinado. El observatorio no llegó a verlo Jefferson, a pesar de todo el empeño que puso en ello, pues hasta 1828 no se construyó un pequeño edificio en un lugar diferente del que él había pensado, aunque nunca fue correctamente equipado<sup>45</sup>. Sus sueños se vieron cumplidos cuando en 1885 se construyó en el monte Jefferson (Charlottesville), justo en el lugar que él había previsto, el Leander Mc. Cormick Observatory. Fue equipado con un telescopio de 26.25 pulgadas (casi 70 cm) de la firma Alvan Clark & Sons y una cúpula de 45 pies (casi 14 metros), hecha por Warmer & Swasey. (Figura 19).



Figura 19

## ABRAHAM LINCOLN (1809-1865)

La situación económica de la familia de Lincoln era tan precaria que, según se dice, tuvo que aprender a leer y a escribir por su propia cuenta. Poco debió de tardar en oír hablar de la topografía, pues sus dos abuelos, y sobre todo el paterno, la practicaron. Y es que la implantación del sistema topográfico cuadrangular ideado por Thomas Jefferson hizo necesario el concurso de numerosos topógrafos, para llevarlo a buen término. Recuérdese que, según él, los terrenos públicos se dividirían de Norte a Sur, mediante cuadrículas con lados mutuamente perpendiculares y formando distritos con seis millas de lado. Los primeros trabajos se efectuaron al Este del estado de Ohio, bajo la dirección de T. Hutchins, como ya se dijo, y que era conocido por el mapa que había hecho de Kentucky. Del volumen tan considerable del trabajo que debieron realizar aquellos topógrafos da idea la disposición del Congreso (1800) por la que se deberían de subdividir, en secciones de una milla cuadrada, nada menos que seis mil distritos.

Cinco años después decidió que se levantarán actas del reconocimiento relativo a los límites de todas las secciones y que señalizase el punto medio de cada uno de sus lados (half mile points). Esa decisión fue técnicamente controvertida, pero eminentemente práctica, pues se indicaba que las

líneas replanteadas y marcadas sobre el terreno se considerarían los límites verdaderos a todos los efectos, al igual que la longitud comprendida entre dos puntos consecutivos de las mismas; en otras palabras, los resultados obtenidos por el topógrafo oficial prevalecían sobre cualquier otro, aunque hubiese cometido algún error. La ley continuó modificándose en los años venideros (como en el año 1832, cuando Lincoln inició sus estudios de topografía), aprobándose la división de las secciones en cuartos, mitad de cuartos y así sucesivamente, mientras que la superficie lo permitiera. Finalmente, cualquier parte residual se podría subdividir en lotes, conservándose la validez de los límites y la de la posición de las esquinas originales. El levantamiento de la zona en la que Lincoln desarrollaría su actividad topográfica se efectuó en 1822, probablemente a causa de la práctica desaparición de muchas de los puntos y límites originales, dando lugar al consiguiente replanteo que debió realizarse a instancias de los propietarios afectados por esas circunstancias. (Figura 20).



Figura 20

Los estudios topográficos de Lincoln, previos a los legales, lo convirtieron en un profesional riguroso que recibía constantes peticiones de propietarios limítrofes, los cuales conocían su honestidad y competencia<sup>46</sup>. Hay constancia de sus trabajos como topógrafo estatal en las ciudades de New Boston, Bath, Albany y Huron, además de la repetición de otros levantamientos previos en Peters-



burg, en 1836. En 1970 todavía se usaban carreteras trazadas por él en los límites de muchas propiedades de los condados de Menard y Mason. Lamentablemente no se conservan dibujos de los trabajos de Lincoln, ya que se centraban principalmente en el replanteo y amojonamiento de los linderos, máxime cuando los propietarios involucrados no mostrarían especial interés en los planos de su propiedad.

El inicio de su aprendizaje de la topografía también fue autodidacta, siendo conocido en New Salem por sus continuos ensayos con la brújula y la cadena, aunque comenzase pronto a colaborar con John Calhoun (1806-1859)<sup>47</sup>, un topógrafo oficial del condado Sangamon (Illinois) que estaba desbordado por sus múltiples tareas de replanteo. Calhoun fue el primero en proporcionarle a Lincoln bibliografía topográfica<sup>48</sup> y hasta un profesor. Los biógrafos de Lincoln aseguran que no puede ser considerado como matemático, a pesar de que estudiase aritmética, topografía y estuviera al tanto de las medidas lineales y superficiales empleadas en su tiempo. Por otro lado era conocedor de las descripciones legales del territorio, incluso del sistema conocido como Metes & Bounds, empleado en Kentucky y donde el famoso Daniel Boone (1734-1820) había medido unas tierras para el abuelo de Lincoln. También sabía bien los fundamentos del sistema cartesiano mediante el que se había dividido el territorio estatal, como evidencia un sabio consejo que dio a su padre<sup>49</sup>. Con sus posteriores lecturas debió entender Lincoln los conceptos de la convergencia de meridianos, y comprender que en el sistema rectangular no solo no se había tenido en cuenta esa circunstancia, sino que también se había obviado tanto la curvatura de los propios meridianos como la de los paralelos; conceptos con los que no estaban familiarizados los primeros topógrafos que replantearon los distritos y secciones del mismo. Uno de los libros que más consultó Lincoln tenía un largo título: *A Treatise on Practical Surveying which is demonstrated from its first principles wherein everything that is useful and curious in that art is fully considered and explained*, cuya primera edición se publicó en el año 1787; su autor fue Robert Gibson († 1761), profesor de matemáticas. (Figura 21).

Según Adin Baber (1892-1974)<sup>50</sup>, Lincoln estudió un manual de topografía en el que se indicaba un método aproximado para conocer la meridiana, mediante la observación de la estrella polar y de otras circumpolares. El procedimiento, propio de la

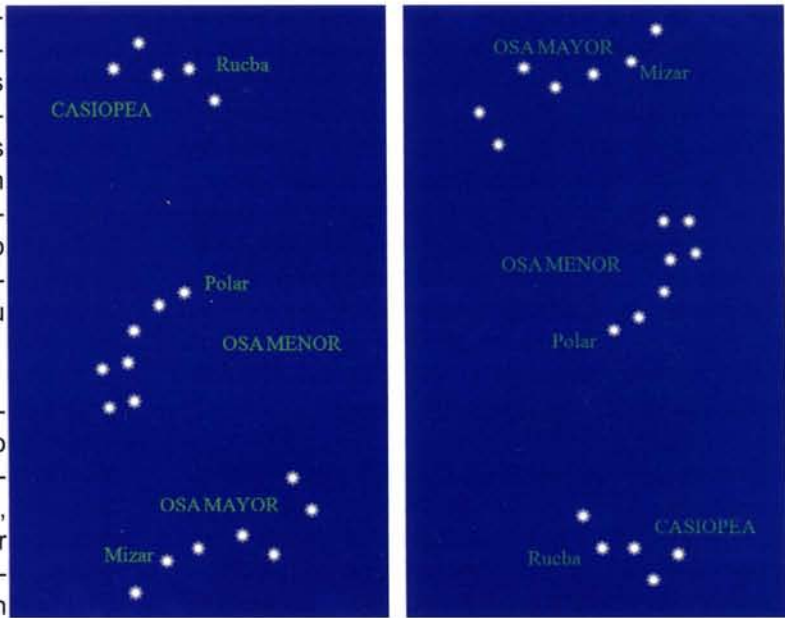


Figura 21

astronomía de posición expedita, establece que cuando la alineación sensiblemente determinada por las estrellas Rucba (Casiopea), Polar (Osa Menor) y Mizar (Osa Mayor) parece vertical, se encuentra en el plano del meridiano del lugar. En otras palabras, la estrella polar estaría entonces en cualquiera de sus dos culminaciones, de modo que al observarla, en tales instantes, el eje de colimación materializaría la dirección de la línea Norte Sur; ese fue el procedimiento usado por A. Ellicott al levantar y orientar el límite entre Ohio y Peensylvania. No hay constancia documental de los trabajos topográficos de Lincoln anteriores a 1834, salvo un registro que figura en un catálogo de la compañía Anderson Auction (1914), el cual podría referirse a una factura firmada por él y por un importe de 12.5 \$. El trabajo lo había efectuado en el condado de Sangamon (1833) para subdividir una sección en la que había una escuela.

Las primeras prácticas topográficas de Lincoln las realizó con sus propios instrumentos: una brújula con alidada, fabricada por David Rittenhouse, provista de un bastón<sup>51</sup> para colocarla en estación, y una cadena de agrimensor<sup>52</sup> con todos sus accesorios, además de los correspondientes cuadernos de campo y útiles de dibujo. De su existencia da testimonio la fotografía que en su día perteneció a la colección de Lloyd Ostendorf, y que luego fue adquirida, al parecer, por el Museo de Lincoln. Cuando abandonó el ejercicio de la topografía para dedicarse de lleno a la abogacía, vendió sus instrumentos a su amigo William G. Greene (1812-1894), del condado de Menard.

Es probable que Lincoln siguiera el protocolo de los topógrafos rigurosos y sometiera su cadena a controles frecuentes para corregir los incrementos de longitud, positivos y negativos, que sufría por



los cambios de temperatura. Por lo que se refiere al uso de la brújula, es seguro que ocasionalmente tendría necesidad de conocer la dirección del Norte verdadero, con lo que debió de haber hallado el valor de la declinación magnética en el área de New Salem, observando para ello la culminación de la estrella polar sobre el meridiano de aquel lugar. Aunque no se conserven sus registros de campo, si hay escritos<sup>53</sup> en los que se afirma que la exactitud de sus trabajos raramente era puesta en duda, si es que lo fue alguna vez, siendo inquestionablemente aceptados sus dictámenes por los propietarios implicados en el litigio.

Quizás fuera el trabajo que realizó para Reason Shipley, en 1834, uno de los mejores documentados. Shipley era un pariente lejano de Lincoln, por parte de madre, que se había establecido en Sangamon, en donde llegó a poseer casi dos secciones de terreno. Su encargo a Lincoln fue que se amojanaran las esquinas de todos los cuartos incluidos en su propiedad, los cuales se habían perdido en el transcurso de los doce años transcurridos desde que se replantearon originalmente en 1822<sup>54</sup>. Baber aseguraba en su libro que una nieta de Shipley conservaba las escrituras y planos confeccionados al efecto por Lincoln<sup>55</sup>. Pocos días después cumplió otro encargo de Russel Godbey, el cual quería que le indicase por donde iban los límites de los 80 acres que había comprado y que estaban a seis millas al norte de New Salem. Como en tantos otros casos, fue el propietario el que le ayudó a tensar la cadena. El trabajo efectuado por Lincoln quedó perpetuado, pues una de las esquinas replanteadas se conoció después con el nombre de Lincoln's corner, al igual que un árbol que creció junto a ella, que luego fue sustituido por una roca. Baber aportó incluso una copia de la certificación literal firmada por Lincoln, en la que se indicaban algunas de las distancias medidas. (Figura 22).



Figura 22

Quizás fuesen los trabajos que realizó para Jesse Gum, explorador de origen alemán, los que le llevaron más tiempo a Lincoln, ya que la extensión de su propiedad era de unos (40 acres, mayor de todas las de aquellos parajes. Cuando Baber la reconoció en 1966 aún se usaban carreteras que habían sido trazadas por aquél durante su campaña de campo en dicho lugar. Como en ocasiones anteriores, se trataba de señalar de nuevo las esquinas de los cuartos y los puntos medios de los lados, referenciándoles siempre a señales testigo, mediante las distancias (expresadas en número entero de cadenas y eslabones) y los rumbos correspondientes. Baber reproduce en su obra una descripción extraída de los datos de campo medidos por Lincoln, de la que he seleccionado el itinerario siguiente: 2nd The East half of the South West quarter of Section 28 in the above Township-beging at the South East corner of said quarter a rock-Thence North 40 chains to a rock-Then east 20 chains to the beginning. El documento va firmado así: J. Calhoun S.S.C.<sup>56</sup> by A. Lincoln.

Lincoln contribuyó, durante ese mismo periodo de su vida, a la recuperación de las secciones escolares de varios distritos, identificadas cada una con el número 16. Los puntos definitorios de las mismas habían desaparecido con el tiempo, algunos de los propietarios limitrofes invadieron parte de sus terrenos<sup>57</sup> y otros pretendían que se dividiesen en lotes para comprarlos. Del cuidado que ponía Lincoln en sus determinaciones, da idea el ejemplo que se indica a continuación: el límite Sur de la sección número 36 del distrito T18N-R6W<sup>58</sup> fue fijado en el año 1822 en 79.71 cadenas, hallando él 79.45. Aunque solo sea a título de curiosidad, se transcribe la carta escrita por Lincoln desde New Salem, reclamando el importe de sus honorarios, derivados de sus trabajos en otra sección similar; la carta, fechada el 22 de agosto de 1836, y dirigida al Comisionado de la Escuela del Condado de Morgan (Illinois), decía así:

Dear Sir:

Something more than a year ago, at the request of the trustees, I surveyed Sec. 16 Town 19 Range 8, being in your county. As yet, I had been paid nothing for it. Will you be so good as to get my claim allowed at the September term of the County Commissioners Court.

Respectfully

A. Lincoln

Siendo Lincoln tan buen conocedor del territorio en que ejercía como topógrafo, es natural que, tras



haber efectuado el imprescindible reconocimiento de los terrenos por donde debía discurrir, propusiera abrir un camino que, pasando por New Salem, facilitase la comunicación entre Musick's Ferry y Jacksonville, al tiempo que propiciaba el desarrollo del condado de Sangamon<sup>59</sup>. La petición fue presentada formalmente, en el mes de marzo de 1834, ante el Tribunal de Springfield, que acto seguido aprobó la propuesta movido por la urgente necesidad de contar con más y mejores caminos. Lincoln dirigió los trabajos topográficos necesarios<sup>60</sup>, contando con la colaboración de varios asistentes, entre los que cabe señalar a Loyed, que se encargó de la cadena. Aunque no se conserve el dibujo, parece que Lincoln desarrolló el itinerario seguido en el campo, detallando el valor de sus ángulos (en graduación sexagesimal) y la longitud de cada lado, expresada en cadenas. Así pudo hallarse la longitud total del camino: unas 26 milla y 70 cadenas; un trayecto considerable para el poco tiempo que invirtieron en el trabajo, solamente cinco días. Los honorarios fijados por Lincoln fueron de 17.5 \$ para él y 11.25 \$ para sus tres asistentes. En los meses siguientes se hizo patente la utilidad del camino y pronto fue preciso construir un puente en Musick's Ferry para facilitar el tráfico. En el año 1836 ya apareció representado el camino en un mapa publicado en Filadelfia por Henry Shenk Tanner (1786-1858), en el que se apreciaba con toda claridad como cruzaba el río Sangamon en New Salem. (Figura 23).



Figura 23

Lincoln continuó haciendo otros trabajos para los propietarios vecinos de J. Gum, que no tuvieron especial relevancia. Todo lo contrario de lo que sucedería después, entre 1835 y 1836, al replantear un núcleo urbano que se convertiría luego en la ciudad de Petersburg, sede del condado de Menard<sup>61</sup>. En febrero de 1936 emitió Lincoln un certificado en el que indicaba que había sido trazada de acuerdo con la ley. Apoyándose en su plano se replantearon ocho solares al Noroeste de la curva del río Sangamon y otros ocho al Sur de la misma.

El empleo de la cadena por parte de su equipo parece obvio, ya que el ancho de las calles entre solares era de 66 pies, justamente el largo de la cadena de Gunter; aunque trazase otras de ancho menor, solo 16 pies, dividiendo cada solar. Años después, en 1882, un señor mayor recordaba que Lincoln pasó la mayor parte del mes de marzo de 1836 en la ciudad de Petersburg, finalizando sus trabajos y planificando el resto del núcleo que había comenzado el año anterior. También parece cierto otro testimonio, del irlandés Mc. Guire, el cual parece ser que ayudó a Lincoln con la cadena, mientras trabajaba en ese mismo lugar.

En el mismo año 1836 trazó Lincoln varios caminos, como por ejemplo el que discurría entre Springfield y Miller's Ferry, además de en el proyecto de hacer navegable el río Sangamon, aunque nunca llegara a realizarse. Lincoln compró varias propiedades de la zona y en otros condados de Iowa: Crawford y Tama. El nombre de Lincoln aparece también unido al de otros asentamientos igualmente replanteados por él: Albany (junio de 1836) y Bath (noviembre de 1836). El primero formaba parte del distrito 19N-R3W, conservándose un certificado que valida un plano del mismo, dibujado de acuerdo con su levantamiento y firmado por A. Lincoln (for T.M. Neale S.S.C.). A. Lincoln replanteó siete solares divididos por calles que seguían las dos direcciones cardinales, los cuales se localizaron en torno a una plaza pública. Albany estuvo situado, en Salt Creek, unas cinco millas al Oeste de la actual ciudad de Lincoln<sup>62</sup>, levantada, esta última, por los topógrafos John Wright y John Donovan. El estudioso de Lincoln, Harry E. Pratt (1901-1956), resumía muy bien sus aportaciones topográficas. Según él, no se conservaba documentación de sus primeros trabajos en el antiguo condado de Sangamon, todo lo contrario de lo que sucedía con los que había llevado a cabo en Petersburg, Bath, New Boston, Albany y Huron. De esa forma se pudo saber que trazó tres caminos, replanteó tres secciones escolares y una docena de parcelas rústicas, cuya superficie oscilaba entre los cuatro y los

sesenta acres<sup>63</sup>. Baber, por su parte, creía que Lincoln fue uno de los mejores topógrafos de su época, una opinión que coincidía con la que ya se había expresado muchos años atrás Zimri Allen Enos (1821-1842), un topógrafo de Illinois que había conocido a Lincoln.

Terminaré esta aproximación a sus aportaciones topográficas, recordando la celebración de una reunión, en la ciudad de Springfield, para tratar de establecer el control de los futuros trabajos catas-



trales, encuadrados en el sistema cuadrangular de distritos y secciones, con la intención de que el mismo fuese avalado por un buen abogado. El elegido para ello fue precisamente el propio Lincoln, que a sus conocimientos legales unía los derivados de su pasada actividad topográfica. El informe pericial de Abraham Lincoln tiene un interés indudable para la historia de la topografía, de ahí que se hayan seleccionado del mismo los párrafos siguientes:

"And by that law<sup>64</sup>, I think the true rule for dividing into quarters any interior section, or section which is not fractional, is to run straight lines through the section from the opposite quarter section corners, fixing the point where such straight lines cross, or intersect each other, as the middle, or center of the section".

"Nearly, perhaps quite, all the original surveys are to some extent erroneous, and in some of the sections quite so. In each of the latter, it s obvious that a more equitable mode of division than the above might be adopted; but a error is infinitely various, perhaps no better single rule can be prescribed".

"At all events, I think the above has been prescribed by the competent authority". A. Lincoln. Springfield, Jany. 6, 1859. (Figura 24).



Figura 24

## Bibliografía

Baber A. A. Lincoln with compass and chain. Ed. Por el autor. Kansas (Illinois). 1968.

Bedini S.A. Thomas Jefferson, Statesman of Science. Macmillan Publishing Company. New York. 1990.

Hughes S.S. Surveyors and Statesmen, Land Measuring in Colonial Virginia. The Virginia Surveyors Foundation and the Virginia Association of Surveyors. Richmond. 1979.

Linklater A. Measuring America. How un tamed wilderness shaped the United States and fulfilled the promise of democracy. Ed. Walker Publishing Company. New York.2002.

McEntyre J.G. Land Survey Systems. Ed. Jonh Wiley & Sons. New York. 1978.

Ruiz Morales M., M. Ruiz Bustos. Forma y Dimensiones de la Tierra, síntesis y evolución histórica. Ediciones del serbal. Barcelona. 2000.

## Notas al pie

<sup>1</sup> Los mandatos presidenciales de los mismos fueron los siguientes: Washington, primer presidente (1789-1797); Jefferson, tercer presidente (1801-1809); Lincoln, decimosexto presidente (1861-1865).

<sup>2</sup> Realmente los hermanos de Washington eran solo de padre, el cual aportó dos hijos a su nuevo matrimonio.

<sup>3</sup> En el diario de Washington figura la compra de una cadena de Gunter. Aunque son de más enjundia los testimonios que se conservan en la Biblioteca del Congreso y en la Universidad de Cornell. En la primera se conserva el libro Art of measuring land, en el que figuran ejercicios de 1745. En la segunda hay otro ejemplar similar, Book of Surveys (1746), en el que figuran otras prácticas topográficas realizadas por Washington con tan solo 14 años.

<sup>4</sup> Granja Ferry, junto al río Rappahannock.

<sup>5</sup> El nombre le fue puesto en recuerdo del vicealmirante Edward Vernon (1684-1757), que había sido su comandante en la marina inglesa durante la batalla de Cartagena de Indias. Washington mantuvo esa denominación al heredar la propiedad.

<sup>6</sup> La ascendencia de esa familia se acrecentó cuando el rey Carlos II (1630-1685) donó, en el año 1649, cinco millones de acres (2023430Has) a sus principales valedores en aquellos lejanos territorios.

<sup>7</sup> El mapa que apareció en la edición inglesa del diario de Washington fue debido a Thomas Jefferys (1754): Map of the Western Parts of the Colony of Virginia.T. Jefferys (1719-1771) fue geógrafo del rey Jorge III (1738-1820).

<sup>8</sup> La denominación honraba a los reyes ingleses que aprobaron la creación del colegio en el año 1693, a pesar de contar con la oposición del gobernador de Virginia. El director del colegio lo nom-



bró el obispo de Londres. Los nombres de William y Mary recordaba por tanto al rey William III (1650-1702) y a la reina Mary II (1662-1694). El centro tuvo la facultad de nombrar al Topógrafo General de Virginia, desde su creación hasta el triunfo de la revolución americana.

<sup>9</sup> Durante la guerra de la independencia, Washington se vio obligado a hacer sus propios croquis de campo para facilitar sus decisiones estratégicas, así se desprende de sus propios escritos: "La falta de mapas exactos del territorio, que ha sido el escenario de la guerra, fue un serio contratiempo. Al no poder contar con ellos me vi obligado a realizar simples croquis basados en mis propias observaciones de campo" (Writings of George Washington from the original Manuscripts Sources. 1745-1799. John C. Fitzpatrick. Washington D.C. Government Printing Office. 1931-1944).

<sup>10</sup> El atlas tardó en prepararse un año, reeditándose después en 1955 por iniciativa de la Asociación de Topógrafos de Virginia.

<sup>11</sup> Recuérdese que muchos años después escribiría que la ciencia había sido su verdadera pasión en contraposición con su ocupación política.

<sup>12</sup> Las matemáticas, consideradas por Small la madre de las ciencias, incluían topografía y navegación.

<sup>13</sup> Aunque sus estudios duraron en realidad tres años, en la práctica puede decirse que fueron doce, contando aquellos en que los llevó a la práctica, contando ya con 24 años, y los dedicados a la reforma de las leyes de Virginia. Ni que decir tiene que sus conocimientos topográficos le fueron de gran ayuda al resolver los conflictos entre propietarios limitrofes.

<sup>14</sup> En el segundo volumen de sus cuatro Libros de Arquitectura, describía el autor los alrededores de su obra más famosa (Villa Rotunda, cerca de Vicenza). Allí comentaba que era un lugar placentero situado en la cumbre de un Monticello (diminutivo de montaña), añadido por un río navegable en un lado de su base y rodeado por otras colinas cubiertas de frutales, en el otro, formando una especie de "gran teatro".

<sup>15</sup> En un principio parece que Jefferson estaba dispuesto para ello, como prueba su reciente adquisición de una especie de teodolito giroscópico (Marshall's meridian instrument) que permitía orientar los planos con relación al norte verdadero.

<sup>16</sup> Incluso llegó a comprar los terrenos necesarios, para construir la torre, en una alta montaña de la zona, conocida hoy con el nombre de Patter-son Mountain.

<sup>17</sup> La operación la llevaron a cabo en el año 1767, empleando un sector cenital para calcular las lati-

tudes y por tanto la amplitud angular del arco; en cuanto al desarrollo, lo obtuvieron directamente sin emplear triangulación alguna. Aunque sus observaciones fueron cuidadosas, no lograron resultados verdaderamente fiables; a pesar de haber sido aceptado su informe por la Royal Society al año siguiente. Las observaciones fueron efectuadas tras materializar el límite jurisdiccional entre Pennsylvania y Maryland, una tarea para la que habían sido contratados en Inglaterra por representantes de las familias Penn y Baltimore, los respectivos propietarios en litigio. Sus levantamientos topográficos comenzaron en 1763 y continuaron hasta que tuvieron que suspenderse en 1767 por el acoso de los indios, después de recorrer cerca de 400km a lo largo del paralelo 39. La importancia de su labor fue tal que todavía es conocida como línea Mason-Dixon, la que imaginariamente separa el Norte y el Sur de los Estados Unidos.

<sup>18</sup> La obra estaba estructurada en los veintitrés capítulos siguientes: 1. Boundaries of Virginia. 2. Rivers. 3. Sea Ports. 4. Mountains. 5. Cascades. 6. Productions mineral, vegetable and animal. 7. Climate. 8. Population. 9. Military force. 10. Marine force. 11. Aborigines. 12. Counties and towns. 13. Constitution. 14. Laws. 15. Colleges, buildings, and roads. 16. Proceedings as to Tories. 17. Religion. 18. Manners. 19. Manufactures. 20. Subjects of commerce. 21. Weights, Measures and Money. 22. Public revenue and expenses. 23. Histories, memorials, and state-papers.

<sup>19</sup> Como mérito añadido baste decir que a esas alturas de su vida ya era políglota, pues sabía italiano, francés y español; aprendiendo este último gracias a las lecciones de Cabot y a la ayuda de sus lecturas del Quijote.

<sup>20</sup> El título exacto del mapa fue: A map of the country between Albemarle Sound, and Lake Erie, comprehending the whole of Virginia, Maryland, Delaware and Pennsylvania, with parts of several other of the United States of America.

<sup>21</sup> El título completo de la ordenanza fue: An Ordinance for ascertaining the Mode of Locating and Disposing of Lands in the Western Territory.

<sup>22</sup> El paralelismo entre esa manera de proceder y la que luego se siguió con la cuadrícula UTM parece obvio. Tampoco tendría nada de extraordinario que las secciones americanas de una milla cuadrada las tuviera presentes Francisco Coello de Portugal (1822-1898) al definir sus cuadrados de 1 km de lado, básicos en el sistema catastral que trató de imponer durante su gestión al frente de la Junta General de Estadística.

<sup>23</sup> En París debió conocer, dada su posición social, a Pierre S. Laplace (1749-1827), del que re-



feriría luego sus estudios sobre la excentricidad de la órbita lunar y las perturbaciones producidas sobre la trayectoria por la atracción del Sol. Igual sucedería con Joseph L. Lagrange (1736-1813), del que alabó la reciente publicación (1788) de su *Mecánica Analítica* y al que consideraba el mejor matemático de su tiempo. La amistad y correspondencia que mantuvo con el marqués Nicolas de Condorcet (1743-1794), secretario de la Academia de Ciencias de París, es otra prueba inequívoca.

<sup>24</sup> Cuando Lafayette (1757-1834) le reprochó que hubiese comprado productos ingleses, Jefferson le replicó diciendo que solo había adquirido los que no pudo hallar en Francia y que si lo hizo no fue por su amor a los ingleses, sino por el amor propio que presidía sus actuaciones en esos casos.

<sup>25</sup> Recuérdese que el año 1787 fue decisivo en la historia de ambos países, pues se estaba gestando la revolución francesa y se estaba fraguando la nueva constitución de Norteamérica.

<sup>26</sup> Al inscribirlo de manera oficial logró incluso que figurase, en el planisferio que acompañaba al texto, el nombre de George Washington como Presidente de los Estados Unidos de América.

<sup>27</sup> Ese mandato tuvo un efecto que fue más allá de la cuestión metrológica y que no esperaban seguramente los congresistas, pues la falta de libros de consulta apuntada por Jefferson sirvió para que la Cámara decidiera la creación de una Biblioteca que facilitara los trabajos legislativos y ejecutivos del gobierno. Así fue como nació el germen de la actual Biblioteca del Congreso, la cual lleva precisamente el nombre de Jefferson.

<sup>28</sup> Christian Huygens (1629-1695) en 1659 y Picard en 1669 ya habían defendido esa posibilidad. Aunque ese patrón pendular, batiendo a una u otra latitud, fuera también defendido por franceses de tanto renombre como los Cassini, Charles F. Du Fay (1698-1739) o Charles M. de La Condamine (1701-1774), no fue tomado en consideración hasta el mes de marzo del año 1790, en que el obispo Charles M. de Talleyrand (1754-1838), indudablemente aconsejado por matemáticos de la talla de Laplace o Lagrange, presentó su propuesta a la Asamblea Nacional, para unificar las medidas y los pesos. De hecho su contrincante James Madison llegó a acusarlo de plagio cuando Jefferson presentó su informe metrológico.

<sup>29</sup> Como es sabido esa unidad no llegó a establecerse, pues se adujo con razón que variaría con la latitud, al igual que la intensidad de la gravedad.

<sup>30</sup> Al final fueron cedidos al gobierno de la nación por los Estados de Virginia y Maryland.

<sup>31</sup> No obstante incluía las líneas maestras del entramado urbano previsto.

<sup>32</sup> Su longitud con relación al meridiano de Greenwich es de 77° 2' 11" 56 al Oeste.

<sup>33</sup> Las líneas seguían las direcciones cardinales (NS y EW), como si se tratase de una versión moderna de la centuración romana en la que el *Cardus Maximus* (NS) y el *Decumanus Maximus* (EW) fuesen los ejes directores; a mi juicio no se trata de una casualidad sino que es reflejo del conocimiento de la cultura clásica que tenía Thomas Jefferson. No obstante, por iniciativa de L'Enfant se construyeron también grandes avenidas con nudos centrales, a modo de rosas de los vientos.

<sup>34</sup> De esa forma se iba familiarizando con el cálculo de las latitudes, pues estas resultaban obvias al hacer intervenir la declinación del Sol.

<sup>35</sup> El resultado final fueron 2500 \$, unos 38700 \$ actuales.

<sup>36</sup> El propósito de la expedición era también estudiar la población autóctona, la botánica, la zoología y la geología de aquellos territorios y las posibles injerencias que pudiesen producir los asentamientos que ya habían efectuado franceses e ingleses.

<sup>37</sup> El relieve estaba representando mediante unas rudimentarias normales, dibujadas a ambos lados del accidente orográfico.

<sup>38</sup> La vasta extensión objeto de la transacción comprendía los territorios de los actuales estados de Arkansas, Missouri, Iowa, Oklahoma, Kansas, Nebraska, Minnesota al sur del río Mississippi, gran parte de Dakota del Norte, casi la totalidad de Dakota del Sur, el noreste de Nuevo México, el norte de Texas, una sección de Montana, Wyoming, Colorado al este de la divisoria continental, y Luisiana a ambos lados del río Misisipi, incluyendo la ciudad de Nueva Orleans. Además, la compra comprendía partes de las provincias actuales de Alberta y Saskatchewan, en el actual Canadá. El precio total fue de más de 23200000\$.

<sup>39</sup> En la Cartoteca del Congreso se conserva un ejemplar de la misma, que parece original. No tiene cartela impresa pero si manuscrita, con el título siguiente: *General Chart of the Kingdom of New Spain. Betn. Parallels of 16o & 38o N. From materials in Mexico at commencement of year 1804. By Humboldt.* Como bajo el nombre de Humboldt aparece una rúbrica, cabe pensar que se tratara bien del original o de un texto escrito por el propio autor del mapa.

<sup>40</sup> Ese mapa es uno de las mejores aportaciones españolas a la cartografía de la América latina. Doscientos años después de su aparición (1775) aún merecía los elogios de los más consumados especialistas.

<sup>41</sup> Su nombre completo es *surveyor furlong*, equivalente a unos 201.17 m. El *furlong* es la octava parte de la milla o cuarenta perchas. Las relaciones siguientes eran de las más empleadas: un eslabón tenía 7.92 pulgadas, 25 eslabones



equivalían a 16.5 pies o a una percha, 100 eslabones (la cadena) constaban de 66 pies o de 4 perchas, 10 cadenas eran igual a un furlong, a 660 pies o a 40 perchas, 80 cadenas eran igual a una milla.

<sup>42</sup> Esta oficina estatal se transformó después en la United States Coast and Geodetic Survey (USCGS). En la actualidad es la agencia federal National Geodetic Survey (NGS), uno de los centros geodésicos y cartográficos más prestigiosos del mundo.

<sup>43</sup> El mapa lo publicó al final el mismo organismo pero en el año 1845. El relieve aparece representado mediante el sistema de normales, figuran numerosas cotas batimétricas, el parcelario aparente y la escala de 1/80000.

<sup>44</sup> Su abuelo le había ido enseñando los principios de la topografía, midiendo con la cadena los terrenos de Monticello. Puede decirse por tanto que Thomas Jefferson Randolph fue el cuarto topógrafo de la familia.

<sup>45</sup> En el año 1859 se demolió, aprovechando sus escombros en otras construcciones de los alrededores.

<sup>46</sup> Abraham Lincoln fue conocido como Honest Abe. Durante su etapa de topógrafo llegó a ser familiar el nombre de Abe Lincoln (Abe es el diminutivo de Abraham), a causa de que sus pantalones siempre le quedaban cortos.

<sup>47</sup> Al ser sustituido este por el topógrafo Thomas M. Neale (1796-1840), Lincoln continuó como adjunto del mismo hasta finales del año 1836.

<sup>48</sup> El primer libro consultado por Lincoln fue Flint's Survey: A system of Geoemtry and Trigonometry. El autor fue el topógrafo Abel Flint, tratándose de un libro básico para la topografía que se usaba en Nueva Inglaterra, en donde imperaba aún el sistema Metes & Bounds. Tal sistema se usaba en Inglaterra para identificar la propiedad real, o estatal, siendo más descriptivo que analítico; luego se aplicó en las colonias. En España lo recuerda aún la descripción oficial de las líneas límites entre los Términos Municipales e incluso las que figuran en la mayoría de las escrituras públicas.

<sup>49</sup> Cuando su padre le comentó que quería vender un trozo de tierra a un vecino y A. Lincoln leyó el documento de compraventa, le dijo a su padre que si lo firma en los términos en que estaba redactado se vería obligado a abandonar tosa su propiedad en ese momento.

<sup>50</sup> Topógrafo autor del libro A. Lincoln with compass and chain, que él mismo editó en Kansas (Illinois) en 1968.

<sup>51</sup> El bastón tenía en su extremo superior una especie de perno para enganchar, en su caso la cadena.

<sup>52</sup> La cadena solía tener 66 pies de largo y cada eslabón 7.92 pulgadas. Su empleo en los trabajos catastrales de replanteo presentaba ventajas tan evidentes como: Un acre equivalía a diez cadenas cuadradas y una milla tenía 80 cadenas.

<sup>53</sup> Ward H. Lamon. The life of Abraham Lincoln.

<sup>54</sup> No es de extrañar la pronta desaparición de las señales colocadas por los primeros topógrafos, pues se trataban de simples estacas de madera referenciadas a algunos árboles testigo.

<sup>55</sup> Ahora lo conserva la compañía de seguros Lincoln Nation Life, en Fort Wayne (Indiana).

<sup>56</sup> S.S.C. son las iniciales de Surveyor of Sangamon County.

<sup>57</sup> Aunque la picaresca de ciertos propietarios no tuviese justificación alguna, la decisión gubernamental de reservar más de 3 km<sup>2</sup> para la posible instalación de centros educativos, en regiones que aún no estaban pobladas fue cuando menos utópica.

<sup>58</sup> T y R eran las iniciales respectivas de Town y Range, especie de ordenada y abscisa con que se localizaba a cada uno de los distritos, a partir del origen (intersección del meridiano principal y del paralelo correspondiente-base line).

<sup>59</sup> Los territorios de este condado eran considerables: tenían un largo de ocho distritos (de Norte a Sur) y un ancho de siete y medio (de Este a Oeste), lindando en su esquina NW con el río Illinois, al Sur de Havana.

<sup>60</sup> Quizás serían estos los primeros que realizaría fuera del ámbito catastral.

<sup>61</sup> De todos los núcleos urbanos replanteados por Abraham Lincoln, el de Petersburg fue el único que se convertiría después en una verdadera ciudad.

<sup>62</sup> La ciudad, en el actual condado de Logan, fue bautizada así en agosto de 1853, antes de que Lincoln fuese nombrado Presidente de los Estados Unidos. El motivo puede ser su prestigio entre los habitantes del lugar y su asesoramiento en la planificación de la misma, tanto en su calidad de abogado como en la de topógrafo.

<sup>63</sup> El acre equivale a una superficie aproximada de 4047 m<sup>2</sup>, es decir 40.47 áreas.

<sup>64</sup> Se refería Lincoln a una de las secciones de una Acta del Congreso aprobada el 11 de febrero de 1805, en la que se prescribían reglas para la subdivisión de las secciones territoriales.



# Representación de una red de una cartografía mediante un grafo

## Representation of a cartography's network through a graph

Rafael Rodríguez Puente, Jose Angel Inda, Yasnary Gonzalez Pérez  
Universidad de las Ciencias Informáticas, rafaelrp@uci.cu, Cuba Abril 17, 2011

### Resumen

En el presente artículo se muestra como resultado la obtención de un grafo a partir de una red (de viales, de distribución de agua, electricidad, etc.) de una cartografía, para ello se parte de un mapa almacenado en el Sistema Gestor de Bases de Datos PostgreSQL y se utilizan las funcionalidades implementadas en la extensión PostGis.

Con el grafo obtenido se pueden realizar análisis de redes tanto en sistemas típicos de análisis sobre grafos (graphviz, libboost-graph, DGL, etc.) como desde PostgreSQL o Sistemas de Información Geográfica como QGIS.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, Análisis de redes en SIG.

### Abstract

In this article we shown algorithms that make a representation of a cartography's network (of roads, water supply, electricity, etc.) through a graph from a map stored in the PostgreSQL Database Management System and uses the functions implemented in the PostGIS extension. With the graph obtained can perform network analysis on typical graph analysis systems (graphviz, libboost-graph, DGL, etc.) and other software like PostgreSQL or QGIS.

**Keywords:** Geographic Information Systems, Network analysis in GIS.

### Introducción

El uso de los Sistemas de Información Geográfica

(SIG) ha aumentado enormemente en las décadas de los ochenta y los noventa y como consecuencia estos sistemas han pasado del total desconocimiento a la práctica cotidiana en el mundo de los negocios [1, 2, 3], en las universidades [4, 5, 6] y en los organismos gubernamentales [7, 8, 9], usándose para resolver problemas diversos. Además se ha producido un incremento de las conferencias organizadas por las principales asociaciones internacionales relacionadas con la informática y la electrónica (IEEE, ACM) sobre la temática SIG en los últimos años [10], lo cual se muestra en la figura 1 por lo que se puede afirmar que estamos en presencia de una temática activa en la comunidad científica.

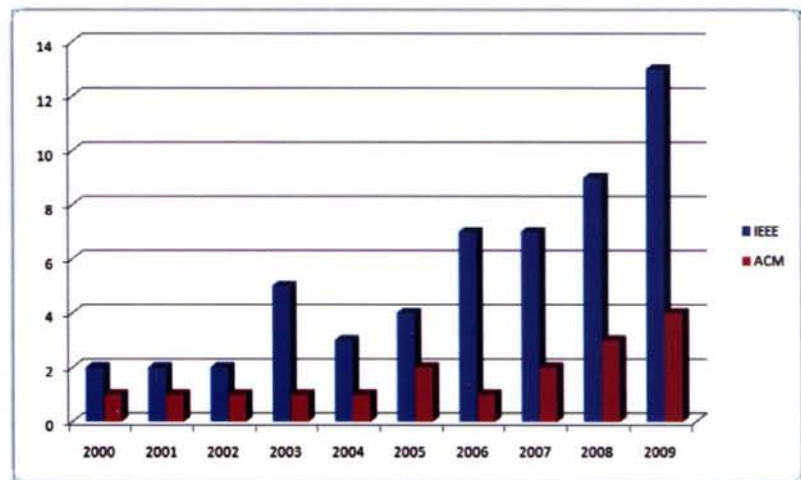


Figure 1: Cantidad de eventos sobre SIG en los últimos años

Desde un punto de vista práctico un SIG es un sistema informático capaz de gestionar datos geográficos georeferenciados. Por georeferenciados se entiende que estos datos geográficos o mapas tienen unas coordenadas geográficas asociadas (longitud, latitud). También deben facilitar la relación de datos socio-económicos (i.e. densidad de po-



blación) con datos geográficos, esto lo hacen a través de la generación de mapas temáticos [11], un servicio para la generación de este tipo de mapas se describe en [12].

La mayor utilidad de un Sistema de Información Geográfica (SIG) está estrechamente relacionada con la capacidad que éste posee de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales [13], esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan más información para el análisis.

Los SIG poseen dos componentes fundamentales: la cartografía (o mapa), y un módulo que permite visualizar la cartografía. De forma intuitiva se puede decir que la cartografía es un modelo que representa el "mundo real" y se almacena utilizando varios formatos, por ejemplo:

Shape [14], TAB [15], entre otros; por otra parte, existen proyectos que utilizan bases de datos relacionales extendidas con soporte para tipos de datos espaciales (punto, línea, polígono, etc.) para almacenar la cartografía, haciendo uso del estándar WKB [16] para la representación de los valores geométricos, este es el caso del proyecto Open-MapStreet [17]. Varios SIG utilizan bases de datos relacionales debido a su potencialidad para realizar consultas y relacionar los datos geográficos con datos socio-económicos.

Los SIG, deben dar respuesta a peticiones relacionadas con el análisis de rutas, tales como:

\_ ¿Cuál es el camino más corto entre los lugares X e Y?

\_ ¿Cuál es el camino óptimo entre los lugares X e Y según un determinado criterio?

\_ ¿Cómo llegar del lugar X al Y pasando por los lugares  $x_1; x_2; \dots; x_n$ ? Para ello se pueden utilizar dos enfoques:

1. Realizar el análisis sobre la propia cartografía.
2. Utilizar un modelo equivalente a la red (representada en la cartografía) sobre la que se realiza el análisis.

A continuación se muestra los algoritmos utilizados para obtener un grafo que representa una red

de una cartografía, este grafo es almacenado en dos formatos para su posterior análisis por distintos sistemas según las necesidades de los usuarios.

## Desarrollo

Para representar una red de viales mediante un grafo, se parte de una cartografía almacenada en el SGBD postgresql haciendo uso de la extensión PostGIS, para ello se utiliza una estrategia voraz o ávida como se muestra en el Algoritmo 1.

A continuación se realiza una explicación de los principales pasos del algoritmo 1

### Paso 7: Determinar las intersecciones entre dos geometrías

Para calcular las intersecciones entre dos geometrías (líneas en este caso), se utiliza la extensión PostGIS[18]. Se debe además, antes de retornar los puntos de intersección, verificar que esos puntos no han sido encontrado anteriormente, o tendremos varios puntos repetidos, como pasa

Algoritmo 1 Obtener un grafo que representa una red de viales a partir de una cartografía

Entrada: Una cartografía que contenga una capa de viales

Salida: Un grafo que representa la cartografía de entrada

1: Almacenar en la variable calles todas las calles existentes en la capa de viales de la cartografía

2: listavertices=fg

3: listaaristas=fg

4: Para todo c1 2 calles hacer

5: auxiliar = fg

6: Para todo c2 2 calles hacer

7: listapuntos=DeterminarIntersecciones(c1;c2)

8: auxiliar.Adicionar(listapuntos)

9: Para todo punto 2 listapuntos hacer

10: listavertices.Adicionar(listapuntos)

11: Fin Para



12: Fin Para

13: listaaristas=DeterminarAristas(c1;auxiliar)

14: Fin Para

15: Retornar CrearGrafo(listavertices; listaaristas) en QGIS [19] con la herramienta ftools [20]. Esta situación se debe a que cuando se tiene una red de viales, por ejemplo la Figura 2, al calcular las intersecciones tendremos lo siguiente:

\_ Cuando se calcula las intersecciones entre las calles A y 1, se obtiene como resultado el punto (A,1)

\_ Cuando se calcula las intersecciones entre las calles A y 2, se obtiene como resultado el punto (A,2)

Los puntos (A,1) y (A,2) representan el mismo objeto geográfico, que coincide con la intersección con de las calles A, 1 y 2, en este caso se puede afirmar, que desde el punto de vista del análisis de la red, se debe tener en cuenta como una sola intersección, esto maximiza su importancia cuando el objetivo es modelar la red (presente en la cartografía) a través de un grafo para realizar análisis posteriores.

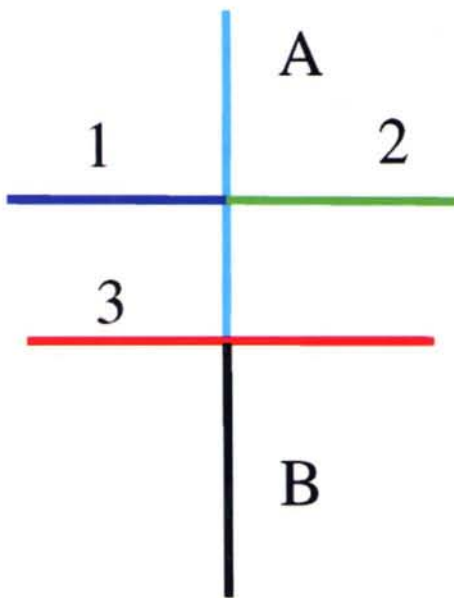


Figure 2: Ejemplo de red de viales

Lo mismo ocurre con la intersección entre las calles A, B y 3. Debido a esta situación, cuando se calcula las intersecciones de una calle con el resto de las mismas, hay que buscar si el punto de intersección resultante ya fue encontrado anteriormente, para evitar puntos (vértices) repetidos.

Paso 13: Determinar las aristas a partir de una calle

Para la determinación de las aristas se utiliza el Algoritmo 2. En el mismo se debe tener en cuenta que una arista está conformada por cuatro valores: vértice de origen, vértice de destino, costo de la arista, geometría de la arista.

Como esta arista modela una parte de una red existente en el mundo real, es importante tener acceso a su geometría, esto puede ser útil si en un futuro se desea obtener imágenes relacionadas con análisis realizados sobre el grafo, por ejemplo, para dibujar en un mapa el camino mínimo buscado sobre una determinada red.

Paso 15: Crear el grafo

En este paso se crea un grafo formado por los vértices que representan las intersecciones calculadas entre las diferentes calles (o componentes) de una red (podría ser una red de distribución de agua o de electricidad) y las aristas serían calculadas como los fragmentos de calles que unen los vértices determinados por las intersecciones.

El grafo generado puede almacenarse de varias formas, en el sistema implementado se utilizan dos variantes:

1. Se almacena como una cartografía en una base de datos de PostgreSQL, lo que permite posteriores análisis con sistemas como pgRouting y con las funciones que brinda PostGis.

2. Se almacena en formato .dot [21], lo que permite realizar análisis con herramientas

Algoritmo 2 Determinar las aristas del grafo que representa la red

Entrada: Una calle c y una lista de puntos

Salida: Un conjunto de aristas vinculadas a la red modelada en la cartografía

1: aristas = fg

2: Calcular la distancia desde el primer punto de la calle c hasta cada punto de la lista puntos haciendo uso de la geometría c

3: Ordenar la lista de puntos según la distancia calculada



# Nuevo láser **FARO FOCUS 3D**

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



**CARTO**  **GALICIA**  
T O P O G R A F I A  
servicios de alquiler y venta  
[www.cartogalicia.com](http://www.cartogalicia.com)



4: puntos.Insertar(0,c[0]) insertar en la primera posición de la lista de puntos el primer punto de la calle que se analiza.

5: puntos. Adicionar(c[cantidad puntos]) adicionar al final de la lista de puntos, el último punto presente en la calle cg

6: Para  $i = 0$  hasta  $i < longitud(puntos) - 1$  hacer

7: a=Extraer Geometría(c; puntos[i]; puntos[i+1])  
f Devuelve la geometría (una línea) que une dos puntos que están sobre la calle cg

8: aristas. Adicionar(puntos[i]; puntos[i+1]; l en(a);a)

9: Fin Para

10: Retornar aristas como graphviz [22], la cual implementa varios algoritmos sobre grafos, incluidos representación con cálculo de caminos mínimos, etc.

## Conclusiones

Luego del trabajo realizado, se arribó a las siguientes conclusiones:

\_ Los algoritmos presentados facilitan la obtención de un grafo que representa una red de una cartografía, con el grafo obtenido se pueden realizar diferentes tipos de análisis ya sean por sistemas o librerías que utilicen el formato de grafo .dot o por sistemas implementados sobre el SGBD PostgreSQL como son pgRouting y PostGis. Además se puede utilizar QGIS para visualizar los resultados.

\_ El resultado obtenido en las intersecciones de la red es superior al que se obtiene con el plugin ftools de QGIS debido a que no genera vértices repetidos y además da la posibilidad de generar las aristas o fragmentos de calles (líneas) que unen las intersecciones identificadas. Se debe aclarar que la complejidad temporal calculada según el enfoque teórico en ambas implementaciones es la misma y según el enfoque empírico es similar en las pruebas realizadas.

## Trabajo futuro

Este resultado será ampliado en un futuro, teniendo en cuenta las siguientes líneas:

\_ Disminuir la complejidad del algoritmo presentado utilizando diversas técnicas de geometría computacional.

\_ Definir un sistema de actualización del grafo que representa una cartografía de forma tal que cuando se modifique la cartografía no sea necesario general el grafo completamente, sino solamente actualizarlo.

\_ Integrar el sistema desarrollado a QGIS.

## Referencias

[1] Burcin Bozkaya. Geolink: An lbs platform for mobile geo-marketing. In Esri Business GIS, 2010.

[2] Richard Moore. Gis applications for commercial real estate. In Esri Business GIS, 2010.

[3] Gis for bussiness, 2011. Disponible en: <http://www.esri.com/industries/business/index.html>.

[4] R. Lamela Fung, Luis. Rodríguez Puente. Experiencias en el desarrollo de un sistema de información geográfica en un entorno universitario. Revista internacional de ciencias de la tierra, (128):76–80, 2008.

[5] Ucgis, 2011. Disponible en: <http://www.ucgis.org/Default.asp>.

[6] Gis at university of chicago, 2011. Disponible en: <http://gis.uchicago.edu/>.

[7] Xiaolin Lu. A unified e-government information management platform based on web gis technology. In Computational Intelligence and Software Engineering, 2009. CiSE 2009. International Conference con, pages 1 –4, 2009. doi:10.1109/CISE.2009.5362937.

[8] Xiaolin Lu. A gis-based based integrated platform for e-government application. In Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference con, pages 1939 –1942, 2009. doi:10.1109/ICISE.2009.41.

[9] Liang Wang, Yong Wang, Yuxiang Li, Agen Qiu, and Kunwang Tao. Research on government gis construction and application technology based on cngi. In Web Information Systems and Mining (WISM), 2010 International Conference con, volume 2, pages 138 –142, 2010.



doi:10.1109/WISM.2010.130.

[10] Rafael Oliva Santos, Francisco Macía Pérez, and Eduardo Garea Llano. Esbozo de un modelo de integración de datos, metadatos y conocimiento geográfico. In VII Congreso Internacional Geomática 2011, 2011.

[11] Lili Jiang, Qingwen Qi, and An Zhang. The thematic mapping system con internet. In Geoinformatics, 2010 18th International Conference con, pages 1 4, 2010. doi:10.1109/ GEOINFORMATICS.2010.5567802.

[12] R. Rodríguez Torres, A. Rodríguez Puente. Servicio de mapas temáticos. Revista internacional de ciencias de la tierra, (139):36–39, 2010.

[13] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Conceptos básicos sobre sistemas de información geográfica y aplicaciones en Latinoamérica, volumen 1 of Cuadernos de los Sistemas de Información Geográfica. Santafé de Bogotá, Colombia, 1995.

[14] ESRI Shapefile Technical Description, julio 1998. Disponible en: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.

[15] MapInfo Corporation. Guía del usuario de MapInfo Profesional, noviembre 2003.

[16] Well-known binary (wkb) format, septiembre 2010. Disponible en: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/gis-wkb-format.html>.

[17] Openstreetmap project, 2011. Disponible en: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main\\_Page](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page).

[18] Lijing Zhang and Jing Yi. Management methods of spatial data based con postgres. In Circuits, Communications and System (PACCS), 2010 Second Pacific-Asia Conference con, volume 1, pages 410 –413, aug. 2010. doi:10.1109/PACCS.2010.5626962.

[19] Project Steering Committee. Quantum gis project, 2011. Disponible en: <http://www.qgis.org/>.

[20] Carson J.Q. Farmer. ftools qgis plugins, 2011. Disponible en: <http://www.ftools.ca/>.

[21] The dot language, 2011. Disponible en: <http://www.graphviz.org/content/dot-language>.

[22] Graphviz - graph visualization software, 2011. Disponible en: <http://www.graphviz.org/>.

## NOTICIAS

# Absis realizará el mantenimiento del mapa urbanístico de Catalunya

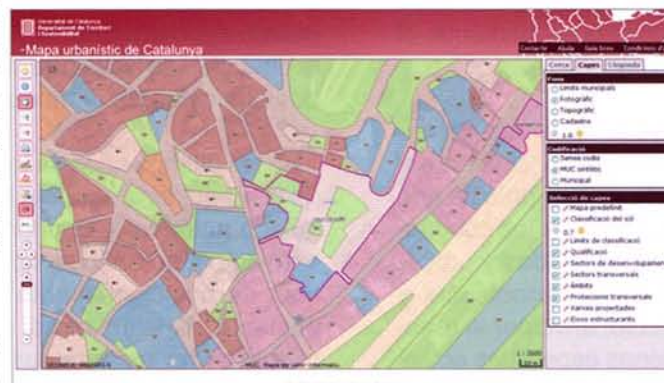
## La empresa informática española gana el concurso de la Generalitat por 325.000 euros

El Institut Català del Sòl (organismo de la Generalitat de Catalunya) ha adjudicado a la empresa española Absis, especializada en soluciones para la Administración Pública, el mantenimiento durante un año del Mapa Urbanístico de Catalunya por un importe de 325.000 euros.

Este contrato supone la actualización de los

mapas digitales que permiten consultar cualquier situación urbanística de Catalunya.

El procedimiento de consulta de los mapas es el siguiente: el usuario entra en la web del "Mapa Urbanístico de Catalunya", pincha el icono "i" de información, elige la población o comarca en un desplegable i se sitúa sobre la zona del mapa que desea consultar. Inmediatamente le aparece toda la información urbanística relacionada con el punto.





# Viabilidad técnica del uso de un interfaz cerebro-computador para el control de la dirección de un tractor agrícola

Jaime Gómez Gil, Israel San José González, Luis Fernando Nicolás Alonso y Sergio Alonso García

Departamento de Teoría de la Señal, Comunicaciones e Ingeniería Telemática. Universidad de Valladolid, Valladolid, España

## Resumen

Un interfaz cerebro-computador (BCI, del inglés Brain-Computer Interface) es un sistema que permite una comunicación directa entre el cerebro y un dispositivo externo. En este artículo se ha explorado el uso de los BCIs para el guiado de tractores agrícolas, por medio de la instalación de varios dispositivos en un tractor, y la realización de pruebas reales de guiado empleando un BCI. Uno de los dispositivos instalados fue un EPOC, un BCI de bajo coste fabricado por la empresa Emotiv, que a través de 14 electrodos salinos colocados sobre el cuello cabelludo, mide la actividad eléctrica producida por las sinapsis entre las neuronas del cerebro del conductor.

El equipo Emotiv EPOC procesa las señales medidas para detectar en ellas patrones de eventos cerebrales previamente entrenados. Mediante un procedimiento específico, explicado en este artículo, el BCI fue entrenado para que detectase cuatro eventos diferentes que eran empleados para dirigir el tractor. La detección de estos eventos era realizada solamente teniendo en cuenta la información recogida por los electrodos situados sobre el cuero cabelludo. Con los resultados obtenidos tras realizar pruebas con tres trayectorias y cuatro conductores diferentes, se llegó a la conclusión de que es posible dirigir un tractor con una precisión aceptable empleando un BCI, aunque claramente inferior a que la que se consigue mediante el guiado manual o automático con GPS.

En este artículo, una discusión derivada del estado del estado del arte de la investigación en encefalografía (EEG) y la tecnología BCI predice que en el futuro las señales del cerebro de los conductores de tractores podrían ser adquiridas y procesadas para detectar la fatiga o somnolencia y sugerir la detección del vehículo, anticipar la reacción del conductor en situaciones especiales en las que el tractor debe ser detenido de inmediato, per-

mitir un menor esfuerzo en el guiado del tractor sin la necesidad de los movimientos musculares, y permitir que incluso las personas con graves discapacidades físicas conduzcan tractores sólo con el pensamiento.

Palabras clave: vehículos agrónomos, interfaz cerebro-computador (BCI, del inglés Brain-Computer Interface), electroencefalografía (EEG), control, sistema de posicionamiento global (GPS), tractor, guiado.

## Introducción

El tractor es una de las máquinas más importantes del campo de la agricultura [1, 2]. En la actualidad, se construyen diferentes tipos de tractores agrícolas. Existen por ejemplo los denominados tractores de cadenas, que se caracterizan por usar los pedales de freno para girar. No obstante, los tractores más comunes en el mercado son los tractores de ruedas.

Éstos pueden tener dos o cuatro ruedas tractoras, siendo entonces de simple o doble tracción respectivamente, y son guiados normalmente mediante un volante controlado por el tractorista.

En los primeros tractores, la conexión entre el volante y la dirección del tractor era mecánica, y el esfuerzo que realizaba el tractorista para mover el mismo era considerable. En los tractores actuales, la dirección es hidráulica o hidrostática, necesitando un esfuerzo menor para mover la misma.

En los últimos años, la investigación en el guiado de la maquinaria agrícola ha estado centrada en el guiado autónomo. El principal método de posicionamiento automático empleado han sido los sistemas de posicionamiento global (GPS) [3-7]. No obstante, existen otros métodos de posicionamiento como los sistemas de visión artificial [8-11] o el empleo simultáneo de múltiples sensores [12-



15]. Además del guiado, otros ámbitos de investigación en la agricultura son el manejo a distancia de los tractores [16], la operación simultánea de múltiples tractores o robots [17], sistemas de guiado con realidad aumentada [18], o el estudio de la arquitectura de los tractores y sistemas de comunicaciones [19].

En el campo de la investigación médica, los interfaces cerebro-computador (BCI, del inglés brain-computer interface) han sido aplicados en tareas como el control del cursor de un ordenador [20-22] o el guiado de una silla de ruedas [23-25], siendo el propósito de estas aplicaciones facilitar la vida a las personas con graves discapacidades motoras. También se ha probado que mediante un BCI los movimientos humanos voluntarios pueden ser predichos un segundo antes de que ocurran [26-28], y que las ondas cerebrales que adquiere y procesa un BCI contienen información sobre la fatiga [29-31] y la somnolencia [32-34] del conductor.

En este artículo se estudia el empleo un BCI para controlar un tractor agrícola. No se han encontrado en la literatura científica agrícola artículos similares al aquí presentado.

## Interfaces cerebro-computador

El cerebro es el centro del sistema nervioso y está formado por entre 15 y 33 miles de millones de neuronas, cada una de las cuales puede llegar a tener hasta 10000 sinapsis con el resto [35].

Las partes principales del cerebro son: el tronco cerebral, que controla aquellas tareas relacionadas con los reflejos y las funciones automáticas, el cerebelo, que está relacionado con el control de la posición y la realización de movimientos, el mesencéfalo, que controla las funciones de los órganos tales como el apetito o la saciedad, y el telencéfalo, que recibe información de los órganos de los sentidos, maneja la funciones motoras y cognitivas, y controla la memoria [36].

Un BCI, que algunas veces también puede ser denominado interfaz cerebro-máquina (BMI, del inglés brain-machine interface), es un sistema hardware y software que proporciona una comunicación directa entre el cerebro y un ordenador sin la intervención de los nervios periféricos ni los músculos.

El concepto de BCI fue introducido durante la primera década de los años 70, cuando se hicieron los primeros experimentos para controlar dispositivos electrónicos u ordenadores, mediante la acti-

vidad eléctrica detectada en la superficie del cuero cabelludo a través de la encefalografía (EEG) [37].

Existen otras técnicas, además de EEG, para obtener la información del cerebro, tales como la magnetoencefalografía (MEG), imagen por resonancia magnética (MRI), y tomografía por emisión de positrones (PET).

No obstante, la EEG, que mide los campos eléctricos en el cerebro mediante electrodos localizados en el cuero cabelludo, es la más usada en los BCIs porque posee una buena resolución espectral, requiere un equipamiento sencillo y barato, y no es un método invasivo [38]. También existen otros tipos de BCI menos populares, que usan MEG, imagen por resonancia magnética funcional (fMRI), o espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), entre otras técnicas de neuroimagen [39].

La Figura 1 muestra los bloques funcionales de un sistema BCI, que son el bloque de adquisición de señales, el de procesamiento, y el de control del dispositivo.

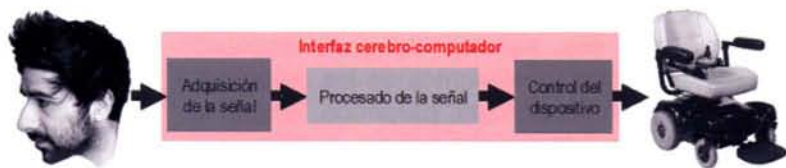


Figura 1. Diagrama de bloques de un sistema BCI

El bloque Adquisición de la señal adquiere, amplifica y digitaliza las señales de entrada. La señal de entrada es adquirida a través de unos electrodos, que pueden ser invasivos o no invasivos. Algunos de ellos pueden ser usados como electrodos que proporcionan señales de referencia. Para situar los electrodos sobre el cuero cabelludo, se sigue un estándar denominado sistema 10-20 [40] que permite la localización de hasta 74 electrodos, aunque también se utilizan otros estándares. Existen algunos estándares que localizan sobre la cabeza hasta 345 electrodos [41].

El bloque Procesado de la señal extrae la información de las señales cerebrales adquiridas por los electrodos. Esta información pueden ser extraída de las señales en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia. En función de su frecuencia, las señales se pueden clasificar en cinco tipos de ritmos cerebrales: delta (  $\delta$  ), theta (  $\theta$  ), alfa (  $\alpha$  ), beta (  $\beta$  ), y gamma (  $\gamma$  ).

Los ritmos delta pertenecen al rango de frecuencia entre 0,5 y 4 Hz, y están asociados con el sueño profundo. Las ritmos theta (  $\theta$  ) van de los 4 hasta los 7,5 Hz y están relacionados con el in-



consciente, la inspiración creativa, y la meditación profunda. Los ritmos alfa se encuentran localizados en la mitad posterior de la cabeza y su frecuencia se extiende de los 8 hasta los 13 Hz. Estos ritmos se relacionan con un estado de relajación en el cual se están realizando tareas que no requieren atención ni concentración importante.

La mayoría de las personas aumentan la amplitud de los ritmos alfa cuando cierran los ojos, mientras que la reducen cuando abren los ojos o permanecen en un estado de ansiedad, de concentración mental, o de atención. Los ritmos beta se encuentran entre los 14 y 26 Hz y están asociados con el razonamiento, con la atención activa hacia el entorno o con la resolución de problemas. Es posible detectar elevadas amplitudes de los ritmos beta en estados de pánico. Por último, los ritmos gamma se encuentran en el rango de frecuencias por encima de los 30 Hz. Estos ritmos están relacionados con ciertos movimientos como los de los dedos o los de la lengua [42].

Al mismo tiempo que los electrodos miden los ritmos cerebrales, es posible que también recojan artefactos, que son señales de gran amplitud originadas por los movimientos de los músculos del cuello, mandíbula, ojos, párpados, lengua y cara [42]. Los artefactos pueden ser usados para obtener información sobre los movimientos del usuario, pero otras veces tienen que ser eliminadas de las señales EEG antes de la detección de los fenómenos cerebrales [43-45].

Los BCIs emplean técnicas de clasificación para el procesamiento de las señales adquiridas por los electrodos. Entre estas técnicas se encuentran el análisis estadístico [46], las soluciones basadas en el teorema de Bayes [47], las redes neuronales [48], el análisis en tiempo y frecuencia [49], y los modelos paramétricos [50]. El bloque dedicado al procesamiento de las señales es la parte más compleja de los sistemas BCI, ya que debe procesar conjuntamente las señales adquiridas por todos los electrodos. Además, la señal de cada electrodo puede estar compuesta a su vez por la superposición de un gran número de señales, que pueden estar localizadas en la misma frecuencia o en distintas frecuencias, y que proceden de diferentes partes del cerebro.

El bloque Control del dispositivo representa las tareas que el sistema ordena en función de los eventos producidos en el cerebro del usuario. Este bloque de control del dispositivo tiene que ser diseñado específicamente para la aplicación en la que el BCI se va a emplear.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. El equipo Emotiv EPOC

El equipo Emotiv EPOC es un BCI de bajo coste que consta de (i) un casco electrónico que adquiere y pre-procesa las señales EEG del usuario, y de (ii) un kit de desarrollo software (SDK) para procesar e interpretar dichas señales. Se puede adquirir este equipo directamente desde la web del fabricante por menos de 600 euros [51].

El casco electrónico mide las señales cerebrales mediante 14 sensores salinos situados sobre el cuero cabelludo del usuario. Además de estos 14 sensores, el casco posee dos giróscopos internos que proporcionan información sobre la posición y movimiento de la cabeza del usuario. La información recogida por el casco se transmite de manera inalámbrica a un PC por medio de un receptor USB.

El software proporcionado por Emotiv se puede dividir en dos partes bien diferenciadas. Por un lado se encuentra un conjunto de aplicaciones que procesan las señales cerebrales y que pueden ser empleadas para entrenar el sistema o probar el casco. Por otro lado se facilita una API para permitir a los desarrolladores implementar aplicaciones que empleen la información de la actividad cerebral detectada por el equipo.

El equipo Emotiv EPOC puede detectar y procesar señales cerebrales que pertenezcan a las bandas de frecuencias delta, theta, alfa y beta. Con la información encontrada en estas señales, es posible detectar expresiones, emociones, y acciones cognitivas realizadas por el usuario. Las expresiones se relacionan con los movimientos de la cara. La mayoría de estos movimientos tienen que ser entrenados por el usuario. Con los datos obtenidos en el entrenamiento se mejora la precisión en la detección de estas acciones. No es necesario entrenar las expresiones que involucren acciones de los ojos o que estén relacionadas con ellos tales como el parpadeo, el guiño, o mirar a la izquierda o derecha.

Las emociones detectables por el equipo EPOC son el estado de atención hacia una tarea y el nivel de excitación instantánea o a largo plazo. No es necesario entrenar ninguna de ellas.

Por último, el equipo EPOC puede interpretar hasta 13 acciones cognitivas. Es posible detectar la imaginación de movimientos direccionales tales como empujar, tirar, izquierda, derecha, arriba, abajo, la rotación de objetos en sentido horario, antihorario, hacia la derecha, hacia la izquierda, hacia



adelante, o hacia atrás, y una acción especial relacionada con la imaginación de que un objeto desaparece de la mente del usuario.



La Figura 2(a) muestra una fotografía del casco fabricado por Emotiv. La Figura 2(b) muestra cómo se informa al usuario de la calidad de los contactos mediante colores intuitivos. Esta imagen está tomada de una impresión de pantalla de una de las aplicaciones desarrolladas por Emotiv.

Se diseñó una caja controladora para controlar el giro del volante y guiar las ruedas del tractor de acuerdo a las órdenes enviadas desde el ordenador portátil [52]. Para lograr el ángulo de giro deseado, la caja empleaba lógica difusa para calcular el ancho de pulso de la señal PWM que alimentaba al motor DC, teniendo en cuenta para dicho cálculo los ángulos de giro real y deseado de la dirección del tractor. Esta caja controladora medía el ángulo de giro de las ruedas mediante un encoder magnético.

Se utilizó un receptor GPS Trimble R4 para medir las trayectorias de referencia utilizadas para la realización de las pruebas detalladas en la sección de resultados. Este receptor GPS también se empleó para llevar a cabo el guiado del tractor de forma autónoma. La precisión del GPS se mejoró empleando correcciones diferenciales RTK recibidas de una estación virtual de referencia (VRS) gestionada por el ITACyL, un instituto agrario español. La precisión obtenida con estas correcciones es aproximadamente 2 cm.

La aplicación de guiado del tractor se ejecutó en un ordenador portátil, el cual (i) obtenía la información del BCI sobre la actividad del cerebro, (ii) enviaba comandos de dirección a la caja de control, y (iii) almacenaba la trayectoria seguida a partir de los datos de posición del GPS.

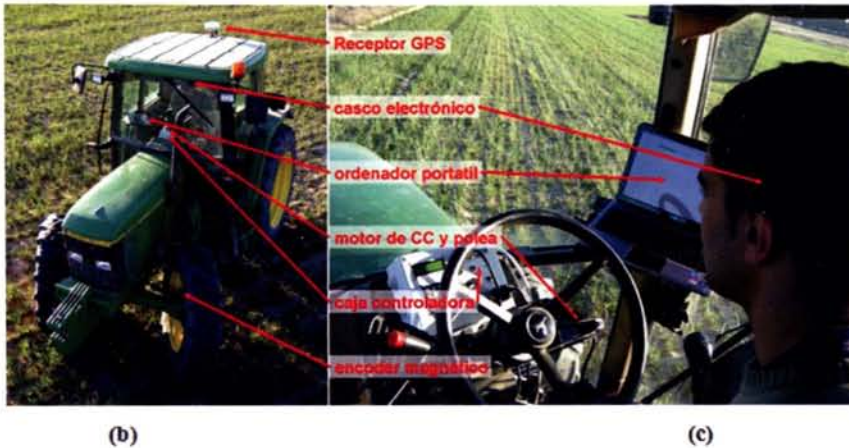
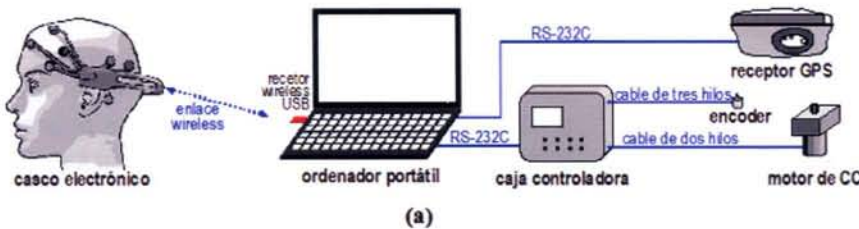


Figura. (a) El casco electrónico y receptor wireless Emotiv EPOC. (b) Imagen en la que se muestra cómo se informa al usuario mediante colores sobre la calidad de los contactos.

### 3.2. Dispositivos físicos del sistema

La Figura 3(a) muestra los dispositivos físicos utilizados en la realización del estudio realizado, así como las conexiones entre estos dispositivos. Todos estos componentes se montaron sobre un tractor agrícola John Deere 6400 (Figura 3(b) y Figura 3(c)).

Se utilizó el BCI comercial Emotiv EPOC [51] como elemento fundamental del sistema desarrollado para la realización del estudio. Para el control de la dirección del tractor se utilizó un motor de corriente continua Maxon RE-30, unido mediante una polea al volante del tractor. La alta velocidad del motor DC se adaptó a la velocidad requerida por el volante del tractor mediante una reductora.

### 3.3. Software del sistema desarrollado

El equipo Emotiv EPOC incluye una API en C++ que permite la comunicación con el casco, la recepción de la señal EEG pre-procesada y los datos del giroscopio, la gestión de un usuario específico, el uso de un determinado perfil, la realización de un post-procesamiento de las señales adquiridas por los electrodos, y la transformación de los resultados detectados en una única estructura compacta llamada EmoState.

La API de Emotiv se puede abstraer en un ente lógico denominado EmoEngine, que realiza todo el procesamiento de los datos procedentes del casco. El EmoEngine se proporciona con la librería



de enlace dinámico edk.dll y su diagrama de bloques se muestra en la Figura 4.

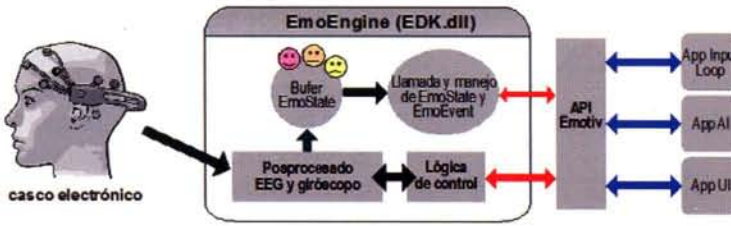


Figura 4. Diagrama de la integración del EmoEngine y la API de Emotiv con la aplicación.

El equipo Emotiv EPOC, a través de la API de Emotiv, proporciona a la aplicación externa información sobre el tipo de evento que el BCI ha estimado a partir de la actividad cerebral del usuario. Asimismo, informa también de la potencia del evento, que representa el grado de certeza en la estimación del evento. En el caso de no detectar ningún tipo de acción en la actividad cerebral, proporciona a la aplicación un evento neutral.

La aplicación software para recibir la información procesada del cerebro del usuario a través de la API de Emotiv se desarrolló en C++. Esta aplicación guiaba el tractor por medio de la caja controladora teniendo en cuenta los eventos recibidos del EmoEngine. Antes de llevar a cabo el guiado era

- El usuario mira a la derecha mientras mantiene su mandíbula abierta.
- El usuario mira a la izquierda mientras mantiene su mandíbula cerrada.
- El usuario mira a la derecha mientras mantiene su mandíbula cerrada.

Puesto que estos eventos son cognitivos, fue necesario su entrenamiento por el usuario. Durante el proceso de entrenamiento, el EmoEngine analiza las señales cerebrales del conductor para extraer de la actividad cerebral del usuario patrones distintivos de cada evento, así como del estado neutral, en el cual no se realiza ninguna acción. Estos patrones que caracterizan cada evento se almacenan en la memoria del EmoEngine. Luego, durante el proceso de guiado del tractor, el EmoEngine analiza en tiempo real las señales cerebrales buscando patrones que coincidan con algunos de los patrones almacenados en la memoria del EmoEngine, y cuando esto sucede, comunica a la aplicación que ha tenido lugar un evento específico, informando también sobre su intensidad.

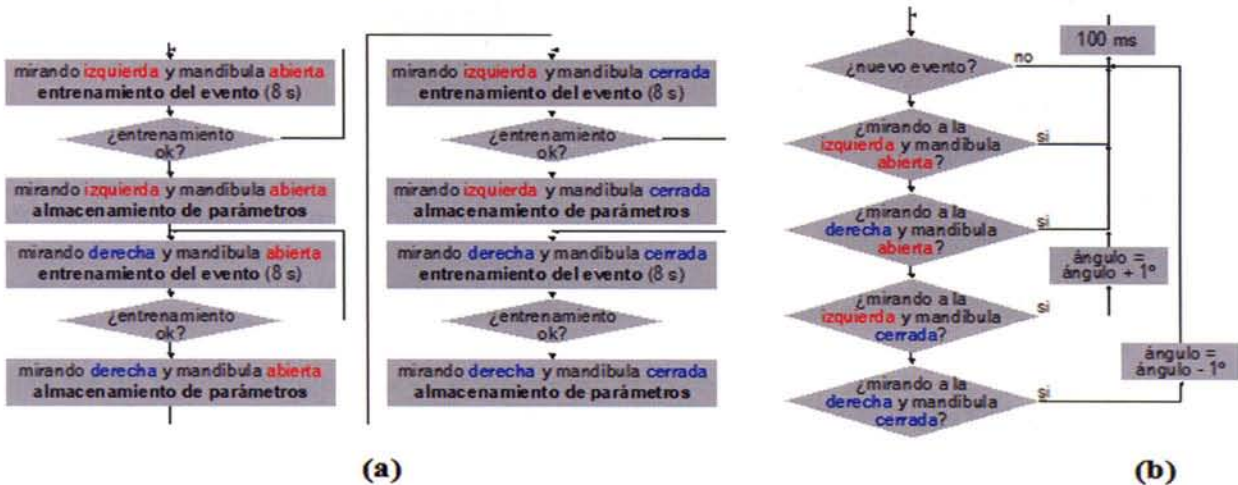


Figura 5. Diagrama de flujo simplificado (a) del sistema de entrenamiento de los cuatro eventos que el BCI tiene que detectar, y (b) del sistema que realiza el guiado a través de los eventos transmitidos por el usuario.

necesario que el usuario entrenara algunos eventos para permitir al sistema la detección de los mismos. La aplicación se diseñó para que, de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 5(a), permitiera entrenar algunos eventos, y luego, de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 5(b), operara con estos eventos para dirigir el tractor. Los eventos elegidos en la aplicación desarrollada fueron:

- El usuario mira a la izquierda mientras mantiene su mandíbula abierta.

En la Figura 6 se muestra un diagrama de secuencia simplificado de la comunicación entre la aplicación creada y la API de Emotiv, y la comunicación entre la API y el EmoEngine. Esta comunicación se lleva a cabo en tres etapas: la etapa de inicialización, la etapa de entrenamiento, y la etapa de detección y funcionamiento.

La etapa de iniciación crea un hilo principal que es el responsable de llevar a cabo la inicialización, se encarga de actualizar de forma periódica los es-



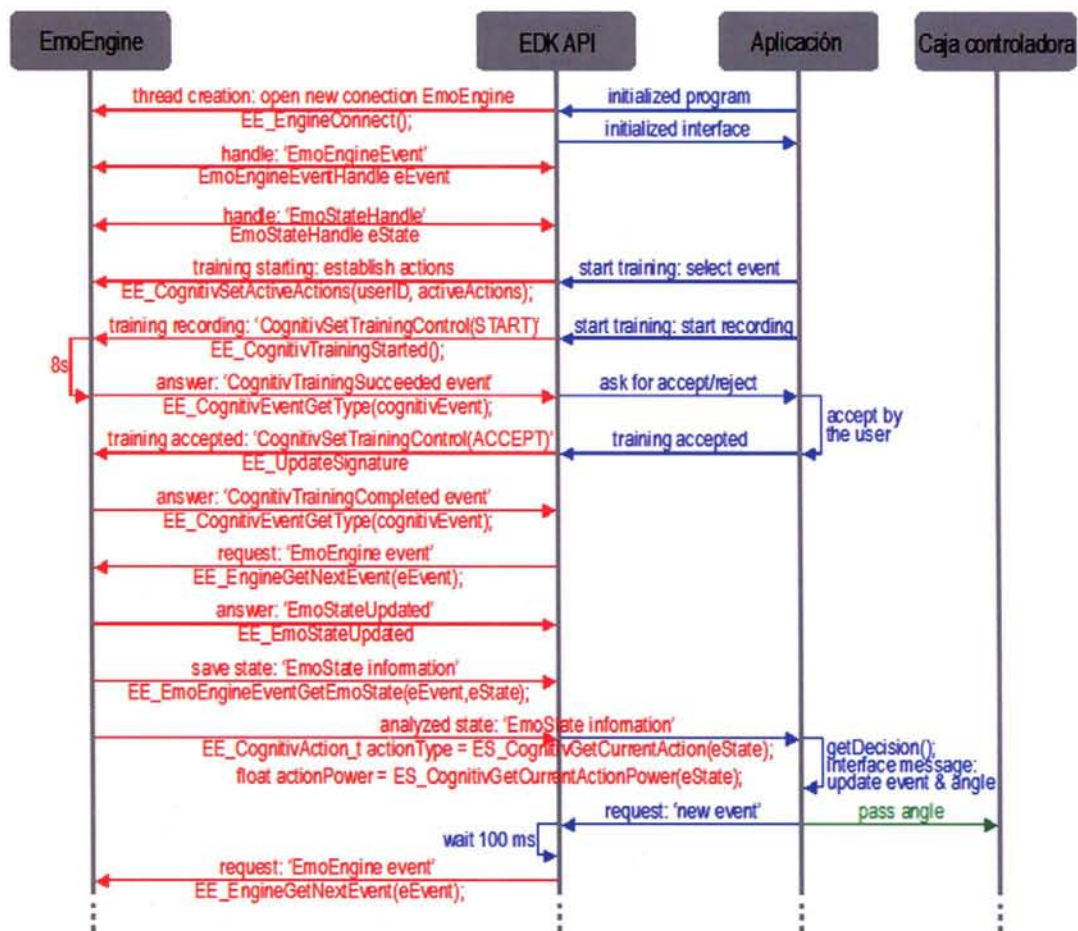


Figura 6. Diagrama de secuencia simplificado de la aplicación en el que se detalla la comunicación entre la aplicación y el EPOC de Emotiv. Este diagrama muestra solamente el entrenamiento para un único evento, en lugar de para los cuatro eventos que emplea la aplicación desarrollada.

tados, y espera nuevos eventos de la interfaz gráfica. A su vez, se crea otro hilo encargado de manejar los eventos procedentes del Emotiv EPOC. Este hilo abre una nueva conexión con el EmoEngine, y una vez que esta conexión está abierta, crea en la memoria dos manejadores llamados eEvent y eState, que se utilizarán para determinar cuál ha sido el evento detectado por el Emotiv EPOC.

La etapa de entrenamiento se divide en tres fases:

1. Se seleccionan las acciones que el usuario, identificado por userID, va a entrenar, mediante:

```
EE_CognitivSetActiveActions(userID, activeActions1 | activeActions2 | ... );
```

Entonces, el usuario selecciona una de estas acciones, que están asociadas con un identificador nChoice. Para iniciar el entrenamiento, se pasa al EmoEngine este identificador para indicar la acción

que el usuario desea entrenar. Esto se hace con el comando:

```
EE_CognitivSetTrainingAction(userID, m_activeActions[nChoice]);
```

2. Cuando el usuario está preparado para imaginar o visualizar la acción que quiere entrenar, presiona el botón de comienzo de entrenamiento. Durante el proceso de entrenamiento, el usuario tiene que permanecer concentrado 8 segundos en la acción que pretende entrenar. La aplicación ejecuta el siguiente comando cuando el usuario pulsa el botón de comienzo de entrenamiento:

```
EE_CognitivSetTrainingControl(userID, COG_START);
```

3. Finalmente, cuando finalizan los 8 segundos del entrenamiento, se solicita al usuario que acepte o rechace el entrenamiento. En el caso de que se acepte, los datos recogidos durante el entrenamiento son guardados en el EmoEngine. La aplicación espera a recibir del EmoEngine el evento



EE\_CognitivTrainingCompleted, que indica que se ha finalizado el entrenamiento, con:

```
EE_CognitivEvent_t eventType = EE_CognitivEventGetType(cognitivEvent);
```

Cuando se producen varios entrenamientos para un mismo evento aumenta la precisión en la detección de dicho evento por el equipo Emotiv EPOC.

La etapa de detección y funcionamiento se encarga de guiar el tractor empleando para ello los siguientes pasos:

1. Se inicia un bucle que obtiene y analiza cada tipo de evento. Este evento es solicitado al EmoEngine con el siguiente comando:

```
EE_EngineGetNextEvent(eEvent);
```

El EmoEngine responderá al comando anterior enviando un determinado evento que puede ser EE\_UserAdded, EE\_UserRemoved, EE\_EmoStateUpdated, o EE\_CognitivEvent entre otros. La aplicación actuará en función del evento recibido. Por ejemplo, cuando se reciba el mensaje EE\_CognitivEvent indicando que ha ocurrido un evento cognitivo, la aplicación obtiene qué tipo de evento cognitivo ha ocurrido con el comando:

```
EE_CognitivEvent_t eventType = EE_CognitivEventGetType(cognitivEvent);
```

2. Cuando se detecta un nuevo evento en el BCI, el EmoEngine envía a la aplicación un mensaje EE\_EmoStateUpdated. La aplicación copia la información del evento desde el manejador del evento eEvent al buffer EmoState eState con el comando:

```
EE_EmoEngineEventGetEmoState(eEvent, eState);
```

3. La aplicación software también obtiene el tipo y la intensidad del evento que ha ocurrido con los comandos:

```
EE_CognitivAction_t actionType = ES_CognitivGetCurrentAction(eState);  
Float actionPower = ES_CognitivGetCurrentActionPower(eState);
```

4. Con las variables obtenidas en el paso anterior, la aplicación llama a la función getDecision(), que dependiendo del ángulo anterior y el tipo de evento que ha sucedido, calcula el nuevo ángulo que se tiene que enviar a la caja controladora. Este ángulo se envía a través del puerto serie llamando a la función Girar(). Además, se actualiza la inter-

faz de manera que se muestra el tipo de evento detectado y el ángulo que se está enviando a la caja controladora.

Cuando el usuario desea finalizar el guiado del tractor y cerrar la aplicación, el hilo principal recibe una notificación de finalización de la interfaz gráfica y se libera la memoria del EmoEngine con los comandos:

```
EE_EmoStateFree(eState);
```

```
EE_EmoEngineEventFree(eEvent);
```

Después de liberar los recursos, se terminan los dos hilos de la aplicación. En el caso de que no se reciba esta notificación, la aplicación espera durante 100 ms, y ejecuta una nueva iteración del bucle para detectar un nuevo evento.

### 3.4. Métodos

Este estudio compara el guiado del tractor con BCI con otros dos métodos habituales que se utilizan para el guiado de un tractor: guiado manual y guiado autónomo mediante GPS. Tanto el guiado del tractor a través del BCI como el guiado manual fueron probados por todos los autores del artículo, los cuales fueron entrenados para usar el BCI antes de realizar el guiado. Ninguna de estas personas estaba discapacitada. Durante las pruebas la velocidad fue aproximadamente 1 m/s.

Las trayectorias utilizadas para la comparación de los métodos de guiado fueron (i) una recta con una longitud mayor de 50 m, (ii) una recta con un salto escalón de 10 m, y (iii) una circunferencia de 15 m de radio. Las tres trayectorias se marcaron sobre el suelo con una azada, tomando como referencias algunos puntos de referencia proporcionados por el receptor GPS. De esta forma, los conductores podían realizar el seguimiento de las trayectorias con el guiado manual y con el BCI, tomando como referencia la línea marcada en el suelo, y gracias al receptor GPS se pudo medir la precisión alcanzada en los ensayos con respecto a la trayectoria real. Para el guiado autónomo por GPS las trayectorias se programaron en el ordenador.

La ley de control empleada para el guiado autónomo es la que se representa en la Ecuación (1). En esta ecuación,  $\theta$  es el ángulo de dirección,  $x$  es la distancia entre el tractor y la trayectoria deseada,  $\alpha$  es la diferencia entre la orientación del tractor y la orientación de la trayectoria,  $L$  es la longitud entre los ejes del tractor, y  $k_1$ ,  $k_2$  son las ganancias de control [5, 12, 15].



## Resultados y discusión

### 4.1. Resultados experimentales

Cada uno de los cuatro conductores entrenó el sistema para que fuera capaz de detectar cuatro eventos del cerebro. Estos eventos se utilizaron para el guiado con el BCI a lo largo de las tres trayectorias definidas. Los cuatro eventos entrenados fueron: el movimiento hacia la izquierda de los ojos con la mandíbula cerrada, el movimiento hacia la derecha de los ojos con la mandíbula cerrada, el movimiento hacia la izquierda de los ojos con la mandíbula abierta, y el movimiento hacia la derecha de los ojos con la mandíbula abierta.

La intención inicial era entrenar únicamente los primeros dos eventos de los cuatro, sin embargo, durante las pruebas reales se observó que el tractor giraba aun cuando el conductor no lo deseaba, debido a que había desviado involuntariamente su mirada hacia la derecha o la izquierda. Por esta razón, se decidió que el usuario proporcionara información adicional para que el sistema supiera si el usuario realmente deseaba o no girar el tractor. Se decidió entonces que fuera necesario apretar ligeramente las mandíbulas en el caso de que se quisiera variar la trayectoria del tractor, y mantener la mandíbula relajada cuando no se pretendía girar la dirección del tractor a través del BCI.

Las pruebas reales se realizaron en Pozal de Gallinas, Valladolid, España, en marzo de 2011, con las trayectorias y metodología descritas en la sección Métodos. La Ecuación (1) describe la ley de control utilizada para el guiado automático con GPS. El ajuste de esta ley de control se realizó experimentalmente. Las constantes obtenidas fueron  $k_1=0.1$  y  $k_2=0.35$ . La Figura 7 muestra los resultados obtenidos para uno de los conductores. Los resultados de los otros tres conductores fueron similares. Para la realización del guiado con el BCI fue necesaria la máxima concentración del conductor, puesto que cualquier distracción del conductor producía desviaciones muy importantes de la trayectoria. En algunas ocasiones, debido a estas imprecisiones, fue necesario repetir las pruebas para obtener una precisión razonable en el guiado.

Como se puede observar en las trayectorias de la Figura 7, la precisión en el guiado con el BCI fue inferior a la obtenida con el guiado manual, y ésta a su vez inferior a la obtenida con el guiado autónomo por GPS. Esto se confirma calculando la desviación típica del error instantáneo en el guiado. Las desviaciones típicas fueron 0.16, 0.09 y 0.04

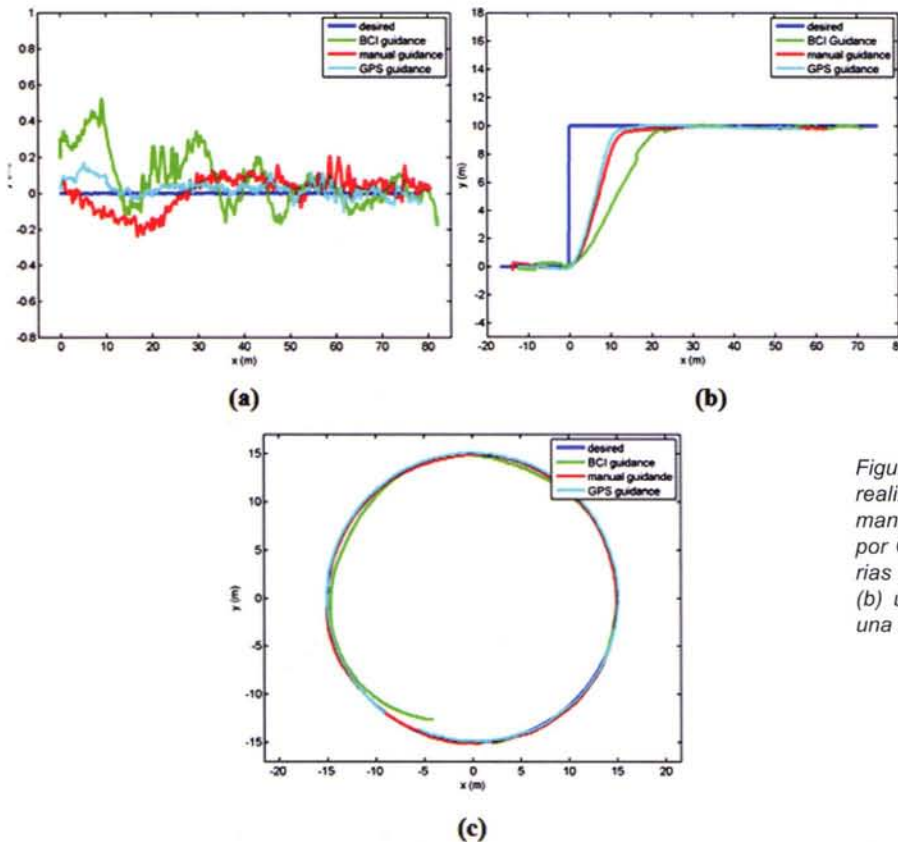


Figura 7. Pruebas reales de guiado realizadas con el BCI, con guiado manual, y con guiado automático por GPS, tomando como trayectorias deseadas (a) una línea recta, (b) una trayectoria escalón, y (c) una circunferencia.



m para el guiado con el BCI, el guiado manual, y el guiado autónomo con el GPS, respectivamente.

#### 4.2. Discusión

Los resultados de las pruebas en el guiado a través del BCI (i) hay una menor precisión, (ii) es necesario un mayor tiempo de entrenamiento, y (iii) se requiere que el usuario permanezca muy concentrado. La mejor precisión conseguida en el guiado con BCI es menor que la obtenida con el guiado manual, que es a su vez menor que la alcanzada usando el GPS. El guiado a través de BCI requiere que el usuario siga un largo entrenamiento antes de conseguir pruebas satisfactorias. Los conductores tuvieron que estar muy concentrados para seguir con éxito las trayectorias guiando el tractor mediante el BCI. Por otra parte, las leyes estatales de tráfico no permiten circular al tractor en las condiciones que se presenta en el artículo. Todo ello indica que este estudio podría no ser interesante para un agricultor.

No obstante, las pruebas realizadas y el estudio del estado del arte presentado anteriormente, llevan a pensar en cuatro posibles ventajas de la tecnología BCI, que podrían hacer atractivo el guiado mediante estos dispositivos. Primero, es posible detectar la fatiga [29-31] o la somnolencia [32-34] gracias a las señales recogidas por el BCI.

Esto podría ser empleado para monitorizar el nivel de concentración del conductor, y sugerir la parada del vehículo cuando fuese necesaria. De esta manera podría conseguirse incrementar la seguridad del agricultor. Segundo, con la información de la actividad cerebral, el BCI podría anticipar algunas situaciones donde el tractor tenga que ser detenido de manera inmediata. Investigaciones anteriores indican que es posible detectar movimientos voluntarios con más de medio segundo de antelación analizando la actividad cerebral [26-28].

Esta segunda ventaja también podría contribuir hacer más seguro el trabajo del agricultor. Tercero, es posible que en un futuro el guiado de tractores con BCIs pueda permitir a los agricultores conducir más confortablemente ya que no requiere mover los brazos. Finalmente, teniendo en cuenta tanto los resultados obtenidos en investigaciones médicas donde se ha conseguido el guiado de sillas de ruedas, como las pruebas realizadas en este proyecto, es posible pensar que los BCIs puedan hacer que personas con graves discapacidades físicas sean capaces de conducir tractores con el pensamiento.

#### Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que el guiado de tractores a través de un BCI es técnica-

mente viable, pero ofrece una menor precisión que el guiado manual o el guiado automático con GPS. Además, mediante el guiado con BCI los conductores deben estar completamente concentrados para guiar al tractor sin desviarse de la trayectoria deseada.

El estado del arte de la investigación en EEG y la tecnología BCI sugiere que en el futuro, las señales cerebrales del conductor de un tractor podrían ser adquiridas y procesadas para (i) detectar la fatiga o somnolencia y sugerir al conductor descansos, (ii) anticipar la reacción del conductor en situaciones especiales en las que el tractor deba ser inmediatamente detenido, (iii) permitir un menor esfuerzo en la conducción gracias a la no necesidad de movimiento del brazo, y (iv) permitir que personas con graves discapacidades físicas puedan conducir tractores con el pensamiento.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Junta de Castilla y León a través del Proyecto de Investigación VA034A10, del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación a iniciar en el año 2010. También ha sido parcialmente financiado por el Instituto Tecnológico de Castilla y León a través del proyecto con título Realidad aumentada, BCI y correcciones RTK en red para el guiado GPS de tractores (ReAuBiGPS), de la Convocatoria del 2008 de Proyectos de I+D+I en el marco de los convenios de colaboración entre ITACyL y las Universidades de León, Salamanca y Valladolid, en el ámbito de las Geotecnologías.

#### Referencias

1. Renius, K.T. *Trends in Tractor Design with Particular Reference to Europe*. *J. Agr. Eng. Res.* 1994, 57, 3-22.
2. Göhlich, H. *The development of tractors and other agricultural vehicles*. *J. Agr. Eng. Res.* 1984, 29, 3-16.
3. O'Connor, M.; Bell, T.; Elkaim, G.; Parkinson, B. *Automatic Steering of Farm Vehicles Using GPS*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, MN, USA, June 1996; pp.
4. Cho, S.I.; Lee, J.H. *Autonomous Speedsprayer using Differential Global Positioning System, Genetic Algorithm and Fuzzy Control*. *J. Agric. Eng. Res.* 2000, 76, 111-119.
5. Stoll, A.; Dieter Kutzbach, H. *Guidance of a Forage Harvester with GPS*. *Precis. Agric.* 2000, 2, 281-291.
6. Thuilot, B.; Cariou, C.; Martinet, P.; Berducat, M. *Automatic Guidance of a Farm Tractor Relying on a Single CP-DGPS*. *Auton. Robot.* 2002, 13, 53-71.
7. Gan-Mor, S.; Clark, R.L.; Upchurch, B.L. *Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance*. *Comput. Electron. Agric.* 2007, 59, 31-38.
8. Gerrish, J.B.; Fehr, B.W.; Ee, G.R.V.; Welch, D.P. *Self-steering tractor guided by computer-vi-*



sion. *Appl. Eng. Agric.* 1997, 13, 559-563.

9. Cho, S.I.; Ki, N.H. Autonomous speed sprayer guidance using machine vision and fuzzy logic. *Trans. ASABE* 1999, 42, 1137-1143.

10. Benson, E.R.; F., R.J.; ZHANG, Q. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. *Trans. ASABE* 2003, 46, 1255-1264.

11. Kise, M.; Zhang, Q.; Rovira Más, F. A Stereovision-based Crop Row Detection Method for Tractor-automated Guidance. *Biosyst. Eng.* 2005, 90, 357-367.

12. Noguchi, N.; Ishii, K.; Terao, H. Development of an Agricultural Mobile Robot using a Geomagnetic Direction Sensor and Image Sensors. *J. Agr. Eng. Res.* 1997, 67, 1-15.

13. Zhang, Q.; Reid, J.F.; Noguchi, N. Agricultural vehicle navigation using multiple guidance sensors. In *Proceedings of the International Conference of Field and Service Robotics*, Pittsburgh, PA, USA, 1999; pp. 293-298.

14. Pilarski, T.; Happold, M.; Pangel, H.; Ollis, M.; Fitzpatrick, K.; Stentz, A. The Demeter System for Automated Harvesting. *Auton. Robot.* 2002, 13, 9-20.

15. Nagasaka, Y.; Umeda, N.; Kanetai, Y.; Tanikawa, K.; Sasaki, Y. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. *Comput. Electron. Agric.* 2004, 43, 223-234.

16. Murakami, N.; Ito, A.; Will, J.D.; Steffen, M.; Inoue, K.; Kita, K.; Miyaura, S. Development of a teleoperation system for agricultural vehicles. 2008, 63, 81-88.

17. Slaughter, D.C.; Giles, D.K.; Downey, D. Autonomous robotic weed control systems: A review. *Comput. Electron. Agric.* 2008, 61, 63-78.

18. Santana-Fernández, J.; Gómez-Gil, J.; del-Pozo-San-Cirilo, L. Design and Implementation of a GPS Guidance System for Agricultural Tractors Using Augmented Reality Technology. *Sensors* 2010, 10, 10435-10447.

19. Rovira-Más, F. Sensor Architecture and Task Classification for Agricultural Vehicles and Environments. *Sensors* 2010, 10, 11226-11247.

20. Fabiani, G.E.; McFarland, D.J.; Wolpaw, J.R.; Pfurtscheller, G. Conversion of EEG activity into cursor movement by a brain-computer interface (BCI). *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2004, 12, 331-338.

21. Huang, D.; Lin, P.; Fei, D.-Y.; Chen, X.; Bai, O. Decoding human motor activity from EEG single trials for a discrete two-dimensional cursor control. *J. Neural Eng.* 2009, 6, 046005.

22. McFarland, D.J.; et al. Electroencephalographic (EEG) control of three-dimensional movement. *J. Neural Eng.* 2010, 7, 036007.

23. Galán, F.; Nuttin, M.; Lew, E.; Ferrez, P.W.; Vanacker, G.; Phillips, J.; Millán, J.d.R. A brain-actuated wheelchair: Asynchronous and non-invasive Brain-computer interfaces for continuous control of robots. *Clin. Neurophysiol.* 2008, 119, 2159-2169.

24. Perrin, X.; Chavarriaga, R.; Colas, F.; Siegrwart, R.; Millán, J.d.R. Brain-coupled interaction for semi-autonomous navigation of an assistive robot. *Robot. Auton. Syst.* 2010, 58, 1246-1255.

25. Millan, J.R.; Renkens, F.; Mourino, J.; Gerschner, W. Noninvasive brain-actuated control of a mobile robot by human EEG. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2004, 51, 1026-1033.

26. Bai, O.; Rathi, V.; Lin, P.; Huang, D.; Bhattapady, H.; Fei, D.; Schneider, L.; Houdayer, E.; Chen, X.; Hallett, M. Prediction of human voluntary movement before it occurs. *Clin. Neurophysiol.* 2011, 122, 364-372.

27. Funase, A.; Yagi, T.; Kuno, Y.; Uchikawa, Y. Prediction of eye movements from EEG. In *Proceedings of the 6th International Conference on Neural Information Processing*, (ICONIP '99). Perth, Austria, November 1999; pp. 1127-1131.

28. Morash, V.; Bai, O.; Furlani, S.; Lin, P.; Hallett, M. Classifying EEG signals preceding right hand, left hand, tongue, and right foot movements and motor imagines. *Clin. Neurophysiol.* 2008, 119, 2570-2578.

29. Zhao, C.; Zheng, C.; Zhao, M.; Tu, Y.; Liu, J. Multivariate autoregressive models and kernel learning algorithms for classifying driving mental fatigue based on electroencephalographic. *Expert Syst. Appl.* 2011, 38, 1859-1865.

30. Jap, B.T.; Lal, S.; Fischer, P.; Bekiaris, E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Syst. Appl.* 2009, 36, 2352-2359.

31. Chin-Teng, L.; Li-Wei, K.; Chung, I.F.; Teng-Yi, H.; Yu-Chieh, C.; Tzyy-Ping, J.; Sheng-Fu, L. Adaptive EEG-Based Alertness Estimation System by Using ICA-Based Fuzzy Neural Networks. *IEEE T. Circuits-I* 2006, 53, 2469-2476.

32. Chin-Teng, L.; Yu-Chieh, C.; Teng-Yi, H.; Tien-Ting, C.; Li-Wei, K.; Sheng-Fu, L.; Hung-Yi, H.; Shang-Hwa, H.; Jeng-Ren, D. Development of Wireless Brain Computer Interface With Embedded Multitask Scheduling and its Application on Real-Time Driver's Drowsiness Detection and Warning. 2008, 55, 1582-1591.

33. De Rosario, H.; Solaz, J.S.; Rodri; x; guez, N.; Bergasa, L.M. Controlled inducement and measurement of drowsiness in a driving simulator. 2010, 4, 280-288.

34. Eoh, H.J.; Chung, M.K.; Kim, S.-H. Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. 2005, 35, 307-320.

35. Pelvig, D.P.; Pakkenberg, H.; Stark, A.K.; Pakkenberg, B. Neocortical glial cell numbers in human brains. *Neurobiol. Aging* 2008, 29, 1754-1762.

36. Kandel, E.; Schwartz, J.H.; Jessel, T.M. *Principles of Neural Science*, 4th edition; McGraw-Hill: Palatino, CA, USA, 2000.

37. Vidal, J.J. Toward Direct Brain-Computer Communication. *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.* 1973, 2, 157-180.

38. Wolpaw, J.R.; Birbaumer, N.; McFarland, D.J.; Pfurtscheller, G.; Vaughan, T.M. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clin. Neurophysiol.* 2002, 113, 767-791.



# Sistemas de Información Geográfica libres

## Free Geographic Information Systems

Eriberto Vanegas

Facultad Regional Granma de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Cuba

### Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica se alzan como las herramientas por excelencia para la toma de decisiones, sin embargo el nivel de explotación está por debajo de sus ventajas y potencialidades. Esto se debe principalmente a los elevados costos de las licencias de software propietarios, así como a la poca difusión. Es de esperarse que a medida que se divulguen aumenten las inversiones para su desarrollo.

Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica soportado completamente por software libre, que cuente con las funcionalidades básicas más importantes. El sistema será una solución a medida que podrá adaptarse a las diferentes aplicaciones, ideado para el consumo mínimo de recursos de hardware.

Entre los aportes fundamentales se encuentra la definición de una metodología donde se recogen las mejores prácticas de las metodologías ágiles y las propias de estos sistemas.

Además se define la arquitectura de software y las herramientas a utilizar para hacer más óptima la solución.

El sistema facilitará la solución de problemas complejos de planeamiento y gestión. Los costos solo incluirán las bases cartográficas al poderse reutilizar el hardware existente. Será una opción viable para alcanzar la obligatoria soberanía e independencia tecnológica.

**Palabras Claves:** Sistemas de Información Geográfica, Soberanía e Independencia Tecnológica, Software Libre, Solución a Medida.

### Abstract

*Geographic Information Systems stand as the tools of choice for decision making, however the*

*operating level is below its advantages and potential. This is mainly due to the high costs of Proprietary software licenses, as well as the low diffusion. It is expected that as they are disclosed will increase investments for its development.*

*This work aims at developing a Geographic Information System fully supported by free software, that has the most important basic functionalities. The system will be a customized solution that can be adapted to different applications, designed for minimum use of hardware resources.*

*Among the main contributions, it is the definition of a methodology containing the best practices of agile methodologies and the typical of these systems. It can also be define the software architecture and tools to be used, to make an optimal solution.*

*The system will facilitate the solution of complex problems of planning and management. The costs only include the geographic bases once it can be able to reuse the existing hardware. It will be a viable option to achieve the required sovereignty and independence technology.*

**Keywords:** *Geographic Information Systems, Sovereignty and Independence Technology, Free Software, tailored solutions.*

### Introducción

Hoy en día muchas instituciones y empresas invierten gran cantidad de recursos en el continuo desarrollo de bases de datos y sistemas de gestión de información. Estos permiten un mejor acceso a los datos almacenados con el objetivo de convertir los mismos en información y obtener el conocimiento que se necesita para realizar la toma de decisiones.



Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden optimizar la consulta de grandes cantidades de datos y brindar soluciones a muchos de los problemas de la gestión de la información para los diferentes campos de la actividad humana.

A pesar de las aplicaciones de estos sistemas y de las ventajas de su utilización actualmente no se realiza un uso eficiente y eficaz de este tipo de tecnología. No existe una metodología suficientemente completa para su desarrollo. El desconocimiento no ha permitido que aumenten las inversiones en estas soluciones. Los costos de las licencias de las herramientas propietarias son bastante altos por lo que muchos prefieren preservar viejos métodos al riesgo de aventurarse en el uso de las nuevas tecnologías. Muchas de estas herramientas necesitan instalarse en computadoras con buenas prestaciones, lo que se traduce en más gastos. Por otra parte las tecnologías libres no han cobrado el auge necesario para imponerse de una vez por todas.

Con este trabajo se pretende fomentar el uso eficaz y eficiente de los SIG para la mejora del proceso de toma de decisiones. Se espera lograr que aumente el interés y las inversiones para las empresas que a pesar de necesitarlos no los han incorporado como herramientas de planeamiento y gestión.

## Desarrollo

Una de las formas para evitar que los costos del desarrollo del SIG sean demasiado elevados es la utilización de herramientas libres, de esta forma solo sería necesario invertir recursos en la gestión de los datos cartográficos y en lo referente al hardware. Con respecto a este punto se pueden utilizar herramientas libres bastante ligeras que hagan un uso eficiente de los recursos de hardware con los que se cuente, tratando de que estos no sean excesivos.

### *Materiales y métodos*

Luego de realizado un estudio y comparación de las metodologías, se optó por la utilización de variantes libres. De entre las ingenieriles se seleccionó la SXP (Meneses, A). Esta define los artefactos y las tareas por cada una de las fases definidas. Es la unión de las metodologías ágiles SCRUM, para las tareas de gestión de proyecto, y XP, para llevar a cabo el proceso de desarrollo. No se utilizan las dos metodologías complementemente sino las mejores prácticas de las mismas.

Los SIG tienen sus particularidades y entre las metodologías más conocidas se encuentra la Metodología Sistemática para la implantación de Sistemas de Información Geográficos. Esta metodología contempla la implantación de un SIG como un proceso evolutivo mediante la presentación de un proyecto piloto para definir evolutivamente los requerimientos de los usuarios, hasta lograr progresivamente la implantación completa de manera exitosa. (Sánchez, E)

Para el desarrollo de la infraestructura se utilizaron ambas metodologías luego de hacer las adaptaciones necesarias y atendiendo a las características específicas del producto así al ambiente de desarrollo.

### *Definición y desarrollo de la infraestructura de software del SIG*

En la metodología para SIG y la SXP se definen un conjunto de procedimientos que sustentan la gestión de los proyectos, el proceso de ingeniería de software a seguir y la implantación del SIG.

A continuación se describen las actividades que se realizaron en cada una de las fases establecidas.

### *Gestión del proyecto*

En esta fase se establecieron los objetivos del proyecto, el calendario de las actividades, los recursos materiales y humanos necesarios, la estructura del proyecto y el sistema de control e información.

Se creó el equipo de desarrollo. Se recibió la formación necesaria en cuanto al funcionamiento y desarrollo de los SIG, así como el manejo de las herramientas a utilizar.

### *Planificación del proyecto*

Como entrada de este procedimiento se tiene la concepción inicial del producto y como parte de las actividades se realiza la Concepción del Sistema, donde se definen la misión, visión y alcance del producto, los roles que intervendrían en el desarrollo del software y las tecnologías a utilizar.

Luego se diseñó un documento basado en evaluaciones tecnológicas en cuanto a la plataforma de hardware y software. Se seleccionaron las más idóneas. Para ello se consideraron muchas de las alternativas existentes en el mercado y de tecno-



logía reciente. Prevalcieron las de código abierto y software libre, que requieren menos recursos de hardware para su buen funcionamiento.

Entre los componentes software más importantes de un SIG se encuentran los servidores de mapas, los clientes ligeros o visualizadores y el Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD).

Luego de un minucioso estudio y comparación entre las herramientas libres más utilizadas en cada una de las categorías, y a la vez con un mejor rendimiento en ambientes con pocos recursos de hardware. Se definió como servidor web el Map-server, el Openlayers como cliente ligero y el potente PostgreSQL/PostSIG como SGBD.

Además se seleccionó otra herramienta para el trabajo con las capas del SIG, el Quantum SIG que en sus últimas versiones permite la migración de los archivos shapefile a la base de datos de tipo PostSIG de manera automatizada.

Se definió que la infraestructura de software del SIG estuviera soportada por tecnología web.

Sería un portal web en el que se recogieran todos los requisitos funcionales básicos de un SIG.

Entre las herramientas, también libres, para el desarrollo de este portal se seleccionó el framework (marco de trabajo) GeoDjango, basado en lenguaje de programación Python e implementa el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador. El servidor Apache fue escogido como servidor web.

Luego de la definición de las herramientas las otras actividades importantes fueron la creación de la Lista de Reserva del Producto (LRP) donde se recogieron los requerimientos técnicos y del negocio, funciones y actualizaciones tecnológicas requeridas.

Los requerimientos técnicos fueron recogidos en las Historias de Usuarios, donde se establecieron los puntos estimados y reales. Se definió el tiempo en semanas asignadas a cada historia de usuario y el tiempo real dedicado.

Luego se realizó una valoración de los riesgos significativos del proyecto. Se definieron las posibles causas del fracaso a tener en cuenta, en la Lista de Riesgos, así como la estrategia para tratar de mitigar cada uno de ellos.

El resultado de este procedimiento fue la LRP y la Arquitectura del Sistema.

## Implementación

El propósito de este procedimiento es la implementación de un sistema listo para la entrega en una serie de iteraciones que fueron disminuyendo en la medida en que se fue refinando el producto. Primeramente se identificaron las necesidades de información en función de los objetivos de la infraestructura del SIG.

Se tomó como entrada la LRP y entre sus actividades fundamentales estuvieron la planificación de cada iteración, definición de la reserva de cada iteración, reuniones de coordinación y revisión de las iteraciones.

Otra de las actividades fue la definición del Glosario de Términos, donde se recogieron los términos que se relacionan con el sistema y la metodología utilizada, que pueden causar dudas al cliente o para un mejor entendimiento del proceso de desarrollo de software.

En este procedimiento también se procedió a la conformación de las Tareas de Ingeniería y el Cronograma de Producción. En la primera se recogieron las tareas por historias de usuarios y en la segunda las actividades realizadas en el equipo de desarrollo durante cada iteración.

### Normas y estándares

Reconociendo la importancia de la normalización y estandarización de los procesos y productos software, las mismas se tuvieron en cuenta durante todo el proceso.

#### *Open SIG Consortium (OGC)*

Mediante los diferentes estándares que se definen por la OGC se permite desacoplar la aplicación que produce la información de los clientes que la consumen multiplicando las aplicaciones y las posibilidades de explotación de dicha información en todo tipo de sistemas.

Uno de los estándares por lo que se rige el desarrollo de la infraestructura SIG es el Servidor de Mapas Web del inglés Web Map Service (WMS), implementado en el servidor de mapas.

Se cumplen además el estándar Servicio de Transformación de Coordenadas (STC) y el Servi-



cio de Procesamiento Web, que se encarga de llevar el análisis geoespacial a la web.

El trabajo en este proyecto se rigió además por la guía de normas para representar la información geográfica, ISO /TC 211 Información Geográfica / Geomática (ISO\_TC).

Por su parte OpenLayers implementa métodos estándar para el acceso a los datos geográficos como el WMS y el WFS, es una librería JavaScript orientada a objetos.

## Resultados

Como resultados de las respectivas investigaciones, del uso de las metodologías seleccionadas y del desarrollo de la infraestructura de software para los SIG están los siguientes:

\_ Adaptación de las metodologías escogidas al ambiente de desarrollo.

\_ Confección de las guías de instalación de los servidores, del gestor de bases de datos, de la herramienta SIG.

\_ Ejemplos de puesta a punto y explotación de los servidores.

\_ Toda la documentación exigida por la metodología.

\_ Paquete completo de instalación de la infraestructura de software para los SIG que incluye las guías de instalación de las herramientas, archivo ejecutable que instala todas las herramientas y librerías necesarias, plantilla de la aplicación en Django con sus mapas y capas de ejemplo y guías para la configuración de los servidores y la plantilla.

### *Discusión de los resultados*

Luego de 3 meses de trabajo se logró definir y desarrollar la infraestructura de software que debe soportar el desarrollo de varios proyectos SIG. Dos de ellos ya se encuentran en la fase de Desarrollo. Con esto se logra disminuir considerablemente el tiempo de desarrollo de los productos SIG venideros así como su despliegue, explotación y mantenimiento.

Este resultado permitirá en lo adelante facilitar la inserción de los SIG en muchas de las empresas e instituciones que aun no cuentan con todas las herramientas informáticas que les permitan realizar una toma de decisiones rápida y confiable, basada en elementos georreferenciados.

Una de los retos más importantes que tiene la infraestructura es que está pensada para instalarse en servidores con sistemas operativos libres como es el caso del GNU/Linux.

Aun muchas empresas no se encuentran preparados ni decididos a utilizar sistemas operativos libres, sin embargo quizás este pueda ser un impulso para demostrar las potencialidades del software libre y el camino hacia la soberanía e independencia tecnológica.

Se espera que este trabajo sirva como guía para el desarrollo de infraestructuras SIG en dependencia de las expectativas de los desarrolladores y necesidades de los clientes. Además que pueda ser utilizada para la implantación de cualquier tipo de SIG.

## Conclusiones

Los SIG van cobrando nuevas fuerzas a medida que los gobiernos e instituciones se hacen conscientes de la importancia de su uso.

Mediante la investigación se definieron todos los aspectos a tener en cuenta durante el desarrollo e implantación de la infraestructura de software que soporta el SIG, tomando como premisas la utilización de software libre y la poca disponibilidad de recursos computacionales en las instituciones del país a causa del boqueo económico.

## Referencias

Meneses, A, Metodología ágil para proyectos de software libre, 2009.

Sánchez, E, Una metodología Sistémica para la implantación de Sistemas de Información Geográficos.

ISO\_TC 211, Standars Guide Goegraphic Information/Ggeomatics, 2009.





# X TOPCART 2012

## CONGRESO IBEROAMERICANO DE GEOMÁTICA

## Y CIENCIAS DE LA TIERRA

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



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



# Reflexiones en torno a la práctica de la Planificación Territorial en América Latina

Héctor Cortez Yacila

Investigador-Docente de El Colegio de Tlaxcala A. C., Tlaxcala-México

## Resumen

En esta presentación se discuten algunos puntos de vista relacionados con los factores o elementos que a nuestro juicio han contribuido históricamente a restringir la plena aplicación de los postulados prácticos de la Planificación Territorial en nuestros países, a la Luz de cierta literatura producida en Latinoamérica y de cierta experiencia tenida en México.

Se afirma que existen dos grandes tendencias en la crítica a la Planificación Territorial asociada con las debilidades de ésta como disciplina y como acción política, siendo la más importante aquella que proviene del campo ideológico de su concepción como acción política. Sin embargo, aquella que proviene del ámbito de la evolución de los conceptos tiene también un valor específico que podría ayudar a entender tal fenómeno, relacionado con los conceptos de espacio y territorio y sus derivaciones de espacialidad y territorialidad.

Se enfatiza en la relación existente entre los objetivos de los Planes y la tendencia de las relaciones globales que persisten y caracterizan a los territorios actuales, en franca dependencia estructural entre ellos, más que simples relaciones interterritoriales o espaciales. Tales relaciones se expresan en evidentes contradicciones que no son considerados en los Planes Territoriales y que contribuyen a reproducir situaciones adversas en la aplicación de tales Planes, muy lejos de la llamada homogeneidad en la ocurrencia de fenómenos sociales.

Otro aspecto que se discute es la propuesta de prácticas socializadas de las medidas de transformación que perseguiría la Planificación Territorial, las cuales nacerán en el seno mismo de la sociedad considerando su estructuración, funciones y capacidades diferentes de los actores para revertir situaciones adversas, aunque estén colmadas de contradicciones. En este contexto, se afirma que

la fortaleza del planificador radica en emprender esfuerzos para concertar voluntades y asignar responsabilidades con éxito, lo cual es posible que no sea función directa de la sofisticación de equipos ni de modelos algorítmicos, sino más bien de identidad, voluntad y ética.

## Reflexiones en torno a la práctica de la Planificación Territorial en Latam

De acuerdo con cierta tendencia en el abordaje de la Planificación Territorial, ésta nace como necesidad de aplicar una acción política ordenadora que corrija las incongruencias y la reproducción de elementos que desestructuran los territorios. La generalidad de los análisis de estas propuestas coinciden en señalar que tales elementos desestructurantes generan fuertes fenómenos espaciales promovidos fundamentalmente por las prácticas aceleradas de distribución, de redistribución y de apropiación de la naturaleza y de los recursos en general, incluyendo la renta, los bienes y servicios, los factores productivos y los medios de producción económica y de reproducción social.

En su devenir histórico, la planificación ha tomado vigencia en varias coyunturas en los países de Latinoamérica bajo modelos adaptados sobre todo de la experiencia europea. En las décadas de los 50s, 60s y 70s, cuando dominaba la visión keynesiana del estado del bienestar, se formulaban en Latinoamérica muy ilustrados documentos técnicos llamados Planes de Desarrollo Territorial, que mantenían al menos ciertas relaciones con la Planificación Económica e intervención del Estado en la sociedad y en la economía; todo ello en el marco de los Sistemas de Planificación Nacional liderados por los Institutos Nacionales de Planificación, que por lo demás eran ya inoperantes y burocratizados, sirviendo casi exclusivamente a los centros nodales o grandes concentraciones territoriales que eran con frecuencia las ciudades capitales de los países, dejando abandonado y a su suerte al resto de los territorios nacionales que sufrían in-



tensos procesos de despoblamiento y contracción económica como consecuencia de la escasa o nula productividad existente principalmente en el sector primario. Se debatían entonces las modalidades de industrialización de las economías bajo el enfoque de sustitución de importaciones, pero siempre apostando a los territorios fuertemente concentrados de población, de actividades económicas y de instituciones e infraestructura urbana, sin pensar en las distorsiones macro-cefálicas que adolecerían los países en un corto plazo.

Unos años después, una vez agotada las ilusiones de tener al menos en el Plan una sociedad ordenada, justa y asociada a un territorio planificado<sup>2</sup>, se asistía al debilitamiento de una estructura sobredimensionada en su tamaño y en el consumo de recursos respecto a los escasos logros obtenidos en términos de planificación física y territorial que se trazaba como objetivo.

La emergencia del modelo neoliberal en los enfoques económicos de la generalidad de los países de la región, desmanteló por completo los sistemas y las instituciones que tenían que ver con regulaciones del mercado y con el consumo de los escasos recursos de los que disponían los estados nacionales como consecuencia de las crisis económicas y financieras recurrentes.

Empezaba una nueva etapa en la cual la Planificación era algo así como hacer programación a corto plazo, principalmente para saber qué hacer ante un agente económico emergente o exógeno, o ante un sector económico que necesitaba apoyo subsidiario, o ante una población insatisfecha que hacía escuchar en las calles su desacuerdo con las altas tasas de desempleo y altos índices inflacionarios que reducía el salario real a niveles de incertidumbre.

Posteriormente, se asiste a la consolidación del modelo de libre mercado en la región, y la Planificación Territorial se repliega a oficinas sectoriales de Programación y Presupuesto, con escasos lazos interinstitucionales e intersectoriales y con escasos recursos para emprender acciones de gran magnitud como los que exige el complejo y arduo esquema del más mínimo proceso efectivo de Planificación; en la generalidad de los casos ubicados en sectores de ayuda y promoción social, con fuertes nexos subsidiarios y de estímulos a la demanda en estrecho vínculo con el mercado.

Sin embargo, la preocupación por la práctica y el desarrollo de la Planificación Territorial en sus diferentes vertientes continuaba desde el sector académico a partir de los contraproducentes resultados territoriales de las dinámicas económica

y demográfica de libre ocurrencia que experimentaban los países de la región, y que en conjunto lograron llamar la atención del agente público para emprender algunas medidas de política tratando de evitar la continuidad de graves consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas con la libre y espontánea dinámica espacial de los capitales y actores económicos y sociales, incluyendo la gran concentración de instituciones de gobierno con un claro centralismo de corte funcional.

En ese contexto se trataron de formular e implementar numerosos programas, planes y proyectos tal como ocurrió por ejemplo en México que, según García (2010), citando a Garza (2003), SPP (1988) y Álvarez (1988), indica que fueron: el Programa de Parques y Ciudades Industriales (1953-1958), la creación de cuatro emplazamientos industriales, entre ellos Ciudad Sahagún, Hgo., el Programa de Marcha al Mar (1953-1958), el Reparto agrario sexenal: 5 771 718 ha., el Plan Lerma de Asistencia Técnica (1963), la Comisión Nacional de Colonización, el Mejoramiento de la situación urbanística de las ciudades fronterizas del norte, la construcción de cuatro parques industriales (1960-1964), el Reparto agrario sexenal: 9 021 683 ha., intentos gubernamentales para el crecimiento de regiones menos desarrolladas y para la descentralización económico-demográfica de la Ciudad de México, el Plan Chontalpa (1966), la construcción de diez emplazamientos industriales (1966-1970), la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, CETENAL (1968), el Reparto agrario sexenal: 23 055 619 ha., la Comisión Nacional de Zonas Áridas (1970), el Plan Nacional de Centros de Población Ejidal (1971), la Ley para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (1971), el Programa para la Promoción de Conjuntos, Parques, Ciudades Industriales y Centros Comerciales (1971), la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Integral del Istmo de Tehuantepec (1972), la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Integral de la Península de Baja California (1973), inversiones en proyectos turísticos (Cancún, Huatulco, Bahía de Banderas, etc.), establecimiento de polos de desarrollo como Lázaro Cárdenas-Las Truchas, (Mich), Peña Colorada (Col.) y La Caridad (Son), inversiones en áreas rurales deprimidas, la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal (1975), el Plan Nacional Hidráulico (1975), Reparto agrario sexenal: 14 047 365 ha., infraestructura petrolera en Chiapas, Tabasco y Campeche (1977-1982), Ecoplanes (1978-1981), la Ley Federal de Protección al Ambiente (1982), el Reparto agrario sexenal: 15 720 000 ha., el Programa Nacional de Desarrollo Urbano (1989-1994), el Programa Nacional de Protección del Medio Ambiente (1989-1994), el Programa Nacional de Aprovechamiento



del Agua (1989-1994), el Programa de 100 ciudades (1992), el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares, Procede (1992), los Planes estatales de desarrollo, el Reparto agrario sexenal: 803 100 ha (de 1989 a 1992), los Programas Nacionales de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio (2001-2006), Hidráulico (2001-2006), Forestal (2001-2006), de Prevención y Atención de Desastres Naturales (2001-2006), de Desarrollo Social (2001-2006), de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001-2006), el Programa de Desarrollo de la Frontera Norte (2001-2006), de la Frontera Sur (2001-2006), de Desarrollo Rural Sustentable (2001-2006), el Plan Escalera Náutica del Golfo de California (2001-2006), el Proyecto Gran Visión, el Plan Puebla-Panamá (2000) y demás Planes estatales de desarrollo.

Sin embargo, de todo este conjunto de intentos de implementación de instrumentos de Planificación y Ordenamiento Territorial en los gobiernos de la región, se tienen importantes referencias (Coraggio, 1994; García, 2010; De Mattos, 2001), que indican que tales intentos no han pasado en muchos casos de ser buenas ideas con muy buena predisposición, pero que han quedado actualmente desfasados y en el olvido como muestra de la aplicación ineficaz de la Planeación Territorial, lo cual amerita centrar aquí nuestra atención en el intento de averiguar y discutir sobre las posibles causas de esta ineficacia, que a continuación se realiza sobre la base de cierta literatura que aborda dicho tema, principalmente la citada líneas arriba.

Se perfilan dos grandes tendencias en la crítica a la Planificación Territorial asociada con las debilidades de ésta como disciplina y como acción política, siendo la más importante aquella que proviene del campo ideológico de su concepción como acción política. Sin embargo, aquella que proviene del ámbito de la evolución de los conceptos tiene también un valor específico que podría ayudar a entender tal fenómeno, relacionado con los conceptos de espacio y territorio y sus derivaciones de espacialidad y territorialidad.

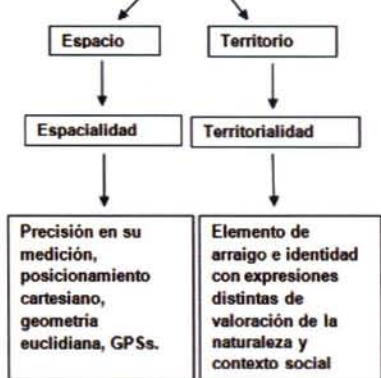
Una característica constante de la Planificación Territorial fue referir al territorio como categoría absoluta definida por la localización cada vez con mayor precisión de los elementos y fenómenos espaciales, ubicando los valores subjetivos y representativos a un plano igual o inferior a tales elementos y fenómenos en términos de su importancia y trascendencia para fines de ordenamiento territorial. Bajo esta concepción, el instrumental aplicado evolucionó muy rápidamente desde el uso de la geometría euclidiana de posicionamiento cartesiano tradicional hasta los Sistemas de Posicio-

namiento Global o GPSs. El territorio, concebido a partir de los límites espaciales y de los elementos y fenómenos existentes en dichos espacios, no sólo no permitía un análisis integrado de las relaciones unitarias preexistentes con la categoría social, sino que hacía imposible que esta última categoría se elevara a un nivel de acción y transformación como función de sus propias estructuras y valoraciones; tampoco permitía discriminar las tendencias transformativas de los grupos sociales para definir en última instancia la responsabilidad que le corresponde a cada actor social como integrante de un grupo y una clase social determinada.

De esa forma, lo relevante era determinar con exactitud las relaciones de causalidad, localizando con precisión dónde estaba el problema, quién lo originaba y quién lo padecía, para después empezar a jugar con ciertas posibilidades de solución, sugiriéndose un conjunto de medidas posibles, o algunas incluso imposibles, homogeneizando criterios para su aplicación que muchas veces se contraponían a los intereses de clase en una estructura social polarizada, donde cada grupo tiene objetivos, fines y cosmovisiones diferentes.

La espacialidad, entonces, consistía en definir un área de influencia también delimitada físicamente con modelos y algoritmos de gravitación calculados matemáticamente, no como complemento de un abordaje basado en una categoría cultural e identitaria, sino principalmente como definición precisa de los lugares con posibilidades de localizar también tal o cual infraestructura que permitiera también principalmente emprender el crecimiento económico para que más adelante el propio sistema de mercado se encargara de redistribuir población y recursos; afirmo esto último ya que es difícil encontrar Plan, estrategia o cualquier forma inducida de ordenamiento, donde se mencione explícitamente alguna forma de tal redistribución (Diagrama 1).

**Diagrama 1**  
Tendencia de la crítica a la Planificación Territorial desde los conceptos



Fuente: Elaboración propia



Del territorio como base física de localización de elementos y ámbito de ocurrencia de fenómenos territoriales, se asiste a una nueva concepción del mismo como categoría inherente al proceso de desarrollo social ya que es en el seno de la sociedad misma donde se construye.

Esta nueva visión del territorio proviene no de la economía, a pesar de que en la teoría económica espacial se reconocía los límites e inconvenientes en el uso recurrente del territorio como categoría física, sino de la antropología. Jiménez, M. (1996) lo describe como una modalidad de la apropiación subjetiva del espacio; como una parte inherente e indisoluble de la visión y percepción de los grupos humanos; como una construcción social cuyo instrumento fundamental de mediación es la cultura; como parte medular de la cosmovisión de los individuos.

De esta forma, un factor desestructurante del territorio como lo pueden ser: una congestión vial, un proceso de despoblamiento, la contaminación en la ciudad, la alta migración, el crecimiento inorgánico, la alta informalidad existente, etc., no sólo afecta la economía, o al aparato productivo, o al nivel socioeconómico local, sino a la convivencia humana y a las vidas de las personas que buscarán adaptarse a las nuevas condiciones bajo una nueva visión e imagen del territorio, el cual empezará a construirse en condiciones adversas a su modo pacífico de vivir, lo cual es un proceso difícil de lograr y demandará mucho tiempo para que ello ocurra. Desde esta visión del territorio, la Planificación Territorial deberá prevenir tales situaciones y corregir las existentes, pero desde el seno mismo de la sociedad y no considerando a ésta sólo desde su crecimiento físico y demográfico. Así, tal como lo afirma Coraggio, la planificación territorial "...debe ser vista como parte del complejo proceso de transición desde el interior de la sociedad que... la propone como alternativa de una racionalidad superior..."

De la forma tradicional de entender el territorio se derivan también otras contradicciones que con frecuencia se manifiestan en el ejercicio de la Planificación Territorial, al considerar las relaciones espaciales como determinantes de la acción social y no como una dimensión más de ella: la confusión entre ámbito homogéneo y ámbito de igual ocurrencia de los fenómenos.

La consideración de lo homogéneo no debe entenderse como igual ocurrencia de los fenómenos; la homogeneidad no quiere decir que las condiciones estructurales, productivas, sociales y políticas sean las mismas en los diferentes ámbitos territoriales. Pueden ocurrir procesos demográficos, eco-

nómicos, sociales, políticos, etc., que se vinculen con el mismo origen en términos de categorías causales en varios territorios, pero casi nunca con la misma intensidad y magnitud. Lo que sí está predeterminado en los niveles o ámbitos territoriales es la influencia ejercida sobre este nivel territorial por parte de otro territorio de nivel superior que lo contiene, lo cual hace que lo estatal esté cuasi supeditado a lo regional, lo regional a lo nacional y lo nacional a lo global en francos procesos de dependencia más que de interdependencia, dejando a los territorios de niveles inferiores con muy escasa autonomía de operación y manejo, aunque sea muchas veces difícil de aceptar por las autoridades locales (Diagrama 2).

Diagrama 2



No obstante los fuertes lazos de dependencia existentes entre los ámbitos territoriales que se contienen mutuamente, deberá tenerse muy en cuenta en la toma de decisiones de la Planificación Territorial, que cada estructura territorial o nivel espacial trabajado por la Planificación tiene su propia coyuntura, sus procesos económicos y de acumulación y un nivel determinado de desarrollo del capital, que es el factor que se asocia con fuertes fenómenos territoriales y el principal transformador de los territorios. En esa medida, cada estructura y ámbito territorial tiene su propia correspondencia con los objetivos globales del capital tal como lo afirma Rofman (1989), lo cual no sólo se presenta de diferente forma en cada país sino también en cada región interna.

Estas relaciones de coyuntura y de vínculos con el sistema global de circulación del capital le imprimen a cualquier sistema de Planificación, inevitablemente, un efecto político-ideológico. Este efecto se traduce en la fuerza motriz que direcciona los cambios inducidos plasmados en un Plan de Ordenamiento o en un Plan de Desarrollo Territorial,



en los cuales deben establecerse objetivos que tengan correspondencia con lo que persigue el sistema dominante regional, nacional y mundial, que no es necesariamente el bienestar social en primer término, aunque en el discurso político se presente recurrentemente de esa manera.

Así, no es casual que las grandes obras hidráulicas, transvases, presas, desarrollo de áreas de cultivos intensivos de exportación, presencia de grandes compañías mineras, grandes proyectos carreteros, entre otras grandes obras, se implementen con mayor facilidad que el combate a la pobreza en los países y regiones.

No es casual tampoco que casi la totalidad de infraestructura de servicios y de apoyo a la producción continúe localizándose en las grandes concentraciones hasta agotar por completo su capacidad de carga; tampoco es casual que todo lo anterior coincida con el alto Producto Interno Bruto generado en tales grandes concentraciones, que además poseen altas productividades de los factores y son centros o polos de innovación, principales atractivos de las empresas transnacionales, mientras se desplazan empresas locales de menor tamaño hacia la periferia menos competitiva donde es más fácil sobrevivir, si no es que desaparecen por completo. Todo ello fue construido mediante la aplicación de Planes y Programas cuyos objetivos guardan gran afinidad con la dinámica espontánea del modelo global.

Desde lo que se acaba de mencionar, y desde lo que se acostumbra a oír con frecuencia en los pasillos de las Oficinas de Planificación de las instancias públicas, se infiere que debemos de considerar muy seriamente la naturaleza y el verdadero origen de los factores que suelen estar asociados con los magros resultados de las prácticas de la Planificación.

Pero aquí se presenta otro problema en forma de disyuntiva: para algunos, sobre todo provenientes del ámbito académico, las causas originarias podrían estar escondidas detrás de lo que comúnmente se muestra en la televisión o en el centro de la ciudad moderna; sin embargo, para otros el fenómeno que podría ser una consecuencia se presenta como causa de los problemas, ya que han dominado las relaciones causales en el análisis territorial previo realizado por ellos en la etapa de diagnóstico y, como lo que tendría que hacerse es atacar las causas de los problemas, ellos identifican las causas y plantean un conjunto de medidas de solución. Así, por ejemplo, se identifican grandes concentraciones económico-demográficas asociadas con macrocefalias, ausencia de ciudades intermedias, concentración de funciones, etc.,

y proponen estrategias de descentralización, desconcentración, promoción a la relocalización industrial, programas de ciudades medias, incrementos en la dotación local de recursos nacionales o federales, etc. Cuando después de varios intentos de implementación de Planes que contienen un conjunto de medidas de solución sobre la base de los problemas identificados previamente, ven un resultado muy pobre en el logro de los objetivos del Plan, se tratan de justificar tal ineficacia aduciendo: la inoperancia de modelos de información, cálculos extremadamente abarcativos, vacíos en la formulación cualitativa, aplicación arbitraria de coeficientes, falta de información, falta de capacidad de computación, de coordinación entre la planificación sectorial y la global con la regional, etc.

Lo anterior entra en contradicción con lo que aquí postulamos respecto a las causas originarias de los fenómenos desequilibrantes de los territorios y, en consecuencia, con el incremento de la desintegración social en un nivel mayor al que se encontró antes de aplicar cualquier instrumento de Planificación.

Es cierto que las causas discutidas en el párrafo anterior existen, pero no son originarias; creo que esto es importante destacar cuando se trata de evaluar la eficacia de los Planes. Por ejemplo, es cierto que el uso de autos sin mantenimiento constante produce más contaminación, pero la causa originaria no es la falta de mantenimiento, sino su uso excesivo y descontrolado asociado con la instauración de una cultura del auto promovido por la política de apertura en un marco de relaciones globales.

Si yo aplico un Plan de descontaminación proponiendo la verificación permanente de los autos que circulan en mi ciudad y su constante mantenimiento, sin ninguna propuesta de uso de medios alternativos de transporte, y por otro lado admito que se continúen aplicando Planes de Desarrollo Económico que promueven el uso e ingreso de más autos para incrementar el empleo, los ingresos y el crecimiento económico de mi ciudad en el marco de la política de apertura de mi país, evidentemente que mi Plan de descontaminación fracasará en el corto plazo ya que, si bien es cierto las emisiones de contaminantes por unidad automotriz se mantienen constantes por las medidas de verificación y mantenimiento que apliqué, la cantidad total de contaminantes de la combustión automotriz subió como consecuencia del incremento del número de automóviles; esto puede ocurrir incluso si yo implementara usos alternativos de transporte en mi Plan de descontaminación. Lo anterior tiene mucha relación con las relaciones hegemónicas globales que no dan tregua a los Planes en sus



procesos de maduración, evaluación y retroalimentación.

En alusión a esto último, la velocidad con la que ocurren los procesos territoriales en el marco global de interacción y dependencia entre territorios, es otro factor a considerar en el análisis de las causas originarias relacionadas con los escasos logros de la Planificación Territorial, y se constituye en otra contradicción entre los objetivos de los Planes y la dinámica del sistema de relaciones globales dominante.

La lógica cortoplacista de la dinámica económica en su carrera por alcanzar óptimos resultados, se contraponen con la naturaleza de los objetivos a alcanzar con los Planes que con frecuencia son de mediano y largo plazo. También, con frecuencia, los modelos de configuración del territorio en que se basan los Planes permanecen más tiempo con el mismo molde, hasta que los cambios territoriales producto de la dinámica global los desactualiza por completo convirtiéndolos en modelos anacrónicos, haciendo que cada vez las medidas de solución propuestas lleguen demasiado tarde a atender una situación que ya varió y se convirtió en un problema más intenso, tal como ocurre con la informalidad o con la pobreza en América Latina.

Desde las prácticas económicas provenientes del poder político también se aprecia otro conjunto de contradicciones. La voluntad política no siempre está de acuerdo incluso en redistribuir espacialmente recursos.

En estos niveles de toma de decisiones se reconoce la distorsionada localización de las actividades económicas y de población que siguió a la industrialización incipiente y que domina en nuestros días, y se reconoce también como medida de importancia las conducentes a la difusión del crecimiento a través de la desconcentración económica y demográfica y la descentralización administrativa-funcional. Sin embargo, en la región latinoamericana se observa con frecuencia que estas modalidades estuvieron enmarcadas en actitudes de presión política más o menos diferente en cada contexto y conjunto de países, puesto que se trataba de invertir el sentido de los flujos de recursos desde las áreas más desarrolladas económicamente y más urbanizadas, hacia las menos desarrolladas, lo cual era contrario a toda medida de política de promoción al crecimiento y desarrollo económico en tanto, sin ser mencionado así explícitamente, eran polarizados y le servía al capital con el aval del poder político en tanto todavía no entraba en contradicción con la proliferación de externalidades negativas que inevitable y paralelamente reproduce.

En la práctica, los países en la región no lograron definir con claridad esta tendencia de cambio de dirección y sentido de las inversiones. El interés por el crecimiento económico, como preámbulo para el desarrollo social establecido en los Planes y Programas, localizaba con frecuencia las inversiones en los territorios que ofrecían condiciones para incrementar la productividad y renta: los grandes centros urbanos, lo que contribuyó enormemente a continuar reproduciendo los grandes desequilibrios territoriales en un modelo de crecimiento territorial caracterizado por la subordinación de muchos asentamientos dispersos y el dominio territorial jerarquizado de algunas grandes ciudades en donde se concentran los factores productivos a través de los ciclos recurrentes de acumulación.

Frente a dicha situación, los Planes y Programas terminaron por sostener una visión de desconcentración y descentralización a partir de estímulos a la demanda de territorios menos favorecidos por parte de los agentes económicos y de los factores productivos. Se creaban nuevas condiciones de dinámica local en estos últimos territorios aplicándose Programas denominados de 50, 80 ó 100 ciudades, los cuales se implementaban tratando de dinamizar el interior bajo modelos denominados "Polos de Desarrollo". La respuesta a dichas medidas la tenemos y vivimos actualmente, cuando se verifica no una difusión espacial del crecimiento sino una reconcentración territorial de las zonas centrales a manera de ciudad-región según Scott (2001) y Boisier (2006), o corona regional según Delgado (1999), que sigue el mismo sentido y dirección que la reproducción del capital y la reconcentración demográfica.

Así, para fines de Planificación Territorial, no basta con admitir que los factores productivos se dirigirán hacia centros de menor concentración en busca de mayor utilidad individual y mejores condiciones de productividad marginal, reestableciendo las condiciones estructurales para el equilibrio territorial o construyendo reequilibrios en el territorio, sino también deberán considerarse muchas otras condiciones que harían posible este equilibrio o reequilibrio que son en la realidad contrarios a los que pregona la teoría económica tradicional como supuestos: la producción de un bien único y homogéneo en la economía, pleno empleo, competencia perfecta, costos de transporte nulos, funciones de producción regionales idénticas con rendimientos constantes a escala, oferta de trabajo constante y ausencia de progreso técnico, las cuales no existen en ninguna realidad en la que se aplica el instrumento de Planificación ya que se asiste a una gran heterogeneidad en procesos, tamaños y capacidades de los agentes.



Es que los factores productivos, en su lucha por sobrevivir, no obedecen a estrategias racionales de ordenamiento como son las medidas escritas en los Planes Territoriales, sino que tienen su propia lógica de funcionamiento<sup>3</sup>. En este sentido, los modelos aplicados para medir rangos de atracción gravitacional, por ejemplo, no es que dejen de tener validez, pues en realidad representan instrumentos eficaces para entender el qué está ocurriendo con la dinámica espacial de tales factores y cómo ocurre la polarización de los territorios o la formación de territorios reconcentrados, sino que no explican las razones originarias de tales fenómenos.

Es insostenible, entonces, considerar que la solución a los problemas territoriales se basen casi exclusivamente en los resultados obtenidos de la aplicación de tales modelos, sin considerar otras dimensiones ni el complejo entramado de intereses e ideológico que está detrás de tales situaciones. Toda política que se base principalmente en la consideración de aspectos cuantitativos producto de la aplicación de tales modelos, y en relaciones lineales de causalidad olvidando los factores originarios de reproducción de tales fenómenos, será difícil que se aproxime a compatibilizar eficiencia económica con equidad social, y será un proceso un poco menos que imposible de alcanzar.

Menciono esto último porque con frecuencia ocurre durante los procesos de evaluación del impacto de las políticas. La evaluación de las políticas territoriales con enfoques generalmente cuantitativos no sólo parten de homogenizar la ocurrencia del fenómeno sino también homogenizan sus efectos, lo cual es otro punto a considerar en los procesos de seguimiento, actualización y retroalimentación de tales políticas que no logran grandes resultados. Esto es una práctica común de la política en la región que proviene de Europa, al igual que muchos elementos de la Planificación Territorial incluida ella misma.

Coronado (1997) indica que muchas evaluaciones de las políticas territoriales en Latinoamérica adolecen de lo que se adoleció en Europa donde se limitaban a estimar los efectos territoriales de la política regional desde el punto de vista cuantitativo sobre una o un conjunto determinado de variables-objetivo. Sin embargo, en dichos países, hoy, se suele definir el proceso de evaluación en un sentido más amplio considerando la investigación del éxito a través de los objetivos declarados<sup>4</sup>, o a partir de la investigación sobre el tipo sectorial

de política regional ya que el objeto de evaluación difiere por sectores de acuerdo con las consecuencias que se les atribuye a través de sus programas<sup>5</sup>.

Otro aspecto complementario y relacionado con el alcance cuantitativo de la evaluación de las políticas territoriales en América Latina, es la denominación de impacto de dichas políticas, antes que el proceso de evaluación en su sentido amplio, sin considerar sus diferencias. El análisis de impactos sólo considera los cambios cuantitativos producidos en las variables objetivo, mientras que la evaluación tiene en cuenta las múltiples y complejas relaciones que puedan existir entre las metas, objetivos e instrumentos de la política regional de acuerdo con Folmer (1986:17). Continúa Coronado afirmando que el proceso de evaluación se requiere para emplear sus conclusiones "como soporte para plantear futuras estrategias" (Ibid, 1997:4)<sup>6</sup>.

Otra acción común de las políticas y acciones de los gobiernos que tradicionalmente se han visto en la región en materia de Planificación Territorial en el marco del complejo compromiso y responsabilidad que tienen los hacedores y ejecutores de políticas públicas en esta materia, es la consideración de los agentes y actores casi exclusivamente como beneficiarios de la misma. En este enfoque no hay definición de responsabilidades ni designación de las mismas para el cambio; no se consideran capacidades diferenciadas de los agentes o, en todo caso, tales capacidades diferenciadas aparecen como provenientes de ámbitos ideológicamente pre-concebidos y rechazados; no se establecen canales diferenciados de llegada de la política territorial y se concibe el hecho de que por sí sola y de manera espontánea y automática dicha política descenderá hasta las personas modificando favorablemente sus condiciones de vida (Gasca, 2007).

Lo anterior fue característico en varios países y en varios periodos en la región, como por ejemplo en México y en el período 1985-1995. Según Carrillo (2002), quien estudió la práctica de la Planificación Regional en este país, el desarrollo regional en ese período fue considerado más como parte de la política social, y el proceso de planeación se redujo al control de los recursos y actividades dentro de un contexto de estabilización económica y no como un instrumento de promoción del desarrollo equilibrado.

En las consideraciones anteriores queda pendiente la respuesta a la pregunta: ¿qué papel le corresponde jugar al Planificador consiente de que



debe abordar las causas originarias de los problemas de la Planificación Territorial, que no son precisamente las que hasta ahora han sido abordadas?

Creo que para abordar la respuesta hace falta profundizar en varios otros elementos complementarios. Sin embargo, en lo que refiere a lo aquí tratado, sí es posible referir que la práctica social y socializada de las medidas de transformación que perseguiría la Planificación Territorial deberían estar dirigidas por planificadores consientes de que tal cambio social nacería del seno mismo de la sociedad y no del escritorio donde se formulan medidas sin aproximarse al fenómeno social o territorial, o donde se ve a la población como objeto de estudio, sin capacidad de transformación y con frecuencia como beneficiario de tales medidas.

Todo ello implica la definición de actores, agentes y responsabilidades diferenciadas que les corresponden en la reproducción social de las condiciones actuales, dependiendo del rol y funciones que desempeñen en la estructura social, así como la búsqueda de la viabilidad de emprender acciones que modifiquen tales condiciones actuales. Desde este punto de vista, la fortaleza del planificador radica en emprender esfuerzos para concertar voluntades en un mundo donde priman las contradicciones, lo cual es posible que no sea función directa de la sofisticación de equipos ni de modelos algorítmicos, sino más bien de identidad, voluntad y ética.

## Referencias

Álvarez, J. (1988). *Enciclopedia de México, Secretaría de Educación Pública, México, 14 tomos.*

Boisier, Sergio. (2006). "Algunas reflexiones para aproximarse al concepto de ciudad-región", en *Estudios Sociales: Revista de investigación científica*, 14 (28), 163-190.

Carrillo, M. (2002). *Aspectos microeconómicos introductorios del desarrollo regional y urbano, Instituto Politécnico Nacional, México D. F.*

Coraggio (1994). *Territorios en transición. Crítica a la Planificación Regional en América Latina, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 3° edición.*

Coronado, D. (1997). "El proceso de evaluación de las políticas económicas regionales: una revisión de métodos y experiencias", en *Estudios Regionales*, núm. 47-1997, Madrid-España.

De Mattos (2001). "Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergen-

tes Latinoamericanas", en *Revista de Estudios Regionales*, núm. 60, 2001, pp. 15-43.

Delgado, J., C. Anzaldo y A. Larralde (1999), "La corona regional de la ciudad de México. Primer anillo exterior en formación" en Delgado, J. y B. Ramírez (coords.), *Transiciones. La nueva formación territorial de la Ciudad de México, Programa de Investigación Metropolitana, Plaza y Valdés, UAM, México, pp. 171-194.*

García, F. (2010). "La planeación del desarrollo regional en México (1900-2006)" en *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 71, 2010, pp. 102-121.*

Garza, G. (2003). *La urbanización de México en el siglo XX. El Colegio de México, México.*

Gasca, J. (2007). *Presentación del XVII Seminario de Economía Urbana y Regional. Evaluación de Políticas públicas territoriales: ciudad y región, IIEs-UNAM, México D.F.*

Jiménez M. (1996). *Territorio y Cultura, Universidad de Colima, México.*

Rofman, A (1989). "Teoría y práctica de la planeación regional en América Latina", en Coraggio, J. L., Sabaté, A. F. y Colman, O. (eds.), *La cuestión regional en América Latina, CIUDAD, Quito.*

Scott, A. (2001). *Global City-Regions, Trends, Theory, Policy, Oxford University Press, New York.*

Secretaría de Planificación y Presupuesto (SPP) (1988). *Antología de la planeación en México 1917-1985, FCE, 20 Tomos, México.*

## Notas al pie

<sup>2</sup>Digo en el Plan ya que distaba mucho de tenerse tal sociedad realmente.

<sup>3</sup>Carlos De Mattos refiere a la autonomía de los capitales hasta el momento en que en un determinado sistema nacional se desencadenan procesos de centralización del capital vía agrupamiento de empresas. A partir de ese momento comienzan a formarse intrincados tejidos a través de los cuales se vincula un número creciente de empresas y empieza a reducirse la supervivencia de capitales efectivamente autónomos. Cuando esto ocurre, se observan situaciones dominantes que permiten, en cada caso, definir la estructura productiva de ese sistema nacional ya que las diferencias sectoriales se hacen más notorias debido a su polarización, al igual que los territorios (De Mattos, C. (1989:7-11). *Reestructuración social, grupos económicos y desterritorialización del capital. El caso de los países del Cono Sur. Seminario Internacional: Revolución Tecnológica y Reestructuración Productiva: Desafíos Territoriales. Santiago de Chile, 22-25 de agosto de 1989.*

<sup>4</sup>De acuerdo con McEldowney, según Coronado Op. Cit.

<sup>5</sup>De acuerdo con Bartels et al., según Coronado Op. Cit.

<sup>6</sup>Citado en Coronado, D. (1997).



## NOTICIAS

---

### Nuevos radio-módems Leica CGR10 & 15 que proporcionan una mayor flexibilidad para levantamientos en RTK

Leica Geosystems anuncia los radio-módems CGR10 y CGR15 para sus controladores Leica Viva CS 10 & CS 15. Ambos módems son una extensión ideal para el Leica Viva NetRover y el Leica Viva GS12 rover. Además se pueden utilizar con los receptores Leica Viva GS10, GS15, y el nuevo receptor GS25.

Los Leica CGR10 y 15 son receptores de solo radio UHF que

se pueden montar directamente en los controladores de campo Leica Viva CS10 y CS15. Robustos, con una clasificación IP67, la radio mantiene la ergonomía de los controladores de campo Viva CS10 y CS15 en circulación y se integra perfectamente con cualquier sistema Leica Viva GNSS.

El Leica CGR10 transforma el Leica Viva NetRover, que consiste en una Leica Viva CS10

con el receptor GS08, en una estación móvil RTK totalmente flexible que soporta GSM / GPRS y comunicaciones UHF.

La energía es proporcionada directamente desde los controladores de campo Leica Viva CS10 y 15, y permite 6 horas en uso constante. Junto con el nuevo SmartWorx Viva v4.0, los CGR10 y 15 proporcionan compatibilidad con Satel, PacCrest GMSK y protocolos 4FSK.

## NOTICIAS

---

### Leica Exchange: Transferencia de datos Fácil, Rápida y Segura

Leica Geosystems se complace en anunciar Leica Exchange.

Con Leica Exchange, asegúrese dos maneras de transferir información inalámbrica entre el campo y la oficina de manera perfecta e inmediata.

Tan pronto como finalicemos el trabajo de campo, las mediciones pueden ser enviadas a la oficina o, en los cambios de diseño, se pueden enviar de forma instantánea las actualizaciones al personal de campo.

Inmediatamente después de terminar un trabajo, éste puede ser transferido de forma remota a la oficina para asegurar el control de calidad antes de que el equipo de campo abandone el sitio.

El equipo de la oficina directamente puede comenzar a procesar los datos, y si es necesario dirigir al equipo de campo para recoger datos adicionales. Como un flujo de datos dinámico asegura que los trabajos se realizan más rápido y se evitan el volver a visitar el sitio.

Leica Exchange, la nueva incorporación a Leica Geosystems Servicios de confianza, está disponible en una variedad de suscripciones anuales, y se apoya en el software de campo SmartWorx Viva v4.0 y la nueva herramienta de software de oficina de la Leica Exchange Office v1.1

Leica Exchange estará disponible en Noviembre de 2011 junto con el lanzamiento de Leica SmartWorx Viva v4.0.

Leica Exchange forma parte de los Leica Geosystems Trusted Services



# Sando coordina la construcción del Vertedero de Residuos No Peligrosos de Málaga con el software BIM de Autodesk para Ingeniería Civil

## *Desarrollo de Proyectos Civiles con AutoCAD Civil 3D*

---

### Presentación

Sando Construcciones es la empresa matriz de Sando, una compañía multinacional con más de treinta y cinco años de experiencia en el sector, situada entre las primeras empresas del sector de la construcción y servicios del país. Especializada en la ejecución sostenible de obra civil y edificación, está presente en la construcción de los principales proyectos desarrollados en el país.

Sando está extendida por España, Europa Central y del Este. Calidad, capacidad técnica, respeto al medio ambiente, prevención, cumplimiento de plazos, formación, compromiso y honestidad son algunos de los valores que identifican a la compañía y que se manifiestan en cada una de las acciones desarrolladas.

Su departamento de Topografía está compuesto por un total de 20 topógrafos que se reparten entre las cinco delegaciones de Oficina Técnica (Madrid, Sevilla, Málaga, Canarias y Polonia). Entre sus muchas competencias está la coordinación del software informático adscrito al departamento. Así, desde hace años este departamento confía en AutoCAD Civil 3D y otras versiones de AutoCAD como el pilar básico del conjunto de software que utilizan para la realización de sus proyectos de ingeniería civil.

### El Reto

El proyecto que tuvo que llevar a cabo Sando Construcciones fue la construcción del Vertedero de Residuos No Peligrosos en el paraje de "Los Ruices", Málaga. El proyecto estaba compuesto, por un lado, de la construcción de un vaso de residuos, con una superficie de ocupación de 12,5

hectáreas y una cota que iba desde los 97 hasta los 160 metros por encima del nivel del mar, y, por otro, de la proyección de las instalaciones auxiliares necesarias para la explotación de la actividad.

La propia naturaleza de un proyecto de excavación de un vaso de vertido supone una situación distinta al resto de obras civiles debido a que no tiene un carácter lineal. Así, el replanteo de datos y el seguimiento de los volúmenes entrañan siempre un difícil reto para el equipo encargado de diseñar de un proyecto de este tipo.

Por otro lado, la zona de trabajo estaba compuesta por zonas de roca muy amplias que llegaban a suponer el 50% del volumen total. Esto exigía que fueran desmontadas por medio de voladuras controladas. Otro reto al que debía enfrentarse Sando porque implica que en la misma obra existan zonas que se solapan a diferentes cotas con materiales de diferentes características y precios de extracción, lo que, a su vez, también dificulta la cubicación de materiales.

Por último, el proyecto tenía la dificultad añadida de la definición del drenaje de la zona por medio del juego entre taludes impermeabilizados, cunetas hormigonadas y encauzamientos. Un punto, cuya definición resulta de vital importancia, ya que en ningún caso el agua de la lluvia que entre en contacto con los residuos debe salir del sistema de lixiviados.

### La solución

Sando Construcciones abordó el proyecto en dos fases. La primera de ellas estaba compuesta por el diseño y construcción de las instalaciones auxiliares. Entre éstas se incluía el acondicionamiento de viales perimetrales y acceso al vaso de vertido, la urbanización de la zona de servicios, las infraestructuras de desvío de aguas pluviales (drenaje del



fondo del vaso de vertido y canales perimetrales) y las infraestructuras de gestión de lixiviados.

En la segunda fase Sando abordó la propia ejecución del vaso de vertido, en la que se trabajó todo lo referente al movimiento de tierras (limpieza y desbroce del área afectada por el vaso de vertido, la excavación y la confección del terraplén para la configuración del proyecto), la ejecución del dique de cierre, la impermeabilización del fondo del vaso y los taludes y la red de drenaje de lixiviados.

Sando Construcciones definió todos los datos a replantear del proyecto a partir del software AutoCad Civil 3, la solución BIM (Building Information Modeling) de Autodesk para el diseño y documentación de ingeniería civil. Así, los viales perimetrales de acceso al vaso y balsas, la red de drenaje de pluviales y las canalizaciones de lixiviados se definieron por medio de ejes con alzado y secciones tipo.

Por su lado, la excavación del vaso y las balsas de lixiviados se definieron por medio de herramientas de explanación y el replanteo de estos elementos se hizo por medio de superficies, de forma que siempre que el topógrafo se encuentra dentro de la zona a excavar conoce la cota terminada de excavación.

AutoCad Civil 3D también fue de gran ayuda a la hora de solucionar el problema relacionado con la existencia de diferentes cotas de materiales, de tránsito y de roca, con sus consecuentes precios diferenciados de extracción. De esta forma, a través del seguimiento por medio de taquimétricos y su posterior integración como superficies a gestionar por el software, el equipo de construcción eliminó todas las posibles dudas sobre la cubicación de los distintos materiales.

## Resultados

La utilización de AutoCad Civil 3D permitió que Sando Construcciones llevase a buen puerto un proyecto de esta complejidad, cumpliendo en todo momento los plazos establecidos y solucionando la mayoría de problemas en fases previas de diseño evitando que se arrastrasen hasta la fase de obra. El estudio afirma que, a la hora de enfrentarse a un proyecto de las dimensiones y dificultades de la talla del Vertedero de Residuos No Peligrosos de Málaga, los beneficios de trabajar con Civil 3D se percibieron de manera inmediata.

Uno de los principales beneficios que pudo comprobar Sando Construcciones fue que el trabajo de campo se realizaba de una manera muchísimo más ágil mediante el trabajo con superficies. Así, los topógrafos podían marcar en cualquier punto de la zona de obra la profundidad de excavación sin tener que depender de un eje de replanteo.

Las herramientas de gestión de superficies de AutoCAD Civil 3D permitieron obtener unos planos con el máximo detalle de la previsión de excavación y volúmenes a extraer a priori en las diferentes zonas. Uno de los puntos más importantes para Sando por la ayuda que proporcionaba al responsable de movimiento de tierras.

En el plano de la coordinación del proyecto AutoCAD Civil 3D también tuvo un peso importante. Así, las herramientas de gestión de superficies también proporcionaron un sistema muy ágil de comunicación entre los técnicos del proyecto al permitir la integración de diferentes tipo de información. De este modo se pudo integrar el rediseño de la red de drenaje con el plano hipsométrico de excavación obteniendo una visión de conjunto de ambos trabajos, con la reducción de tiempos y costes que implica.

Para más información:

<http://www.autodesk.es/adsk/servlet/pc/index?siteID=455755&id=14596947>

## Declaraciones

Juan Antonio Baez Durán, Jefe Departamento de Oficina Técnica y Topografía: "Dada la problemática del proyecto, los beneficios son inmediatos al utilizar el software AutoCad Civil3d. El software aumenta enormemente la agilidad del trabajo de obra y proporciona un sistema de comunicación excelente entre los técnicos del proyecto al permitir la integración de diferentes tipos de información."

Juan Antonio Baez Durán, Jefe Departamento de Oficina Técnica y Topografía: "Las herramientas de gestión de superficies de AutoCAD Civil 3D nos permitieron sacar el máximo detalle de los plantas de previsión de excavación y volúmenes a extraer en las diferentes zonas. Sin duda, una ayuda de las más importantes del proyecto y que facilitó enormemente el trabajo del responsable de movimiento de tierras".



# Contribución metodológica a la actualización, gestión y perfeccionamiento de un sistema de desarrollo agrícola

## *Methodological contribution to updating, management and improvement of a system of agricultural development*

Arcia Porrúa, Javier; Machado, Isaías; Angarica, Elio; García, Eugenio; Marín, Rafael; de León Ortiz, Mario; Menéndez, Antonio

Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Cuba.

---

### Resumen

Se exponen los elementos tomados en consideración para la actualización, gestión y perfeccionamiento del sistema agrícola, como etapa final del sistema de desarrollo establecido por Arcia et. al., 2010. Las contribuciones metodológicas propuestas corresponden a la ETAPA IV del sistema agrícola propuesto. Los principales aspectos a desarrollar dentro de ésta ETAPA son; a) actualización de las características de la tierra, b) gestión de la organización territorial, c) perfeccionamiento de sistemas tecnológicos y d) evaluación de impacto ambiental, social y económico.

**Palabras claves:** modelo conceptual, sistemas agrícolas, caña de azúcar

### Abstract

There are exposed the elements taken into consideration for the update, management and development of the agricultural system, as a final stage of the system established by Arcia et. al., 2010. The proposed methodological contributions correspond to PHASE IV of the proposed agricultural system. The main aspects developing in this stage are; a) characteristics of the soil updating, b) territorial organization management, c) technological systems improvement and d) environmental, social and economic impact assessment.

**Key words:** conceptual model, agricultural systems, sugar cane

### Introducción

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), de la República de Cuba, desde el año 1990, desarrolla estudios en condiciones tropicales y subtropicales para el manejo de las tierras por unidad mínima de manejo, en todos los casos soportados por herramientas computacionales (software) que brindan elementos a la toma de decisiones.

Estos sistemas, basaron su principio en el conocimiento de las características de la tierra en la menor unidad de área posible (unidad mínima de manejo); sin embargo, a pesar de haberse realizado actualizaciones de los estudios, en muchos casos se perdió información y con ello la posibilidad de evaluar la variabilidad temporal del manejo de la tierras, producto de las recomendaciones brindadas. Por otro lado estos estudios siempre estuvieron dirigidos a áreas con el cultivo de caña de azúcar ya establecido.

En el contexto de la Alianza Bolivariana para las Américas (ALBA) se ha previsto el desarrollo de la agroindustria azucarera para la producción de etanol, azúcar y otros derivados, que contempla la asimilación de las tecnologías de manejo agronómico para el cultivo de la caña de azúcar con vistas a la instalación y puesta en funcionamiento de diferentes plantas.

Arcia et. al., 2010, establecen los principios metodológicos para el establecimiento de sistemas agrícolas, el cual consta de diferentes etapas de desarrollo. Estos autores toman el cultivo de la caña de azúcar como el principal rublo de desarrollo. Los conceptos metodológicos establecidos por estos autores se aplica en más de 262 000 ha, para el desarrollo de la agroindustria azucarera



para la producción de etanol, azúcar y otros derivados, que contempla la asimilación de las tecnologías de manejo agronómico para el cultivo de la caña de azúcar con vistas a la instalación y puesta en funcionamiento de diferentes plantas, en áreas debidamente localizadas de la República Bolivariana de Venezuela.

El objetivo del presente trabajo es exponer los elementos tomados en consideración para la actualización, gestión y perfeccionamiento del sistema agrícola, como etapa final del sistema de desarrollo establecido por Arcia et. al., 2010.

## Procedimiento

El procedimiento desarrollado, corresponde a la ETAPA IV del sistema agrícola propuesto por Arcia et. al., 2010, según se muestra en la Figura 1. Esta etapa, se incluye dentro de las fases de ejecución y operación, o sea, donde el sistema comienza con la explotación de más del 60% de sus capacidades. Los principales aspectos a desarrollar dentro de ésta ETAPA, son: a) actualización de las características de la tierra, b) gestión de la organización territorial, c) perfeccionamiento de sistemas tecnológicos y d) evaluación de impacto ambiental, social y económico.



Figura 1. Aspectos generales de la ETAPA IV dentro del desarrollo del sistema agrícola

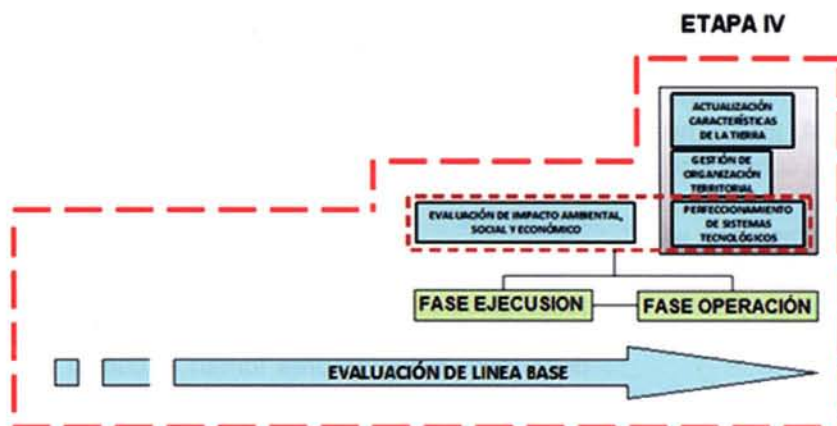


Figura 2. Principales acciones a desarrollar dentro de la etapa

## Resultados y conclusiones

### Actualización de las características de la tierra

Según Cobos et al., 2008, todo sistema de soporte a la toma de decisiones es un sistema interactivo, para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a utilizar tecnologías de comunicaciones, datos, documentos, conocimiento o modelos para identificar y resolver problemas, para completar tareas del proceso de decisión, y para tomar decisiones. Es por ello que la retroalimentación o actualización de la información que se obtenga dentro del proceso de ejecución y operación del sistema de desarrollo agrícola es de gran importancia y utilidad para su perfeccionamiento.

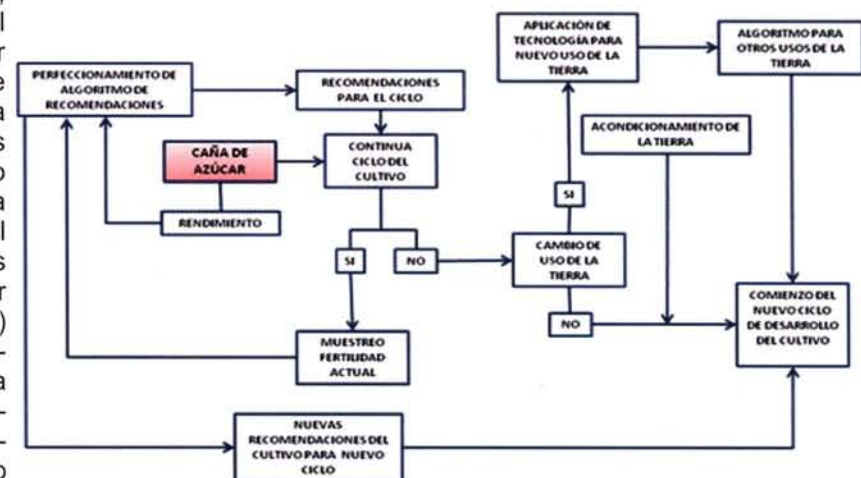


Figura 3. Principios generales para la actualización de las características de la tierra dentro de la ETAPA IV

¿Cómo proceder en primera instancia a la actualización de las características de la tierra? La Figura 3, muestra el esquema general para la actualización de las características de la tierra y con ello lograr conocer los cambios provocados por su manejo diferenciado en las diferentes unidades mínimas de manejo y con ello poder corregir o perfeccionar las recomendaciones para cada unidad de manejo, conceptos similares han sido utilizados en estudios realizados por el INICA (INICA 1994, 1995, 1996, 1998, 2006).

Cómo las acciones dentro de esta ETAPA se desarrollan dentro de la fase de ejecución y operación, cada una de ellas debe lograr satisfacer los principios que ella demanda, dentro de las que destacan lograr realizar las recomendaciones a la menor área de explotación posible. La Figura 4, muestra las tareas a desarrollar en cada una de ellas.



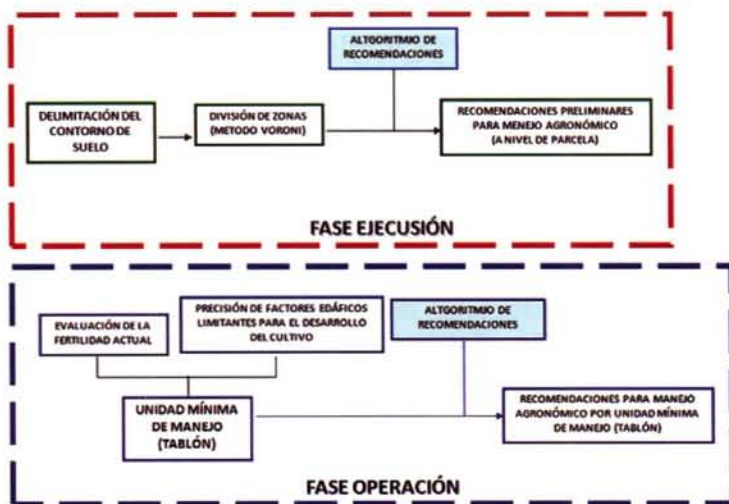


Figura 4. Pasos a seguir dentro de las fases de ejecución y operación, relacionadas con la actualización de las características de la tierra

### Gestión de la organización territorial

Para el comienzo de la fase de ejecución del sistema deben existir alrededor de 70% de las áreas necesarias debidamente referenciada y ubicadas. La proyección territorial juega un papel importante en la organización, control, restauración y medición de las áreas agrícolas, siendo el área la base fundamental para los cálculos de fertilizantes, herbicidas, estimados de producción, pago de salarios, combustible etc., los que garantizan un desarrollo productivo de forma eficiente, ya que una información imprecisa o morosa pierde validez e importancia.

Con el fin de poder lograr la actualización de las áreas se debe llevar a cabo, de forma sistemática dentro del proceso de explotación del sistema agrícola, la medición y actualización de la información geográfica. Estas técnicas son empleadas de manera sistemática por diferentes sistemas de explotación. La Figura 5, muestra el diagrama sugerido dentro del desarrollo del sistema planteado en este trabajo.

### Criterios para medir el impacto del sistema

Todo desarrollo agrícola independientemente de los cuidados y principios que se tengan en cuenta

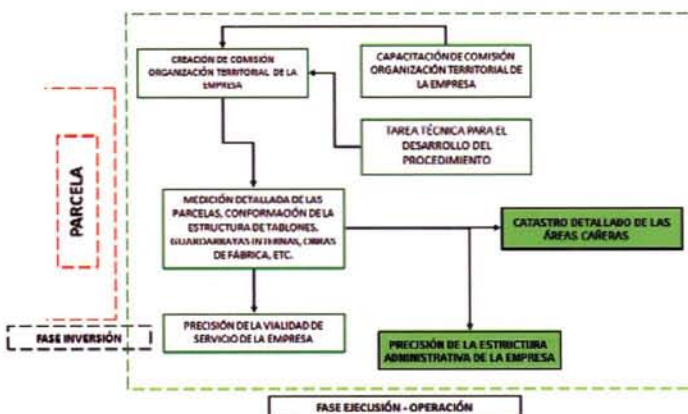


Figura 5. Esquema de gestión de la organización territorial dentro del desarrollo del sistema agrícola

para su desarrollo, trae cambios en el ecosistema, sin embargo siempre y cuando estos cambios sean evaluados sistemáticamente y no produzcan variaciones irreversibles, que incidan en su deterioro, pueden ser considerados válidos y de bajo impacto ecológico. Para ello el sistema, desde sus inicios presta especial atención al impacto ambiental, social y la armonización del mismo en el contexto económico y cultural de la región donde se desarrolla. La Soil Science Society of America estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen et al., 1996). Doran & Parkin (1994, 1996) y Doran et al. (1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos.

La evaluación del impacto del desarrollo del sistema agrícola propuesto se plantea, desde sus inicios, y presta especial atención al impacto ambiental, social y la armonización del mismo en el contexto económico y cultural de la región donde se desarrolla, en todos los casos se toma, lo que se ha denominado "línea base". Durante el desarrollo del sistema se han ido dejando evidencias del "punto de partida", en unos casos por la información georreferenciada de puntos con las características de la tierra, en otros por el inventario (encuesta) desarrollada a posible productores, donde entre otra se tomó la información social y económica, la que permite durante la explotación sistemática perfeccionar la toma de decisiones para un manejo adecuado del entorno y permitir con ello que cualquier cambio que sobre el mismo se pueda evidenciar no contribuya a su deterioro. El manejo de la información resultante de las encuestas durante el punto de partida del desarrollo del sistema agrícola y utilizando lo que Ávila, 2007, Barrera, 2007 y Fernández, 2007 reconocen como SIG\_PARTICIPATIVO y su utilidad en reconocer entre otras utilidades los cambios ocurridos en el medio ambiente interpretado por sus propios actores, mapificando los criterios resultantes de las encuestas realizadas.

La Figura 6, muestra las acciones previstas destinadas a evaluar el impacto del sistema agrícola propuesto.

A pesar de que se han desarrollado listas de indicadores de uso "universal" pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles (Doran y Parkin, 1994, 1996), se decidió utilizar algunos propuestos por Cantú et al., 2007, (C orgánico, pH, saturación de bases, estabilidad de agregados, velocidad de infiltración, densidad aparente y espesor del horizonte A), otros relacionados con la calidad del suelo basado en los criterios de Font et al., 2006, relacionándolos, en todos los casos con los puntos iniciales preestablecidos desde el comienzo del desarrollo del sistema, así como otros índices que consideran la alimentación humana, la animal y la diversidad complemen-



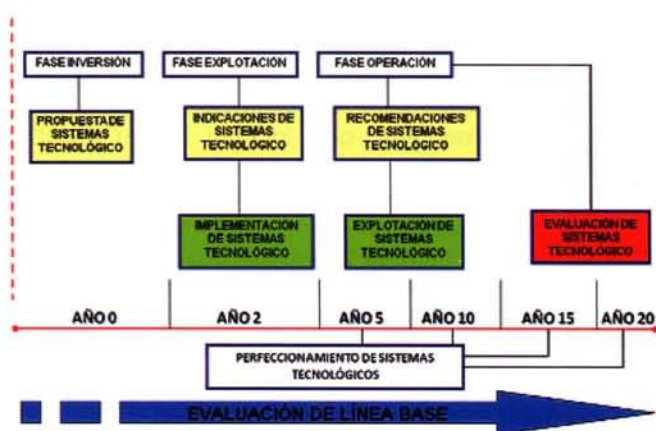


Figura 6. Principios sugeridos para evaluar el impacto del desarrollo del sistema agrícola

taria acompañante propuestos por Lores y Leyva, 2009 y Leyva Galán y Lores Pérez, 2010.

## Referencias

Arcia, J., Menéndez, A., Santana, M., Villegas, R., Pérez, E., García, E. y Machado, I. (2010): Principios metodológicos para el establecimiento de sistemas agrícolas. En Memorias XVII Congreso Científico Internacional del INCA., ISBN 978-859-7023-48-7, San José de las Lajas, La Habana, 22-26 noviembre, 2010.

Ávila, A. (2007): Informe final de la aplicación de metodología. Cartografía participativa de redes sociales de seguridad alimentaria y sistematización de información espacial - Proyecto 215 "Fortalecimiento del tejido local para la inclusión social" localidad de Suba – UPZ El Rincón. Bogotá. Colombia.

Barrera, S. (2007): Grupo SIG Participativo. Reflexiones sobre SIG participativo (SIGP) y Cartografía Social. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia

Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C. y Schiavo, H.F. (2007): Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. En Revista Ciencia Suelos V.25 n.2, Buenos Aires agosto/diciembre.

Cobos, C. A., Timaná, Jimena Adriana y Valencia Vallejo, R. (2008): Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vol 6, No. 1

Doran, J.W., Sarrantonio, M. and Liebig, M.A. (1996): Soil Health and sustainability. Pp.1-54. In: LD Sparks (ed.). Advances in Agronomy, Vol 56. Academic Press Inc. San Diego CA.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1996): Quantitative indicators of soil Quality: a minimum data set Pp. 25-37. In: Methods for assessing Soil Quality, SSSA Special Publication N° 49, Wisconsin, USA.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994): Defining and assessing soil quality. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart(eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.

Fernández, M. (2007): Informe de la aplicación de metodología. Cartografía participativa de redes sociales de seguridad alimentaria y sistematización de información espacial- Proyecto 215 "Fortalecimiento del tejido local para la inclusión social" localidad de San Cristóbal – UPZ Los Libertadores, Bogotá.

Font, L., Calero, B., Chaveli, P., Del Castillo, A., Mendoza, L., Pacheco, O., Francisco, A., Pérez, D., Guerra, A., Caballero, R. y Valencia, M. (2006): Diagnóstico microbiológicos del suelo. Una necesidad en el desarrollo sostenible de los agrosistemas. En VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo., Memorias CD-ROM., ISBN 959-7023-35-0

INICA (1994): Estudio de Suelos y Evaluación de Factores Limitantes para el cultivo de la caña de azúcar en las áreas del Ingenio "La Joya" (Grupo TEOP), Campeche, México. Informe 54 p.

INICA (1995): Estudio de Suelos y Evaluación de Factores Limitantes para el cultivo de la caña de azúcar en las áreas del Ingenio "Zapoapita", Veracruz, México. Informe 102 p.

INICA (1996): Estudio de suelos de las áreas cañeras del Ingenio Santo Domingo, Oaxaca, México. La Habana, Cuba. pp. 54.

INICA (1998): Actualización del estudio de suelos y perfeccionamiento de los criterios para el manejo de los fertilizantes. Ingenio Don Pablo Machado Llosas. Informe Parte II. La Habana, Cuba. pp. 23

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.C., Harris, R.F. and Schuman, G.E. (1996): Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. Soil Science Society of America, Committee.

Leyva Galán, A. y Lores Pérez, A. (2010): Aplicación de nuevos índice de diversidad como herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los agroecosistemas de San José de las Lajas. En Memorias del XVII Congreso Científico del INCA. San José de las Lajas, Noviembre 2010. CD\_Romm. ISBN 978-859-7023-48-7.

Lores, A y Leyva, A. 2009. Propuesta metodológica para el desarrollo sostenible de los agroecosistemas. Contribución al estudio de la agrobiodiversidad. Estudio de caso: Comunidad "Zaragoza", La Habana, Cuba. [Tesis Doctorado]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícola; Centro. Universitario de Guantánamo. Ministerio de Educación Superior, Cuba.



# Valoración de impactos en ecosistemas costeros ante el riesgo de penetración del mar

## Coastal ecosystems impact assessment to face sea water penetration risks

Lemus, Yosvany; Figueroa, César; Delgado, Freddy; Fuster, Freddy

ECOVIDA, Pinar del Río, Cuba.

---

### Resumen

En la presente investigación se hizo la evaluación del riesgo por penetración del mar en el sector costero La Bajada – Punta Caimán, para el periodo de recurrencia de 1/10 años. Este sector forma parte de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes. La metodología utilizada es la que se establece en la Directiva No. 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional para la Planificación, Organización y preparación del país para las situaciones de Desastres. 1/6 2005. La evaluación se describe de forma cualitativa, obteniéndose que el complejo de vegetación de costa arenosa, el manglar mixto y el bosque medio de ciénaga, presentan un riesgo alto ante la penetración del mar en el periodo de recurrencia de los eventos analizados, por sus niveles de alto peligro y alta vulnerabilidad. Las formaciones bosque medio semideciduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo presentan un riesgo bajo, por sus niveles de peligro bajo y baja vulnerabilidad, donde la magnitud de los impactos aumentan con el incremento de la categoría del evento. Por último se confeccionó un plan de medidas para mitigar los riesgos identificados.

**Palabras claves:** Riesgo, Peligro, vulnerabilidad, escenarios de peligro y ecosistemas.

### Abstract

*In this paper is presented the coastal risk assessment due the penetration of the sea in the coastal sector of Punta Caiman – La Bajada, for a period of 1/10 years recurrence. This sector is part of the Biosphere Reserve P. G. The method used was established by the Directive 1 issued 1/6 2005 by the Ministry of Defence regarding the organization and preparation of the country to face Natural Disaster.*

*The assessment was made using qualitative methods, which showed that the sandy coast complex of vegetation, the mixed swamp and forest marsh were highly to the penetration of se water in the period of recurrence in the analyzed events. Therefore the vulnerability and danger in this zone are higher the semideciduous notophylous forest and the microphyllous evergreen low forest were less affected and classified of low risk presented by its low level of danger and low level of vulnerability, where the magnitude of the impacts increases with the increasing of storm category. Finally a plan of measures was created to mitigate the risks identified by this research.*

**Key words:** Risk, danger, vulnerability, dangerous scenery and ecosystems

### Introducción

Las intensas y extensas actividades desarrolladas por el hombre a escala global han provocado una fuerte transformación de los ecosistemas naturales, como los de montañas, los humedales y en particular los costeros, debido a su alto grado de fragilidad, a su compleja geodinámica y por constituir sistemas de interfase. Cerca del 41 % de la población mundial habita en los ecosistemas costeros, (Martínez, 2007), esto ha provocado la pérdida de la diversidad biológica en los mismos, alteraciones en su funcionamiento y, en algunos casos, la transformación o desaparición.

En Cuba, tales ecosistemas también han sufrido modificaciones y los costeros están entre los más explotados actualmente, identificándose la degradación de hábitats costeros y marinos, afectaciones a las playas y la contaminación y explotación inadecuada de recursos naturales como los principales problemas ambientales.



La influencia de eventos geológicos y meteorológicos en los ecosistemas costeros impone nuevos retos y direcciones de investigación urgente de manera impostergable, orientadas al diagnóstico de la situación ambiental, a la conservación y preservación, a determinar las limitantes que la naturaleza impone al nivel tecnológico actual. Dentro de estas nuevas líneas investigativas surgen las relacionadas con el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo, las cuales son estimuladas en el ámbito internacional por la creación del programa para la reducción de desastres de la Organización de las Naciones Unidas, donde la última década del siglo XX fue declarada como el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN).

El extremo sur occidental de la provincia de Pinar del Río ha estado expuesto, en la presente década, a fuertes eventos naturales, contabilizando 7 huracanes, con destaque para el Iván, que causó el mayor impacto en los ecosistemas costeros. La acción del hombre ha posibilitado el incremento de la vulnerabilidad y la envergadura de los impactos de estos eventos naturales.

### Breve Caracterización del Área

La presente investigación se desarrolla en un sector de la costa sur de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, zona intensamente dañada en los últimos cinco años por fuertes eventos meteorológicos. El sector se extiende desde Punta Caimán hasta La Bajada, que administrativamente pertenece al municipio Sandino. Se ubica entre los  $21^{\circ} 48' 07''$  y  $21^{\circ} 55' 22''$  Latitud Norte y  $84^{\circ} 30' 45''$  y  $84^{\circ} 29' 17''$  Longitud Oeste, con una extensión de 17.64 Km.

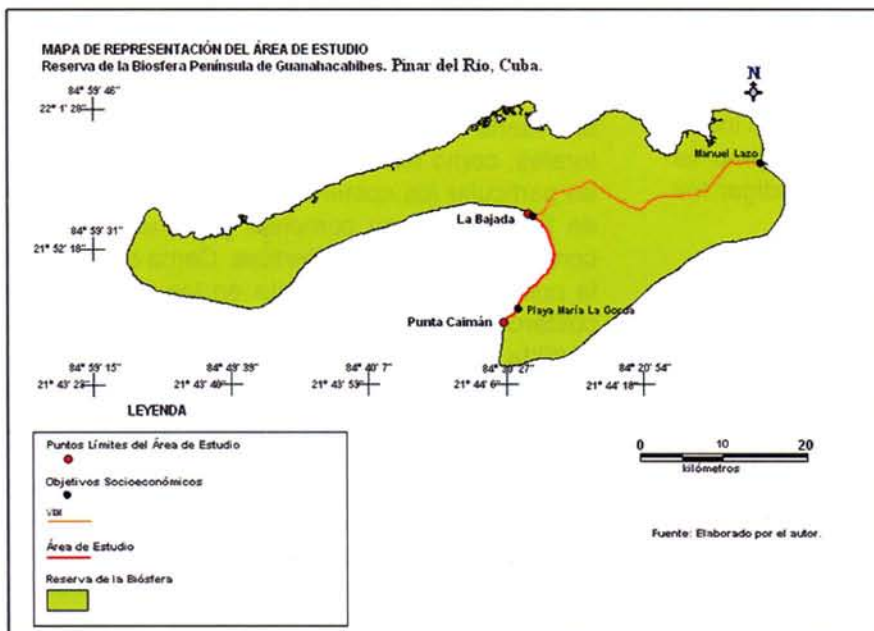


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

Según Denis et al., (2004), desde el punto de vista geológico lo componen arenas calcáreas biodetríticas de edad Holoceno, rocas calizas arrecifales biodetríticas y coralinas de edad Pleistoceno Medio al Superior y rocas calizas organógenas, fragmentarias, de color blanco a crema, edad Plioceno – Pleistoceno Inferior. Desde el punto de vista geomorfológico este sector representa una llanura litoral baja cársica, con acantilados y fondos pedregosos. Con cotas que varían desde 0,0 m sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.) en el litoral, hasta 2,5 m en las partes más elevadas. Se desarrollan las rendzinas rojas como tipo de suelo, principalmente sobre carso semidesnudo y desnudo. Las principales formaciones vegetales presentes son: complejos de vegetación de costa arenosa, bosque medio de ciénagas, manglar mixto, bosque bajo siempre verde micrófilo y bosque medio semideciduo notófilo. Este sector presenta importantes objetivos sociales, turísticos, científicos y ecológicos.

### Materiales y métodos

Según el mapa de vegetación realizado por Delgado et al., (2004), teniendo en cuenta los criterios de: Rico-Gray (1982), Capote y Berazaín (1984), Bisse (1989), Delgado y Sotolongo (En prensa), Hernández et al. (1994), Ferro et al. (1995), Borhidi (1996), y los datos obtenidos de los 17 perfiles de vegetación ejecutados en las expediciones de campo hechas al área, se localizan las formaciones vegetales que se describen a continuación, las que se observan en la figura No 2.

- Complejo de vegetación de costa arenosa: Forma una franja de 20 a 60 m de ancho. Por la fisonomía y composición que manifiesta, se divide en tres variantes: vegetación de playa o costa arenosa, uveral y franja *Thrinax-Bursera*.

- Manglar mixto: Su fisonomía y composición puede variar en dependencia del grado de salinidad de los suelos, pobreza de nutrientes, períodos de inundación, entre otras (Lugo y Snadaker 1974, citado por Delgado et al., 2004), y se desarrolla en las zonas expuestas a inundaciones periódicas, siempre asociado a las lagunas interiores y al bosque de ciénaga.

- Bosque medio de ciénaga: El bosque medio de ciénaga se



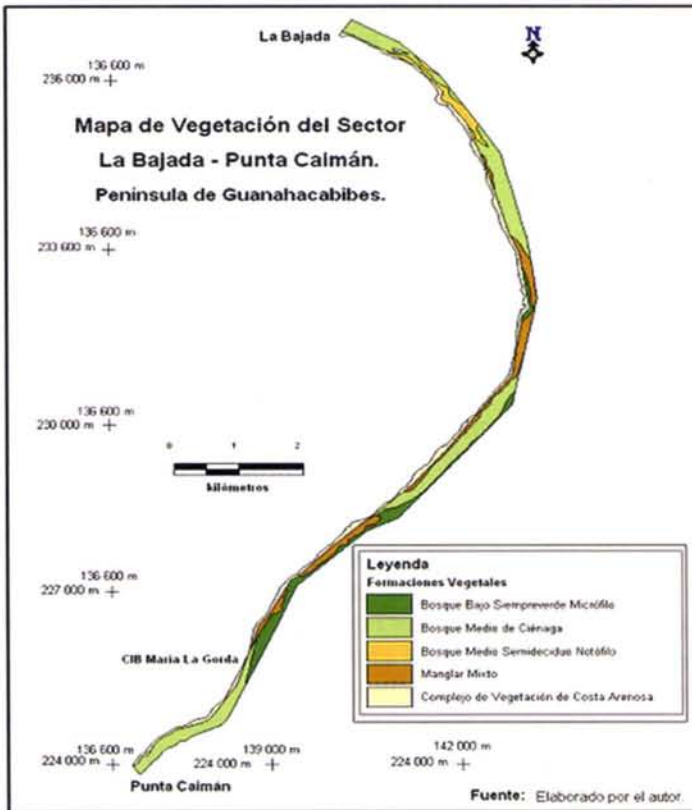


Figura 2. Mapa de vegetación del Sector La Bajada Punta Calmán. Península de Guanahacabibes

establece hacia el interior de la franja de arena carbonatada, donde existe una depresión, inundable en el período lluvioso, con suelo de ciénaga y alta acumulación de materia orgánica en diferentes fases de descomposición, esta formación presenta cuatro variantes: Bosque medio de ciénaga con dominancia de *Hibiscus elatus* Sw., bosque medio de ciénaga con dominancia de *Calophyllum* spp, bosque medio de ciénaga con dominancia de *Tabebuia* spp y bosque medio de ciénaga con dominancia de *Roystonea regia* (HBK.) O. F. Cook.

- Bosque bajo siempreverde micrófilo: Este bosque ocupa una franja alargada y continua a lo largo de casi todo el sector costero de estudio, desarrollándose detrás del bosque medio de ciénaga. Se caracteriza por tener un estrato arbóreo de 6 a 8 m de alto con elevada densidad de individuos que generalmente no sobrepasan los 10 cm de diámetro a 1.30 m, también existen individuos con mayor diámetro (30 cm ó más), pero con alturas que no sobrepasan los 15 m.

- Bosque medio semidecídúo notófilo: El bosque medio semidecídúo notófilo ocupa la menor superficie en el territorio de estudio, se desarrolla sobre el afloramiento de la roca caliza, las que pueden estar desnudas, cubiertas parcial o totalmente por rendzina roja. El 60.3% de las especies que componen esta formación son árboles (Delgado, 1999).

La investigación se realizó en la totalidad del área que comprende el sector, particularizando cada uno de los ecosistemas descritos y se realizó el estudio guiados por los lineamientos descritos en la Directiva 01 de junio del 2005, del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional, "Para la Planificación, Organización y Preparación del País para Situaciones de Desastres", específicamente el componente natural y empleando métodos cualitativos.

Después de haber identificado los escenarios de peligros se evaluó el peligro de la penetración del mar, para eventos con período de recurrencia de 1/10 años.

El Método lineal: Este método de simulación consiste en asumir como hipótesis, que el oleaje se reduce de modo lineal tierra adentro, siendo este concepto el más aceptado para la ejecución de este proyecto. Para el modelaje con el SIG, se mantendrá una altura del agua constante para una X cantidad de metros hasta el interior, de ahí en adelante se presume una reducción lineal en la altura al límite de inundación, este límite estará basado en la medición, estimación, consultas a moradores del lugar e informes históricos de límites reales de inundación de los diferentes ciclones que han afectado el área objeto, el cual se denomina Coeficiente de Decaimiento de Ola (SDC por sus siglas en inglés: Surge Decay Coeficient) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$SDC = \frac{\text{Altura de la surgencia} - \text{cota promedio del terreno al final de la inundación}}{\text{Área total inundada} - \text{Área con inundación total a una altura constante}}$$

Se contactaron los valores meteorológicos de mareas astrológicas y la elevación asociada por la fuerza de los vientos, de acuerdo a los eventos evaluados.

Con la información obtenida y la probabilidad de ocurrencia del evento se calculó el nivel de peligro de penetración del mar sobre el sector estudiado para la simulación, de forma cualitativa.

El peligro se clasificó de la forma siguiente:

Clasificación del Peligro	Magnitudes de impacto
Bajo	Nivel bajo de afectación
Moderado	Nivel medio de afectación
Alto	Nivel alto de afectación

Tabla 1. Niveles de clasificación del peligro. Fuente: Elaborado por los autores.

Para la clasificación del peligro se consideró lo siguiente:



Bajo: Arrastre en la vegetación herbácea, sin daños en la estructura del manglar, sin acumulación de sólidos en lagunas y sin daños en las formaciones posteriores.

Moderado: Afectación a algunos árboles en el complejo de vegetación de costa arenosa, afectación de ramas y pocos árboles, afectación ligera de sólidos en lagunas y sin afectación en las formaciones posteriores.

Alto: Erosión y arrastre en toda el área del complejo de vegetación de costa arenosa, afectaciones a árboles, mortalidad masiva de individuos, aportes de sólidos en las lagunas, aportes de sales y arrastres de suelos en las formaciones posteriores.

En la evaluación de la vulnerabilidad se tuvo en cuenta solo el componente ecológico, expresado mediante una función matemática, con la fórmula siguiente:

$$V = V_e + V_f + V_{ec}$$

donde:

$V_e$ : Vulnerabilidad estructural.

$V_f$ : Vulnerabilidad funcional

$V_{ec}$ : Vulnerabilidad ecológica

La misma se clasificó de la siguiente forma:

Clasificación de la vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad
Afectación ligera	Baja
Afectación moderada	Media
Alta afectación	Alta

Tabla 2: Niveles de clasificación de la vulnerabilidad.  
Fuente: Elaborado por los autores

Donde:

Baja: Existe estabilidad estructural de las formaciones vegetales y ubicación protegida a impactos.  
Media: Alteración en la estabilidad y estructura de las formaciones vegetales, ubicación en áreas expuestas.

Alta: No hay estabilidad estructural y funcional en los ecosistemas, ubicación directamente expuesta a impactos.

Para la evaluación del riesgo se elaboró una tabla de correlaciones entre los niveles de peligro y vulnerabilidad conservando su carácter cualitativo, apoyados en criterios de expertos.

Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo
Bajo	Baja	Bajo
Bajo	Media	Bajo
Bajo	Alta	Medio
Medio	Baja	Bajo
Medio	Media	Medio
Medio	Alta	Alto
Alto	Baja	Medio
Alto	Media	Alto
Alto	Alta	Alto

Tabla 3: Evaluación del riesgo.  
Fuente: Elaborado por los autores

Para la confección del mapa de formaciones vegetales se utilizaron datos de Delgado et al., (2004), teniendo en cuenta los criterios de: Rico-Gray (1982), Capote y Berazaín (1984), Bisse (1989), Delgado y Sotolongo (En prensa), Hernández et al. (1994), Ferro et al. (1995), Borhidi (1996), y los datos obtenidos de los 17 perfiles de vegetación ejecutados en las expediciones de campo hechas al área. (Ver Figura No.2). Se confeccionó un mapa inicial del escenario y un mapa de riesgo, Una vez evaluado el riesgo y confeccionado los mapas se elaboró el plan de medidas para trabajar en la reducción de la vulnerabilidad en la zona de estudio y con ello contribuir a la gestión sostenible de los recursos.

La escala de trabajo fue 1: 25 000, la salida, la edición y presentación es en 1:50 000.

## Resultados y discusión

El primer resultado obtenido fue el diagnóstico efectuado al área sobre el estado actual de la vegetación pasado 3 años de la penetración del mar, ocurrida en el año 2004.

El complejo de vegetación de costa arenosa presenta restos de la composición original, una incipiente regeneración natural y la presencia de numerosos juveniles.

Hay que destacar que la construcción del vial sobre la duna debilitó la resistencia natural de la formación y propició que los daños se incrementaran, así como el retardo de su período de recuperación.

El Bosque medio de ciénaga presentaba canales de comunicación con el mar que permitían la evacuación del agua y de arenas disueltas en ella que arribaban por la penetración del mar. Con la construcción del vial se interrumpió esta comunicación y actualmente se localizan dentro del área de ciénaga montículos en formas de islas por la acumulación de rocas y arena aportada por la penetración del mar, sobre la cual se está empezando a desarrollar una vegetación ajena a la formación. Su re-



cuperación se aprecia con menos rapidez, existiendo muy baja densidad de plántulas.

El evento (Huracán Iván 2004) provocó en el manglar mixto una destrucción casi completa, como consecuencia de la penetración del mar hacia las lagunas y lugares bajos, se provocó un incremento considerable de la salinidad ocasionado por el estancamiento del agua, lo que originó la muerte masiva del estrato arbóreo. Esta vegetación se encuentra en un estado de incipiente recuperación, al observarse una alta densidad de individuos jóvenes de *Conocarpus erecta* L y *Avicennia germinans* (L.) L.

El bosque medio semideciduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo no sufrieron afectaciones, debido fundamentalmente a su ubicación más retirada.

### Identificación de los escenarios de peligro

En el área de estudio se identificó el escenario y se determinó su susceptibilidad, dividiéndose en sus componentes naturales.

- Complejo de vegetación de costa arenosa: Muy susceptible por ser la primera barrera frente al mar y presentar graves afectaciones en su estructura por acciones antrópicas.
- Manglar mixto: Muy susceptible debido a la destrucción de los canales de evacuación naturales y al grado de exposición a los embates del mar.
- Bosque medio de ciénaga: Muy susceptible debido a la posible pérdida de su estructura por la acumulación de sólidos y el incremento de los niveles de salinidad.
- Bosque medio semideciduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo: susceptibilidad baja, en correspondencia con su ubicación en terrenos más altos y más resguardados

### Evaluación del Peligro

El peligro se comporta de forma proporcional a la susceptibilidad, presentando categoría de peligro Alto el Complejo de vegetación de costa arenosa, Manglar mixto y Bosque medio de ciénaga; así el Bosque medio semideciduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo presentan categoría de peligro Bajo.

### Evaluación de la Vulnerabilidad

Complejo de vegetación de costa arenosa: la evaluación realizada muestra que esta formación ha sido muy afectada por la acción antrópica, con

pérdida de su estructura y composición y disminución de sus dimensiones, entre otras, por lo que la vulnerabilidad alcanza el nivel de Alta.

Manglar mixto: esta formación ha sido muy afectada por los eventos ocurridos en fechas recientes y por la pérdida de la defensa de la formación que lo antecede, su estructura está muy dañada, además, por el incremento de la salinidad del agua y el estancamiento ocurrido en el bosque de Ciénaga, que afecta su supervivencia por los bajos niveles de oxígeno y el aumento de los sedimentos, el nivel de la vulnerabilidad es Alta.

Bosque medio de ciénaga: La vulnerabilidad de la formación es alta, como se ha explicado, este ecosistema está sufriendo una transformación que ha cambiado su estructura y de continuar la afectación que lo origina, puede desaparecer.

Bosque medio semideciduo notófilo y bosque bajo siempreverde micrófilo: Estas formaciones se encuentran protegidas por su ubicación geográfica, la composición de su vegetación y las características del suelo, por lo que los niveles de su vulnerabilidad es Bajo.

### Evaluación del Riesgo

El comportamiento del riesgo en la zona de estudio para el período de recurrencia de 1/10 años, la categoría de riesgo alto predomina, está presente en las formaciones más cercanas a la costa, el complejo de vegetación de costa arenosa, el manglar mixto y el bosque medio de ciénaga, dado por sus niveles de alto peligro y alta vulnerabilidad. Las formaciones bosque medio semideciduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo presentan un riesgo bajo, siendo las de menor representatividad en el área, estos resultados se presentan en la Figura 3.

### Propuestas de medidas para minimizar el riesgo por penetraciones del mar

Estas medidas están dirigidas para fortalecer el plan de Gestión Ambiental de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, a partir de la valoración del riesgo de penetración del mar sobre los ecosistemas costeros, no considerados hasta el presente.

**Riesgo:** Pérdida de estructura del ecosistema, derribo, arrastre y eliminación de secciones del complejo de vegetación de costa arenosa.

**Impactos:**

- Destrucción parcial o total del complejo de vegetación de costa arenosa.



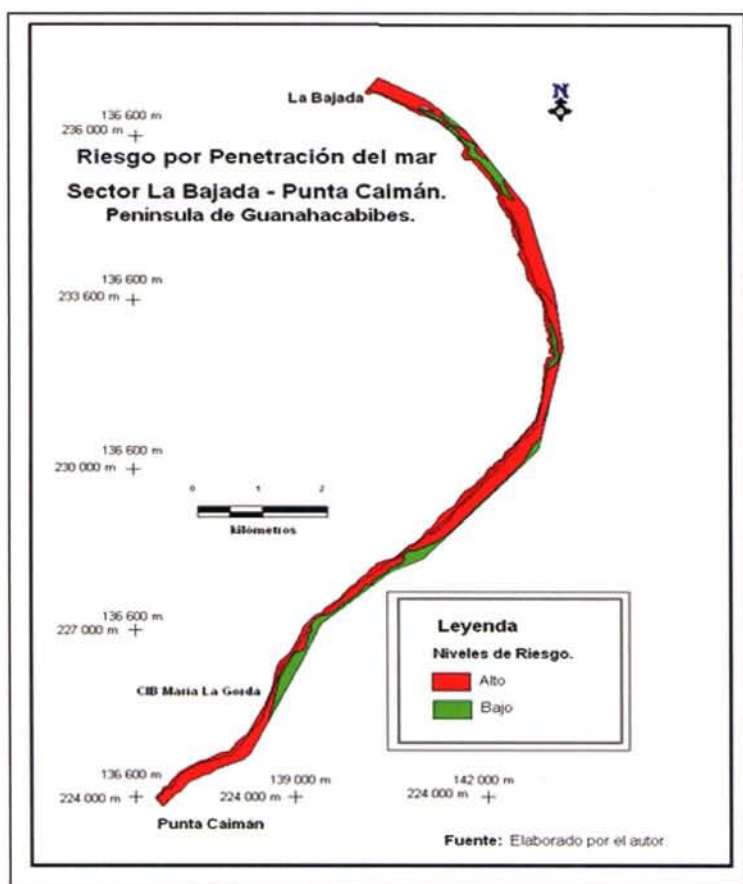


Figura 3. Mapa de Riesgo por penetración del mar. Sector La Bajada – Punta Caimán. Península de Guanahacabibes.

- Erosión costera.
- Pérdida y retroceso de la línea costera.

#### Medidas:

- Establecer para la EFI Guanahacabibes, por los lineamientos de la Directiva 1, la prioridad de reforestación del complejo de vegetación de costa arenosa, con especies arbóreas típicas, en las zonas afectadas por eventos anteriores y cuando se repita otro, fundamentalmente con especies como: *Coccoloba uvifera* (L.) Jacq, *Thrinax radiata* Lodb. Ex Schult, en mayor medida en la zona del uveral y la de *Trinax* – bursera, fiscalizado por el SEF del municipio.

- Realizar tareas de concientización entre pobladores, trabajadores y directivos, sobre el papel e importancia del complejo de vegetación de costa arenosa para la conservación de los flujos y las instalaciones existentes propiciando la participación comunitaria en la reforestación del complejo de vegetación de costa arenosa.

**Riesgo:** Alta mortalidad, afectación en la estructura y funcionalidad del manglar mixto.

#### Impactos:

- Elevación del nivel de agua y salinización del suelo producto de la penetración del mar.
- Muerte masiva de individuos.
- Proliferación de plagas y enfermedades por la existencia de individuos muertos, derribados y arrastrado por la penetración del mar.
- Afectaciones en los procesos fenológicos de las especies, debido a que disminuye la producción de flores y frutos, la cual puede tardar entre 1 y 4 años en recuperarse, incidiendo negativamente en la apicultura.
- Pérdidas de niveles tróficos.

#### Medidas:

- Reforestación.
- Posterior al evento y de forma inmediata llevar a cabo el aprovechamiento de los árboles derribados, para impedir posible proliferación de plagas y enfermedades en el mismo.
- Realizar al concluir el evento de penetración del mar de forma inmediata el dragado artificial del agua sobre acumulada, como alternativa a las obras ingenieras, evitando el aumento del nivel de agua y la salinidad del suelo por encima de los límites permisibles para estas formaciones, lo cual produce daños severos.

**Riesgo:** Disminución de la superficie y muerte de individuos en el bosque medio de ciénaga.

#### Impactos:

- Asolvamiento de la ciénaga por el aporte de sólidos presumiblemente por el acarreo del mar al penetrar.
- Cambio de vegetación y pérdida de función.
- Proliferación de plagas y enfermedades por la existencia de individuos muertos, derribados y arrastrado por la penetración del mar.
- Afectación a la fauna asociada.



#### Medidas:

- Restablecer el drenaje de la ciénaga al mar para evacuar rápidamente la sobre acumulación de agua una vez ocurrida la penetración del mar.

- Realizar, al concluir el evento de penetración del mar, de forma inmediata el dragado artificial del agua y sólidos acumulados, como alternativa a las obras ingenieras, evitando el aumento del nivel de agua y la salinidad del suelo por encima de los límites permisibles para estas formaciones, lo cual produce daños severos.

- Posterior al evento y de forma inmediata llevar a cabo el aprovechamiento de los árboles derribados, para impedir posible ploriferación de plagas y enfermedades en el mismo.

Riesgo: Afectación del paisaje natural y pérdida de estructura y funcionalidad de las formaciones vegetales.

#### Impactos:

- Destrucción de componentes, derribo y arrastre de individuos.

- Mortandad generalizada de individuos vegetales.

#### Medidas:

- Introducir la prevención y manejo de la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales costeros en la gestión ambiental del área.

Riesgo: Desestimación del valor de la diversidad biológica en los ecosistemas costeros en beneficio de los valores económicos del área de estudio.

#### Impactos:

- Pérdida del valor natural que sustenta la ganancia económica.

- Cero inversiones en la recuperación de la diversidad afectada por la ocurrencia de los eventos estudiados.

#### Medidas:

- Introducción de la dimensión ambiental en el currículo de trabajadores, decisores y población en general del área con el empleo de cursos de posgrados, charlas y conferencias dirigidas.

- Realizar igual labor sobre la percepción de los riesgos naturales.

- Fundamentar y transmitir el valor ecológico y económico de las formaciones naturales del área.

## Conclusiones

1. El nivel de impacto que presentan los ecosistemas vegetales costeros en la zona de estudio ha estado determinado por la acción del hombre, en primer término por el aprovechamiento forestal masivo y por la construcción del vial María La Gorda – La Bajada, que afectó el complejo de vegetación de costa arenosa y obstruyó los canales de comunicación del bosque de ciénaga con el mar.

2. La susceptibilidad, el peligro y la vulnerabilidad de Complejo de vegetación de costa arenosa, Manglar mixto y Bosque medio de ciénaga alcanzan la categoría máxima, asociado a los impactos recibidos, la acción antrópica y la no prioridad en su manejo y recuperación, caso contrario para el Bosque medio semidecíduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo, que presentan los niveles más bajos.

3. El nivel de riesgo por penetración del mar en:

- El Complejo de vegetación de costa arenosa es alto, no solo por sus valores de peligro y vulnerabilidad, si no también por la afectación causada por el vial y la desatención a que está sometido.

- El Manglar mixto es alto por el grado de deterioro que presenta su estructura y la afectación a que está sometido su hábitat.

- El Bosque medio de ciénaga es alto, con la posibilidad de desaparecer o cambiar su estructura a largo plazo, principalmente por la desaparición de las vías de comunicación con el mar.

- El Bosque medio semidecíduo notófilo y el bosque bajo siempreverde micrófilo presentan niveles bajos de riesgo, a pesar de que la estructura de las formaciones han sido afectadas por el manejo forestal.

4. El plan de medidas que se propone está basado en la mitigación de los riesgos por penetración del mar de los recursos presentes en el sector de estudio La Bajada – Punta Caimán, con un carácter multisectorial.

## Referencias

Alonso, David A., Vides, Martha P. y Londoño, Marelvis. (2001). Amenazas y Riesgos ambientales en las zonas costeras colombianas. Colombia. 8 p.



Disponible en: <http://www.universia.net> [Consulta: enero 25 2007]

Castro Ruz, R. (2005). Directiva No. 1 Vicepresidente el Consejo de Defensa Nacional para la Planificación, Organización y preparación del país para las situaciones de Desastres.

CEM. (2000). Decreto-Ley 212-2000. Gestión de la zona costera 08 / 08 / 2000. Gaceta Oficial de la República de Cuba.

Delgado, F. (1999). Estructura y Diversidad Forestal de los Bosques Semidecíduos de la Reserva de Biosfera Península de Guanahacabibes. Tesis (en opción al título de Master en Ecología y Sistemática Aplicada.). Delegación del CITMA. Pinar del Río.

Delgado, F.; Pérez Hernández, Alina.; Pérez Rodríguez, Evelyn.; Hernández Pérez, D.; et al. (2004). Propuesta de Ordenamiento Ecológico de la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba. pp 6 -14.

Denis Valle, R.; Díaz Guanche, C.; Carmenate Rodríguez, H.; Rosa Saavedra, C.; Hernández Pérez, P. (2004). Características Geológicas Y Geomorfológicas de la Península de Guanahacabibes. Pinar del Río, Cuba. pp 2 -10.

FAO. (2001). Los desastres históricos y las pérdidas en la agricultura. Disponible en: <http://www.universia.net> [Consulta: enero 17 2007].

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

Lezcano, J.C. y Pérez Hernández, A.L. (1992). Peligro de inundaciones costeras a partir de la incidencia de eventos meteorológicos extremos y la pendiente costera. (inédito).INSMET., IPF. Cuba. pp 10-20.

Llosa, Silvia. (2006). Taller del UNFCCC: Reducción del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático. Lima. 20 p.

Martínez, Luisa. (2007). II Simposio Internacional sobre Restauración Ecológica. Libro Resumen. Ciudad de Santa Clara, Cuba. pp 4 – 16.

Rubiera, J. (2002). El huracán Mitch: el más desastroso de la historia centroamericana. En: LUGO, J. y M. Inbar (compiladores). Desastres en América Latina. Fondo de Cultura Económica. México. pp 289-300.

---

---

## **BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN MAPPING**

Deseo suscribirme a la revista MAPPING por 1 año al precio de 120 euros para España

Forma de pago: Talón nominativo o transferencia a nombre de REVISTA MAPPING, S.L.

CAJA MADRID: Pº. de las Delicias, 82 - 28045 MADRID Nº 2038-1732-55-3001376203

Enviar a: REVISTA MAPPING, S.L. - C/ Hileras, 4, 2º, Of. 2 - 28013 MADRID.

Nombre ..... NIF ó CIF .....

Empresa ..... Cargo .....

Dirección ..... Teléfono .....



# Blom refuerza su estructura internacional para ser más ágil y competitiva

Blom, la mayor empresa europea dedicada a la recopilación y procesamiento de información geográfica de alta calidad, ha anunciado una nueva organización interna que le dotará de mayor agilidad y flexibilidad para adaptarse a las necesidades de sus clientes. De esta forma, Blom queda dividida en 5 áreas de negocio: Blom Europa Central, Blom Nordics, Blom Sur de Europa, Blom Europa del Este y Blom Iberia & Latinoamérica. Jan Skybak es el Director general de esta última área y además, pasa a ser Vicepresidente de Ventas & Marketing del Grupo.

En la creación de esta nueva estructura, Blom tendrá la posibilidad de diversificar sus productos y servicios, al mismo tiempo que disminuye los costes de adquisición por parte de sus clientes, adaptándose a un entorno más digital que le permitirá ofrecer sus soluciones a un rango mucho mayor de sectores y clientes a un mejor coste.

Blom dispone desde hace tiempo de una amplísima colección de imágenes aéreas y oblicuas. Existen 400 ciudades representadas en 3D con Blom3D y las librerías de Blom OBLIQUE cubren el 80% de la población europea; con lo que a partir de ahora ofrece servi-

cios como BlomWEB Viewer™ o BlomDESKTOP Viewer™ y continúa realizando acuerdos con terceros para hacer crecer aún más su gama de servicios, como BlomSTREET™ con Cyclomedia a través del cual lanzará un servicio de imágenes a pie de calle de alta calidad, sólo que para un mercado totalmente profesional.

Blom ofrece en España numerosas soluciones a través de un amplio rango de productos y servicios como: recopilación y procesamiento de datos medioambientales, datos catastrales, teledetección de fraudes urbanísticos o geomarketing. Todo ello, gracias a la gran apuesta de la compañía por la I+D, que en buena parte se desarrolla en España en el Parque tecnológico de Boecillo, Valladolid.

Numerosas Administraciones Públicas españolas, así como

compañías privadas ya confían en estas soluciones por el gran valor añadido que aportan y por cómo optimizan recursos, reduciendo considerablemente los costes sobre otros procesos o servicios tradicionales.

En el marco de esta nueva organización, la compañía reestructura su equipo en España para aumentar su agilidad y eficacia, siempre con el fin de ser más competitiva y seguir ofreciendo valor añadido con innovadoras soluciones cartográficas y de ingeniería a sus clientes.

Al respecto, Jan Skybak comenta: "Tenemos que ser más ágiles y la nueva estructura nos permitirá ser más eficaces, reducir costes y responder de forma más rápida a las necesidades que nuestros clientes actuales y potenciales nos plantean".

**BlomURBEX**

Blom's unique GeoServer GO TO madrid, plaza de españa





# NORMAS PARA AUTORES

## CONTENIDO

Mapping es una revista internacional en lengua española que publica artículos sobre Ciencias de la Tierra con un enfoque tanto investigativo como profesional. Mapping no es una revista especialista sino generalista donde se publican artículos de Topografía, Geodesia, SIG, Medio Ambiente, Teledetección, Cartografía, Catastro, Turismo y Ciencias de la Tierra en general. El amplio campo cubierto por esta publicación permite que en ella el lector, tanto científico como técnico, pueda encontrar los últimos trabajos publicados con las nuevas investigaciones y desarrollos en el campo de las Ciencias de la Tierra en la comunidad hispanohablante.

La revista Mapping invita a los autores de artículos en el campo de las Ciencias de la Tierra a la colaboración mediante el envío de manuscritos para su publicación, según las siguientes normas:

## ESTILO

El artículo será enviado como documento de texto con las siguientes normas de estilo:

- La fuente será "Times New Roman" a tamaño 12.
- Interlineado a doble espacio.
- Sin espaciado adicional al final o al principio de los párrafos.
- Justificación en ambos laterales.
- Títulos de los diferentes apartados y subapartados del artículo ordenados de manera numérica, en mayúsculas y en negrita.
- Tamaño del papel DIN A4.
- Márgenes verticales y laterales de 2,5 cm.
- No se admiten encabezados ni pies de página.

## LONGITUD

La longitud de los artículos no está establecida, recomendándose una extensión en torno a las 10 páginas para el texto con el estilo propuesto.

## SISTEMAS DE UNIDADES

Salvo excepciones que serán evaluadas por el Comité Editorial el sistema de unidades será el Sistema Internacional.

## FORMULAS MATEMÁTICAS

Las fórmulas matemáticas se incluirán en el cuerpo de texto en una línea aparte y con justificación centrada. Las fórmulas se numerarán correlativamente por su orden de aparición con su número entre paréntesis a la derecha.

## TABLAS

Las tablas se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación del texto, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final se incluirá una línea con la palabra "tabla" y su número en mayúsculas, con justificación centrada.

El diseño de las tablas será tal que permita su lectura con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho).

En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

## FIGURAS

Las figuras se incluirán en el artículo cada una de ellas en una hoja aparte a continuación de las tablas, numeradas en orden de aparición y con su leyenda. En el lugar del texto, en el cual deberán ser insertadas para la maquetación final y se incluirá una línea con la palabra "figura" y su

número en mayúsculas, con justificación centrada. El diseño de las figuras será tal que permita su visibilidad con maquetación a una columna (8 cm de ancho) y excepcionalmente a 2 columnas (16 cm de ancho). Se admiten figuras en blanco y negro y color.

## REFERENCIAS

En el cuerpo del texto del artículo las referencias se citarán por el apellido del autor y el año de publicación separados por una coma y entre paréntesis. Las referencias se incluirán al final del texto como un apartado más del mismo y se documentarán de acuerdo al estándar cuyo modelo se incluye a continuación:

### LIBROS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título. Edición. Editorial, ciudad de publicación. Número de páginas pp.*

### REVISTAS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del artículo. Revista, número (volumen), pp: pagina de inicio-pagina final.*

### DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

*Apellido 1, inicial del nombre 1., Apellido 2, inicial del nombre 2. (año) Título del documento. Enlace de Internet.*

En todos los casos se incluirán tantos autores como figuren en las referencias.

**No se admitirán artículos sin referencias.**

## FORMATO DEL MANUSCRITO

El documento que será enviado al comité editorial en el siguiente formato:

### HOJA DE PORTADA

En la hoja de portada se incluirán los siguientes datos  
**TÍTULO**

El título del artículo deberá tener menos de 15 palabras y estar escrito en español e inglés.

### AUTORES Y FILIACIÓN

A continuación del título se incluirán los autores en el orden de aparición, sus datos de filiación y contactos en el siguiente formato:

*Apellido, nombre.*

Institución o empresa. Teléfono.

Correo electrónico. País

### ARTÍCULO

El artículo estará formado por el cuerpo del texto, las tablas y figuras. **Irà precedido de su título en mayúsculas, un resumen de 100-200 palabras y palabras claves, todo ello en español e inglés.** El artículo comenzará en una hoja aparte y no contendrá ningún dato de los autores para la revisión anónima del mismo. La estructuración de los artículos es decisión de los autores pero se recomienda la estructura habitual en los artículos en publicaciones científicas.

### ENVIO DE LOS MANUSCRITOS

Los manuscritos serán enviados en formato digital, preferentemente PDF o WORD a la dirección de correo electrónico [manuscritos@mappinginteractivo.com](mailto:manuscritos@mappinginteractivo.com)



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

# cartografía digital



www.cnig.es



BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN1000, 500, 200, 25),  
MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50, 25),  
MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),  
LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,  
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS,  
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

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