

# Geovisualización: espacio, tiempo y territorio

J. OJEDA ZÚJAR

Catedrático de Geografía Física. Grupo de investigación: Ordenación Litoral y Tecnologías de Información Territorial, Universidad de Sevilla

**RESUMEN:** En este artículo se intenta realizar un recorrido por los espectaculares cambios producidos en la geovisualización del territorio en las últimas décadas, enfatizando las aportaciones que, para todas las disciplinas territoriales y ambientales, han supuesto las posibilidades de visualización 3D de la información geográfica y la incorporación de la dimensión temporal (4D) hasta llegar a las representaciones en tiempo real de diferentes aspectos de la realidad. La masiva producción de datos digitales sobre el territorio, la facilidad al acceso de Modelos Digitales de Terreno y/o a su producción con nuevos sensores y fuentes de información (teledetección, Lidar, GPS, etc.), la potencia y profusión de programas con funcionalidades 3D (SIG, CAD, etc.) y la popularización de visores 3D en Internet (globos y ciudades virtuales) ofrecen hoy nuevas perspectivas para aplicaciones territoriales y ambientales, tanto para técnicos como para ciudadanos generalistas. Por otra parte, la accesibilidad a datos multitemporales (servicios OGC-IDE), la profusión de datos procedentes de sensores fijos o embarcados en plataformas aéreas y espaciales, así como la propia información que los ciudadanos crean en el nuevo entorno participativo de la Web 2.0, ofrecen igualmente un amplio abanico de potenciales aplicaciones territoriales y medioambientales haciendo uso de la información multitemporal y datos en tiempo real.

**DESCRIPTORES:** Geovisualización. 3D. 4D. Infraestructuras de Datos Espaciales. Globos virtuales. Web 2.0.

## 1. Introducción

La geovisualización se ha convertido en una temática emergente que concita la convergencia de diversas disciplinas y campos científicos. La propia Asociación Internacional de Cartografía creó una comisión específica para ello en 1999 (*Commission on Visualization and Virtual Environment*). El concepto visualización alude a la transmisión de información y conocimiento a través de imá-

genes dirigidas a la vista que, en el caso de la geovisualización, se trata de información geográfica. Es decir, cualquier dato asociado a la superficie de la Tierra a través de un sistema de coordenadas o un descriptor (dirección, topónimo, etc.) que permita realizar esta asociación (geocodificación). Este hecho, unido a la posibilidad actual de incorporar la tercera (3D) y la cuarta dimensión (tiempo) en la geovisualización, enriquece su utilidad desde la perspectiva de su utilización en cualquier

Recibido: 01.10.2010; Revisado: 13.10.2010  
e-mail: zujar@us.es

El autor agradece a los evaluadores anónimos sus comentarios para la mejora del presente trabajo.

disciplina que tenga una componente territorial o ambiental (todas ellas con una clara dimensión espacio/temporal). De hecho, el mapa ha sido tradicionalmente un instrumento insustituible para el análisis, la evaluación, la planificación y la gestión territorial, urbanística y ambiental.

La proliferación de datos geográficos, debido a la revolución que han sufrido las fuentes de información territorial en las últimas décadas (sensores espaciales, aerotransportados, GPS, LIDAR, etc.), proporciona a la geovisualización un valor adicional ya que la visualización conjunta de diferentes datos geográficos es una de las formas más eficientes para el análisis de elevados conjuntos de datos espaciales, al aprovechar la enorme capacidad de integración de la mente humana a través de la vista. Sin embargo, con las tecnologías analógicas tradicionales (representaciones bidimensionales en papel —mapas o fotografías aéreas—) encontrábamos limitaciones importantes, agravadas por la peculiaridad de observar los datos geográficos desde una perspectiva especial: la proyección ortogonal de la realidad tridimensional sobre el espacio bidimensional de los clásicos mapas en papel.

Desde esta perspectiva, la tecnología digital y la geovisualización 3D proporciona un entorno visual más próximo a la realidad, especialmente útil en las aplicaciones relacionadas con la ordenación del territorio, el urbanismo y el medio ambiente. La dimensión temporal (4D), por otra parte, exige disponibilidad de datos multitemporales y, en las últimas décadas, se ha producido la irrupción de una ingente cantidad de ellos (tanto los producidos por los clásicos productores institucionales de información geográfica como por los propios ciudadanos en el contexto de Internet y la Web 2.0). En este sentido, un recurso cada día más accesible es la utilización de “servicios interoperables” de información geográfica a través de internet en el contexto de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEservicios OGC). Sin embargo, el entorno de Internet y los usuarios generalistas exigen el desarrollo de herramientas de visualización de utilización sencilla (visores) que tengan estas capacidades y puedan ser embebidos en los navegadores, aunque sea necesaria la utilización de un “plugin” que permita ejecutar las funciones de visualización 3D (*Google Earth* y resto de globos virtuales, por ejemplo) para los que no están preparados y, a su vez, que soporten los servicios interoperables OGC.

Aunque, como se precisó al comienzo, en el concepto de geovisualización convergen varias disciplinas y tecnologías (3D CAD, 3D SIG, Realidad Virtual, Realidad Aumentada, etc.), cada una con campos de investigación en pleno desarrollo, en este artículo se enfatizarán las soluciones más accesibles a los técnicos y usuarios generalistas, basándonos en la actual disponibilidad de datos de fácil acceso. Igualmente, el lector de este artículo debe ser consciente de que, por imperativos de espacio, solo se enfatizarán algunos aspectos del potencial que ofrecen las Tecnologías de Información Geográfica para la geovisualización 3D, así como su integración con el desarrollo de visores de utilización generalista por una parte, y del uso de los servicios interoperables (OGC) para la geovisualización multitemporal (4D) a través de Internet, por otra; todo ello en el ámbito de las disciplinas ligadas a la ordenación del territorio, el urbanismo y el medio ambiente.

La mayor parte de las figuras incluidas en este artículo se han elaborado utilizando las funcionalidades de geovisualización 2D/3D (sincronización geográfica de ventanas, visión tridimensional, transparencias, etc.) y las herramientas analíticas (cálculo en tiempo real de sombreados y pendientes, perfiles topográficos, etc.) del visor Condor, tanto en su versión sobremesa como siendo utilizado como “cliente web” embebido en los navegadores Mozilla y Explorer. Para una más pormenorizada descripción de las funcionalidades del visor se puede consultar OJEDA & *al.*, 2006, OJEDA & *al.*, 2007 y OJEDA, 2008.

## 2. Geovisualización 2D, 2.5D y 3D

El mapa, soporte tradicional y analógico de la información geográfica, ha sido históricamente el producto básico que ha permitido difundir los datos geográficos e integrarlos y relacionarlos en la mente humana a través de la vista. Su importancia ha sido tan trascendental que durante una parte importante de la historia de la humanidad se consideraron material estratégico. En parte, su éxito radica en que la mente humana es capaz de extraer del mapa más información de la que proporcionarían el listado secuencial y escrito de los elementos que lo componen, incluso si se asociara su posición geográfica con coordenadas explícitas para cada uno de ellos. Es decir, su traslación gráfica al soporte bidimensional, más su asociación a un sistema de coordenadas, permite su visualización instantánea (no secuencial), aportando adicional-

mente el enorme potencial de trasladar las relaciones espaciales (topológicas) de los elementos presentes en el mapa. Sin embargo, el soporte material del mapa analógico imponía fuertes limitaciones (imposibilidad de representar varias variables de la realidad sobre el mismo espacio, por ejemplo), que exigían a su creador una importante formación en “semiología gráfica” (BERTIN, 1956).

La proyección ortogonal de la realidad tridimensional sobre el espacio bidimensional de los clásicos mapas en papel (de difícil comprensión para usuarios no especializados) se complementaba con la incorporación de perfiles topográficos, sencillos esquemas y perspectivas tridimensionales que, a veces, acompañaban a los mapas para facilitar su interpretación. En casos excepcionales, se procedió a la producción de modelos físicos a pequeña escala, de elevado coste pero de gran éxito para el público generalista, por su facilidad de interpretación visual (todavía es un elemento masivamente utilizado en museos, centros de visitantes a espacios naturales, etc.). Desde los años cincuenta se comenzó a generalizar, para la difusión de la información geográfica, la producción de “mapas en relieve” por muchos servicios cartográficos, un producto destinado a la difusión y de enorme interés desde la perspectiva educativa.

La irrupción de la informática y los datos digitales (CAD, teledetección, SIG, cartografía automática, etc.) aportaron soluciones rápidas a muchos de los problemas que limitaban los productos destinados a la geovisualización durante el periodo analógico, si bien durante bastante tiempo adolecían de una escasa calidad desde la perspectiva semiológica, siendo ésta esencial para la adecuada transmisión a la vista de los contenidos (variables ordinales o cuantitativas representadas con colores, tonalidades o símbolos que no transmitían ni orden, ni relación cuantitativa, ni proporción a la vista, por ejemplo). Durante las últimas décadas se ha producido un salto cualitativo extraordinario en este aspecto por la mayor formación de los creadores en semiología, así como por la mayor disponibilidad de recursos gráficos (sombreados digitales, transparencias, texturas, etc.) y el incremento de las posibilidades de trasladar una escena tridimensional de la realidad o un modelo 2D/3D a las pantallas bidimensionales de los ordenadores (el técnicamente denominado “*rendering*”, utilizado, aunque no aceptado por la RAE, como “renderizar” en castellano). Las nuevas tarjetas gráficas y los

llamados motores de “renderizado” son capaces de realizar técnicas complejas (canal alfa, reflexión, refracción, iluminación ambiental, etc.), que nos permiten hoy en día opciones de visualización del territorio muy potentes para trabajar en entornos virtuales con bastante fluidez.

## 2.1. Modelado y visualización de superficies (2.5D): los modelos digitales de elevaciones —MDE—

Uno de los elementos esenciales para la geovisualización tridimensional en el contexto de los SIG/CAD, especialmente en sus aplicaciones al estudio del paisaje, urbanismo, medio ambiente o la ordenación del territorio, ha sido la posibilidad de modelar y visualizar el soporte físico territorial, es decir, el relieve. En este sentido, el principal avance vino de la mano de la disponibilidad de datos altimétricos/batimétricos digitales: los generalmente denominados Modelos Digitales de Elevaciones (MDE). Esta representación numérica del relieve se ha generalizado en los programas de SIG/CAD, bien como una matriz numérica (*grid*) donde a cada celdilla corresponde un valor numérico de altitud, bien a través de la utilización de TIN (*Triangular Irregular Network*), ambas con ventajas y limitaciones. En realidad, estas estructuras físicas de los datos numéricos se insertan dentro de un campo de estudio más amplio, el modelado de superficies (*surface modelling*) que incluyen diferentes métodos de interpolación, no exclusivamente destinados a modelar el relieve (por ejemplo, variables climáticas o superficies de agua). Cuando se utilizan estos datos se suele utilizar el concepto de geovisualización 2.5D, ya que en realidad no se modela un objeto tridimensional sino la “superficie” de una variable continua espacialmente (alturas, temperaturas, etc.). La generalización de su uso, que comenzó generando superficies topográficas a partir de la interpolación de las curvas de nivel y cotas de los mapas topográficos, se ha intensificado con la proliferación de nuevas fuentes de datos, tanto a escala global como en ámbitos locales. Un ejemplo del primer caso es la misión SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission del Jet Propulsion Laboratory [JPL] de la NASA*, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), que pone a disposición del público gratuitamente datos altimétricos a escala global en estructuras matriciales con una resolución espacial de 90 m para las tierras emergidas, o GEBCO (*General Bathymetric Chart of the*

Oceans), que incluye igualmente el relieve submarino a escala global (<http://www.gebco.net/>). Un ejemplo de su proliferación a escalas locales es la masiva generación, en nuestros días, de datos altimétricos por fotogrametría digital (estereocorrelación, restitución 3D), interferometría radar o Lidar por su carácter continuo espacialmente. Los levantamientos con GPS, al ser puntuales desde la perspectiva espacial, y secuenciales en el tiempo, sólo son competitivos para espacios de menores dimensiones.

Desde la perspectiva de la visualización de los datos, la mayor parte del software CAD o GIS integran módulos específicos para la representación tridimensional sobre la pantalla plana de los ordenadores de estos datos a escala local o regional, pero también podemos encontrar multitud de visores orientados específicamente a la geovisualización (FIG. 1). Un punto importante es que para ello, mayoritariamente, usan algoritmos de geometría plana (es decir, los datos tienen que estar asociados a coordena-

das métricas planas, bien locales —con datum local— bien proyectadas a través de sistemas de proyección cartográfica). Este aspecto es importante ya que la tendencia actual es que los datos se distribuyan en coordenadas geodésicas/geográficas, para permitir que cada usuario los proyecte al sistema de referencia de coordenadas que desee (proceso que exige un cierto grado de formación técnica) y garantice la necesaria coherencia geométrica con otros datos.

Dada la creciente disponibilidad de datos de acceso gratuito, no cabe duda de que la disponibilidad de MDE ha facilitado la visión tridimensional, pero, además, permite de forma relativamente fácil obtener otras variables de gran interés desde la perspectiva semiológica y gráfica. El caso más utilizado es el del sombreado digital, pero podrían utilizarse otros como la pendiente, menos utilizada pero, a veces, de mejores resultados para transmitir visualmente algunas características del terreno (FIG. 2).

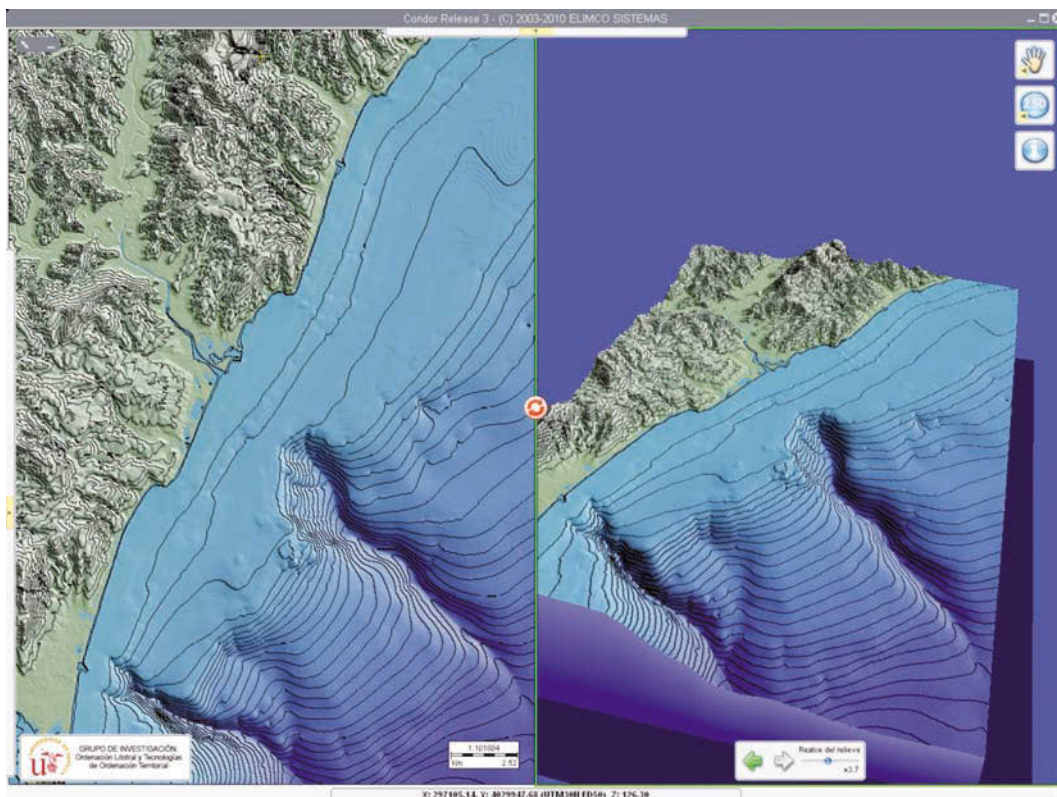


FIG. 1/ Dos ventanas sincronizadas geoméricamente (2D y 2,5D) del sector frente a la desembocadura del río Guadiaro utilizando el visor Condor. Datos altimétricos procedentes del MDT editado por la Junta de Andalucía (2005) y datos batimétricos procedentes de las cartas nauticas del IHM

Fuente: OJEDA & al., 2007



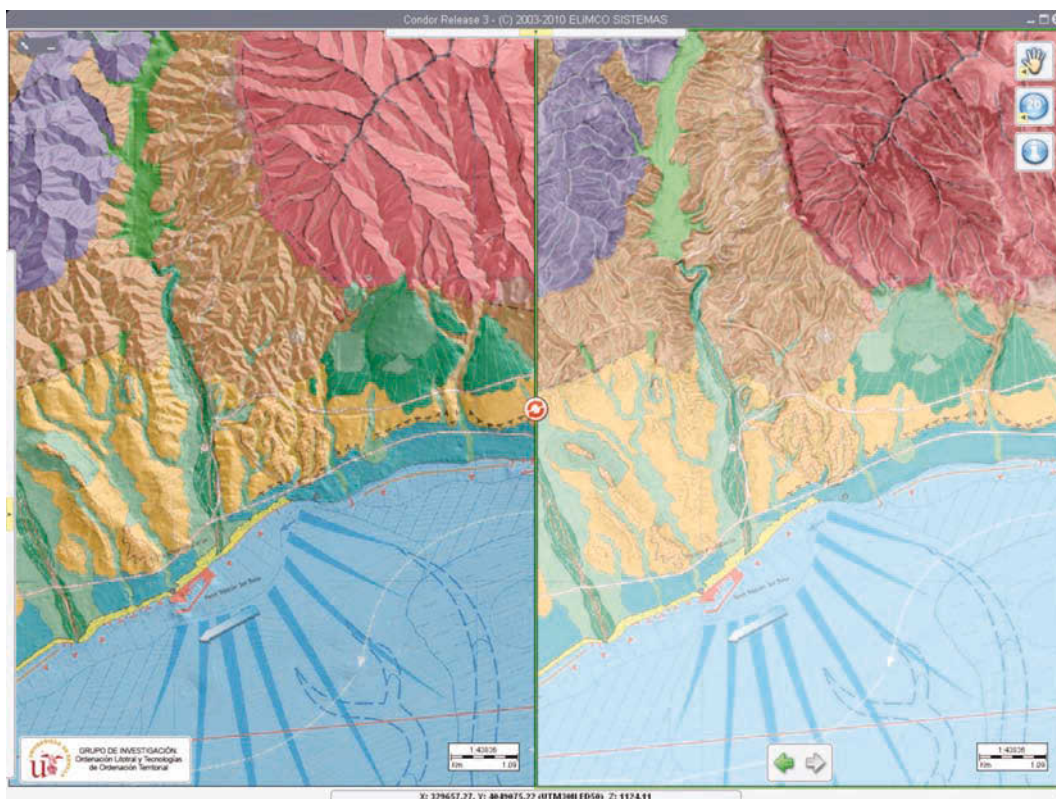


FIG. 2/ Ventanas geográficamente sincronizadas (2D) mostrando las características morfométricas de un mapa fisiográfico del sector de Marbella. En la ventana izquierda se ha combinado con un sombreado digital y en la de la derecha con una imagen de pendientes

Fuente: Elaboración propia

La posibilidad de utilizar como textura sobre el MDE ortofotografías u ortoimágenes, igualmente disponibles y accesibles gratuitamente a escalas globales, e incluso locales en la mayor parte de los países desarrollados, ha supuesto un importante avance en las últimas décadas. En realidad, cualquier imagen georreferenciada puede ser utilizada para ello (mapas geológicos, de vegetación, de usos, etc.), lo cual amplía enormemente las posibilidades y potenciales aplicaciones en términos de su geovisualización, ya que casi todo el software técnico incluye la posibilidad de transparencias (FIG. 3). En este sentido, la mayor parte de los software CAD y SIG permiten esta visualización 2.5D utilizando conjuntamente MDE/TIN y ortoimágenes, mapas o cualquier otro dato georreferenciado. Otra opción de carácter más técnico, pero que implica una verdadera visualización 3D (no la vista bidimensional de un escenario tridimensional en una pantalla plana), es la progresiva incorporación de técnicas procedentes de la restitución fotogramétrica di-

gital en las interfaces de los SIG/CAD, incluso disponibles en internet (<http://www.stereoweb-map.com/es/index.php>). Nos referimos a la utilización de anaglifos o la visualización de pares estereoscópicos con gafas polarizadas para conseguir la visión estereoscópica del relieve. Esta opción, además de sus ventajas en la observación tridimensional del territorio, incorpora las posibilidades de medir sobre ellas (x, y, z).

## 2.2. Geovisualización de objetos y volúmenes (3D)

Otro paso esencial en el proceso de mejora de las funcionalidades de geovisualización tridimensional de los SIG/CAD ha sido la posibilidad de incorporar a los elementos anteriores, "objetos 3D". En este caso es necesario el modelado tridimensional completo del objeto, utilizándose para ello varias soluciones, formatos y modelos, muy directamente relacionados con software específicos (3D studio, Maya, VRML,

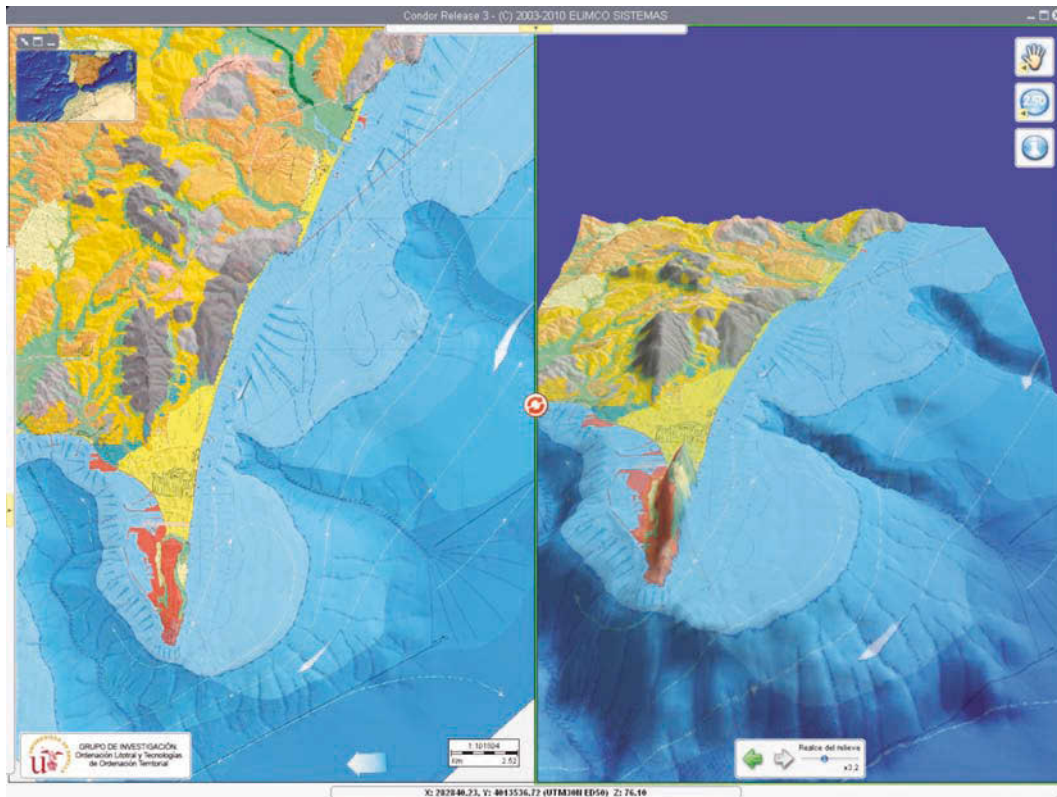


FIG. 3/ Dos ventanas geográficamente sincronizadas (2D y 2,5D) mostrando las características geomorfológicas del sector litoral y marino de la Bahía de Algeciras. A la imagen de un mapa fisiográfico se le ha asociado un sombreado digital a través de control interactivo de las transparencias

Fuente: Elaboración propia

etc.). Sin embargo, creo interesante reflejar, por su facilidad de uso, las posibilidades que incluyen casi todas las versiones actuales de software SIG/CAD para aproximarnos al modelado de objetos 3D, especialmente en relación con uno de los elementos territoriales de mayor impacto visual: la extrusión de elementos constructivos (edificios generalmente) a partir de su representación bidimensional poligonal (*foot print*). El enorme interés de este tipo de representación por su interés paisajístico, territorial y, más aún, desde la perspectiva urbanística, aumenta desde el momento en que los grados de aproximación a la realidad se pueden ir modulando en función de la disponibilidad de datos.

El caso más sencillo sería el de la extrusión de los polígonos de los edificios que aparecen en un mapa topográfico a escalas de detalle, sin un control de su altura (FIG. 4a), optando por proporcionarle una altura constante o alturas aleatorias. Un paso más próximo a la realidad

vendría de la utilización de la información indirecta de las alturas, como la existente en el Catastro en España. El catastro urbano (disponible para todo el territorio nacional) presenta una capa de subparcelas catastrales que tiene asociado un campo alfanumérico que define el número de plantas. La sola asignación de un valor constante por planta para la extrusión (4 m, por ejemplo) proporciona una visión más realista y detallada que el anterior, facilitando una buena transmisión de las volúmetrías para la mayor parte de los conjuntos urbanos. La posibilidad de utilizar como textura para su renderizado gráfico la información de color extraída de una ortofotografía proporcionaría una visión más realista aún. Por último, la obtención de la altura directa real de los edificios, bien por restitución fotogramétrica (FIG. 4b) o por datos procedentes de sensores aerotransportados como el Lidar mejorarían sustancialmente los resultados y, al ser sensores aerotransportados, es fácil obtener datos masivos para amplias superficies. Muchos de estos casos tienen





FIG. 4/ a) Visualización de la ciudad de Málaga con los edificios extruidos a partir de los polígonos del Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 con alturas aleatorias. b) Edificios extruidos de un sector de Isla Antilla, con altura real extraída por restitución fotogramétrica y textura tomada de la fotografía aérea de referencia (2001)

Fuente: Elaboración propia

la ventaja de la disponibilidad de datos y su facilidad de acceso, en ocasiones, gratuita.

Otro paso más, en el contexto de los profesionales que utilizan información geográfica en el contexto del medio ambiente, el urbanismo, el paisaje y la ordenación del territorio (generalmente asociados a los software SIG y CAD) sería la visualización y análisis de volúmenes, pero sin sacrificar las ventajas derivadas del acceso a la información temática que cualifica a los elementos de la realidad geográfica (generalmente almacenada en Bases de Datos Espaciales), así como las posibilidades analíticas que se derivan del tratamiento de las relaciones topológicas. Diferentes aproximaciones se están produciendo en los últimos años para abordar estas necesidades, tanto en el modelo de datos *raster* como en el vectorial. En los SIG 3D, por ejemplo, no se persigue exclusivamente visualizar un cubo registrando sus límites, sino incorporar y poder analizar las características de su contenido. Para ello, en el modelo *raster* existen experiencias en que se subdivide la realidad 3D en elementos volumétricos denominados "voxel" (el equivalente al *pixel* o celdilla en el modelado *raster* bidimensional) y está siendo ya aplicado a la geología, geomorfología (WASHTELL & al., 2009) o al modelado de la contaminación en aguas subterráneas. En el modelo vectorial existen diferentes aproximaciones para el modelado de objetos sólidos en el mundo del CAD combinando primitivas 3D, si bien no parece estar totalmente resuelta la ges-

ción de los atributos temáticos y de las relaciones topológicas que amplificarían sus capacidades analíticas y, por lo tanto, sus aplicaciones. Soluciones en desarrollo se basan en proponer estructuras "orientadas a objetos" que relacionen estos objetos 3D con sus atributos temáticos en una base de datos espacial.

En el otro extremo (*Graphic Computing, Virtual Reality, etc.*) nos moveríamos hacia el modelado específico 3D de cualquier objeto y su visualización con el máximo nivel de detalle (materiales, texturas, iluminación, etc). En estos casos, el objetivo se centra principalmente en la visualización (*rendering*), sacrificando a veces la georreferenciación en el mundo real y las capacidades analíticas. Estas aplicaciones exigen el levantamiento de datos y programas específicos (*3D Studio Max, Maya, VTK, etc.*), con formatos y estructuras de datos propios que nos acercarán a las tecnologías de la "realidad virtual" (VR) que suele tener otros objetivos y aplicaciones (museos virtuales, por ejemplo) e, incluso, a la integración e interacción de la realidad virtual con la pura realidad (Realidad Aumentada). Un paso intermedio es la popularización de herramientas interactivas que permiten, de una forma menos detallada, el modelado y visualización de objetos 3D desde la web y georreferenciarlos sobre la superficie terrestre. Sin duda, el más popular es el *SketchUp* de Google (FIG 5), cuyos resultados son inmediatamente visibles sobre *Google Earth* y compartidos por los usuarios de esta

aplicación informática. La integración de SIG, VR e Internet se ha ido produciendo inicialmente a través del incremento en el uso del "Virtual Reality Modeling Language" (VRML), un estándar ISO para describir objetos 3D interactivos y ser experimentada en la WWW.

### 2.3. Virtual Globes/Virtual Cities

Estos dos conceptos, muy ligados a la geovisualización a escalas globales y locales respectivamente, y a las tecnologías citadas anteriormente, han incrementado su popularización en los últimos años, sobre todo en la Web. Sin duda, uno de los cambios fundamentales se produjo con la irrupción de entornos de visualización sobre el globo terrestre, los denominados globos virtuales (*Virtual Globes*), que han seguido una rápida evolución desde su uso en aplicaciones de sobremesa (*ArcGlobe* de *ArcGis*, por ejemplo) a su proliferación en visores basados en la web (un listado de

los más usuales puede consultarse en BUTLER, 2006). Una peculiaridad de estas aplicaciones, esencial para la correlación espacial e integración de datos geográficos, es que éstos deben estar georreferenciados en coordenadas geodésicas/geográficas y ser utilizados con algoritmos de geometría esférica. Sin duda, la aplicación que ha revolucionado este campo en términos de popularización ha sido *Google Earth* desde su aparición en 2005, sobre todo por su accesibilidad desde Internet y cobertura global. Otros ampliamente utilizados son *Virtual Earth*, *World Wind*, etc. El desarrollo de aplicaciones como Google Street View (fotografías esféricas georreferenciadas) o las fotografías oblicuas de *Virtual Earth* (*Bin* de Microsoft) están igualmente basadas en la geolocalización y nos permiten pasear por la ciudades más importantes del planeta.

En el mismo sentido, durante los últimos años se ha producido una irrupción en Internet de enlaces a "ciudades virtuales" (*Virtual Cities*) y un número importante de las mayores ciuda-

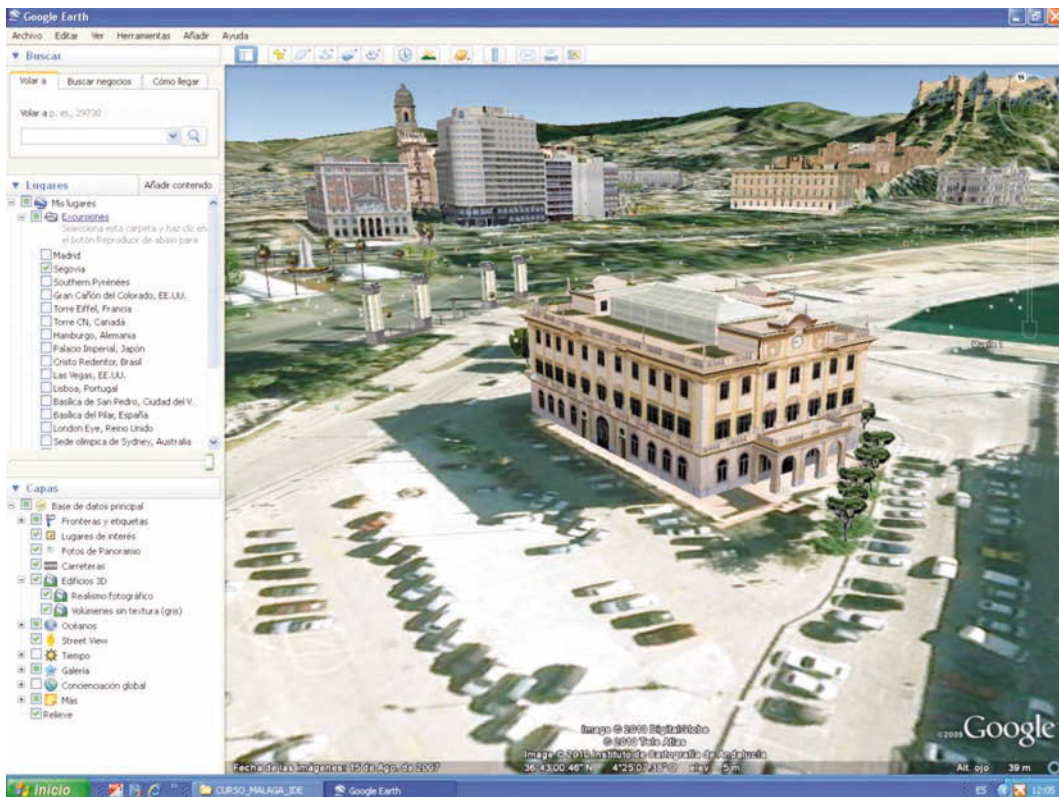


FIG. 5/ Visualización con *Google Earth* de un sector de la ciudad de Málaga, con edificios virtuales creados por los propios usuarios con la herramienta interactiva *SketchUp*

Fuente: Google Earth, ya que sólo se ha salvado la pantalla a una imagen



des del mundo pueden visitarse virtualmente a través de internet en la actualidad. Al margen de las aplicaciones destinadas a la visualización, bien en local, bien “on line” a través de diferentes clientes web, visores y aplicaciones, un aspecto realmente interesante de este proceso es cómo la creciente demanda de información volumétrica sobre las ciudades y espacios urbanos está estimulando la masiva producción de estos datos. En este sentido, tecnologías como el Lidar (FIG. 6) o los nuevos desarrollos para la restitución 3D en fotogrametría digital, están proporcionando nuevos recursos para la producción de tales datos (SCHWALBE, 2004), no sólo críticos desde la perspectiva paisajística o urbanística, sino también para pujantes actividades económicas (transmisión de la señal para la telefonía móvil en entornos urbanos o para la navegación 3D en automóviles, por ejemplo). Una muestra de nuevas y sugerentes tendencias en la geovisualización en la ciudad es la iniciativa del prestigioso Massachusetts *Institute of Technology*: *SENSEable City Laboratory* (<http://senseable.mit.edu/currentcity/visuals.html>).

### 3. Geovisualización multitemporal (4D), Internet y servicios interoperables OGC

Otra de las revoluciones de las últimas décadas en el mundo de la geovisualización es la constante y progresiva incorporación de la dimensión temporal (4D), hasta llegar a la visualización de datos geográficos en tiempo real.

Todas las disciplinas asociadas al medio ambiente, el urbanismo o la ordenación del territorio han requerido tradicionalmente la elaboración de mapas evolutivos, bien del espacio construido, bien de los usos del territorio o bien de cualquier elemento natural. El coste del levantamiento de esta información especializada era muy alto, entre otras cosas, por la escasez de fuentes de información. Igualmente constituían un importante obstáculo las dificultades de integración de los datos, bien por problemas en el ajuste de los diferentes sistemas de referencia de coordenadas, bien por la ausencia de normalización (era difícil encontrar dos mapas temáticos —de usos o geomorfológicos— con la misma leyenda), bien por su escasa accesibilidad.

#### 3.1. El impacto de la masiva producción de datos geográficos y su normalización

La mayor fuente de información geográfica histórica ha sido, sin duda, la cartografía histórica. Si bien esta fuente de información adolece de ciertas limitaciones por su debilidad en el tratamiento de la geometría y los sistemas de referencia de coordenadas, dos hechos están facilitando su integración en los nuevos espacios de geovisualización multitemporal. Por una parte, su facilidad de acceso al poner sus repositorios disponibles en Internet (en formatos digitales) la mayor parte de las instituciones depositarias de documentación cartográfica histórica (museos, institutos cartográficos, etc.). Por

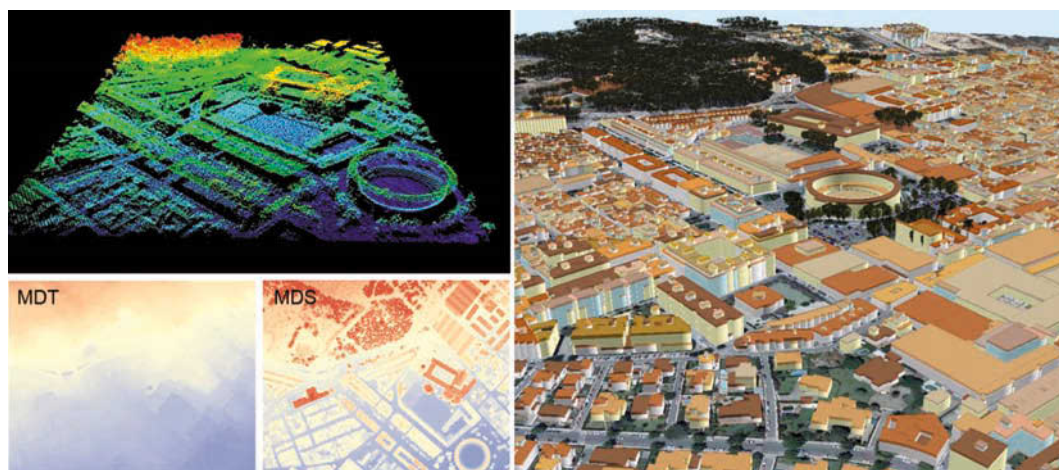


Fig. 6/ Nube de puntos original Lidar, Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superficies (MDS) y reconstrucción virtual en ArcScene de ArcGis para un sector de El Puerto de Santa María

Fuente: Elaboración propia

otra, la facilidad que hoy presentan los software SIG/CAD para el ajuste geométrico y los cambios de sistemas de coordenadas (Fig. 7).

La segunda fuente de información territorial con mayor interés para el análisis multitemporal ha sido, sin duda, la fotografía aérea, cuyos vuelos fotogramétricos verticales están disponibles desde los años cuarenta-cincuenta para la mayor parte del mundo occidental. La ventaja de la fotografía es doble: por una parte se trata de una fuente de información multidisciplinar (igual de interesante para el urbanista que para el biólogo o geomorfólogo); por otra, es que se trata de la única fuente de información, con amplio rango de recorrido histórico, sobre la que puede volver a levantarse información tanto temática como métrica, incluyendo la tercera dimensión (Fig. 8). Aunque siempre se han utilizado en las disciplinas territoriales mencionadas, su popularización se ha producido con la masiva producción de ortofotos debido a la reducción de su coste de producción con la foto-

grametría digital. Este producto digital se difunde, además, corregido de las deformaciones geométricas inherentes a la perspectiva cónica de la fotografía vertical y permite ser integrado con facilidad en cualquier proceso de análisis multitemporal. No es difícil encontrar series temporales de ortofotos de las últimas décadas en cualquier ciudad importante y, lo que es más interesante en términos de recubrimiento espacial, las instituciones con competencias cartográficas a nivel estatal o autonómico están poniendo progresivamente a disposición del público sus vuelos fotogramétricos históricos. En el caso de España, hay varias comunidades autónomas (Andalucía, Madrid, Murcia, Cataluña, etc.) que ya están distribuyendo o permiten su visualización por Internet de las ortofotos del famoso vuelo "americano" de los años cincuenta e incluso de vuelos de los años setenta.

De igual importancia ha sido el proceso de normalización seguido, en los países de la Unión

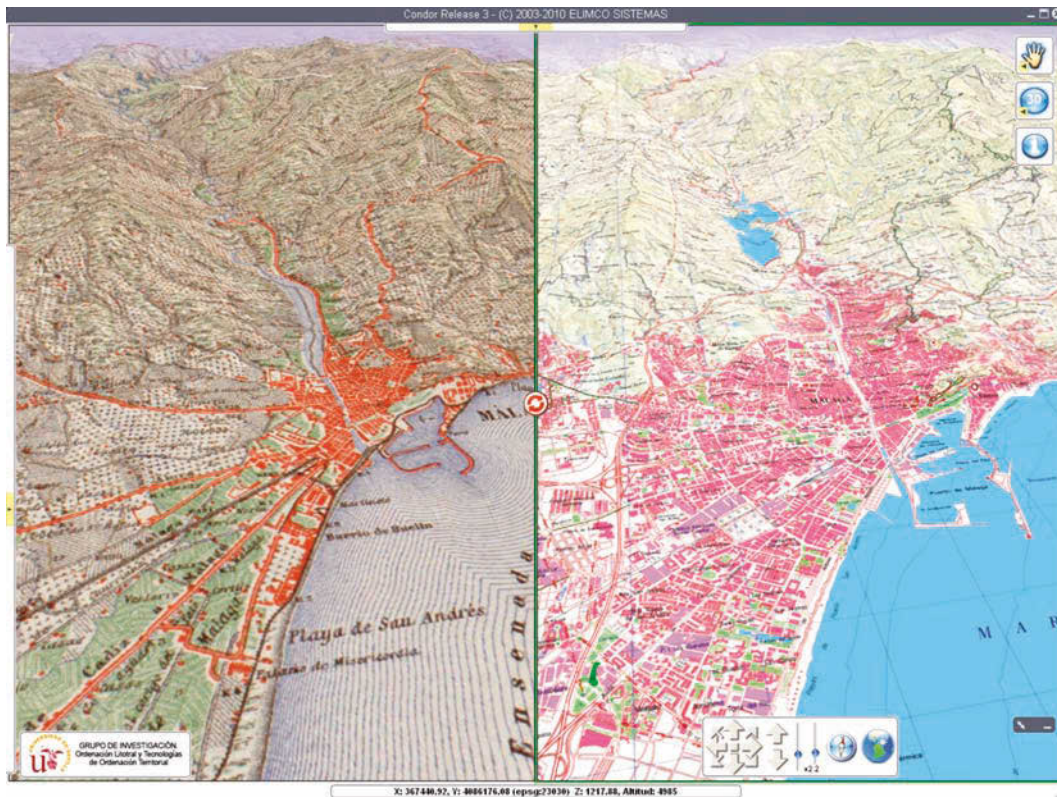


FIG. 7/ **Dos vistas tridimensionales, sincronizadas geográficamente, de la ciudad de Málaga. A la izquierda un mapa topográfico realizado en los años 50 a escala 1:50.000. A la derecha la imagen del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000**

Fuente: Elaboración propia



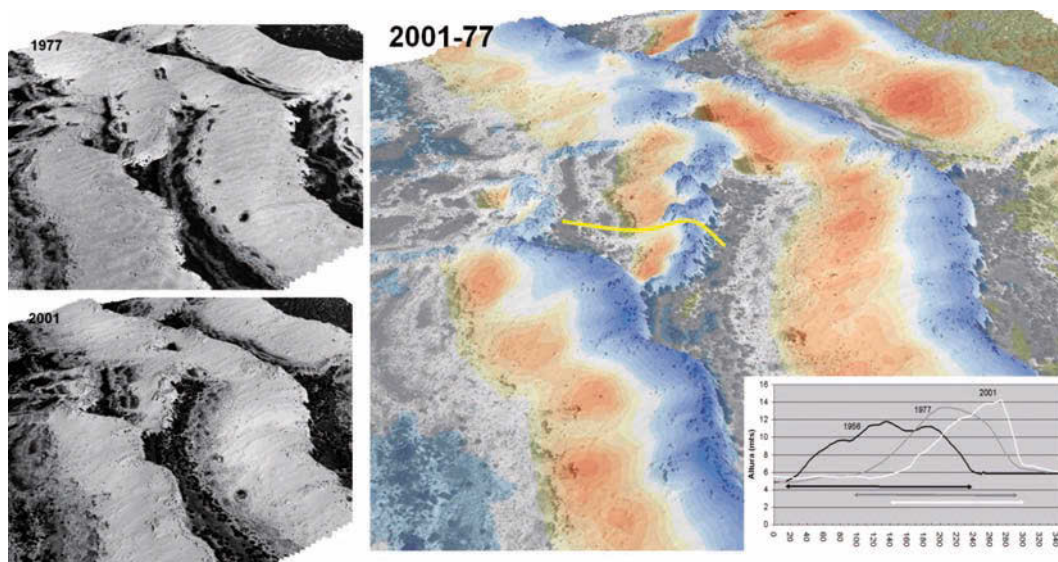


Fig. 8/ A la izquierda, dos vistas tridimensionales del sector de dunas móviles del P.N. de Doñana (1977 y 2001), cuyo MDE se extrajo por restitución fotogramétrica de los vuelos de referencia. A la derecha, vista tridimensional sobre el MDE de 2001, identificándose las zonas de acumulación (tonos azules) y las zonas de deflación (tonos rojos) procedentes del balance volumétrico de ambas fechas

Fuente: Elaboración propia

Europea, para la producción y difusión de la información geográfica de carácter temático, especialmente la de “usos del territorio”. Este dato geográfico, esencial para aplicaciones medioambientales y territoriales, se ha convertido en una fuente de información de referencia para la mayor parte de trabajos multitemporales desde la puesta en marcha del proyecto *CORINE-Land Cover*. El proceso de unificación de la metodología de levantamiento de los datos (imágenes de referencia, claves de fotointerpretación, sistema de referencia de coordenadas, etc.), junto a la normalización y establecimiento de una leyenda jerárquica y unificada para todos los países participantes en el proyecto nos permite, en la actualidad, comparar datos de evolución territorial en espacios transfronterizos y, a escalas locales, tener la garantía de una serie temporal que comenzó a fines de los años ochenta del pasado siglo.

### 3.2. Geovisualización en “tiempo real”: el impacto de tecnologías de geolocalización, las telecomunicaciones y los entornos participativos de la Web 2.0

La facilidad para la producción de datos georreferenciados con la ayuda de los sistemas de

posicionamiento global (GPS), la proliferación de sensores permanentes fijos (contaminación, ruido, cámaras de vídeo, etc.) y aerotransportados o embarcados en satélites espaciales, así como el desarrollo de las telecomunicaciones y la facilidad para compartir información en entornos colaborativos (Web 2.0), está facilitando el desarrollo espectacular de la geovisualización multitemporal, incluso con la proliferación de representaciones de diferentes aspectos territoriales en tiempo real. Hoy en día es fácil localizar y visualizar en internet información georreferenciada en tiempo real sobre tráfico terrestre en muchas ciudades, la localización de cualquier vuelo aéreo (<http://www.flightview.com/>) y el tráfico marítimo (<http://www.marinetraffic.com/ais/>) o seguir, casi en tiempo real, las áreas afectadas por incendios (<http://firefly.geog.umd.edu/firemap/>) o la deforestación. Para todos nosotros, por otra parte, constituye una imagen cotidiana la presencia en televisión o Internet de los mapas dinámicos de meteorología, con imágenes casi en tiempo real sobre la nubosidad, la actividad de rayos o la precipitación. En la actualidad podemos decir que la aportación de los satélites espaciales es esencial y crítica para el seguimiento en tiempo real de un gran número de variables del medio físico-natural, pero también de diferentes actividades económicas y, por supuesto, para problemas de orden militar/estratégico o los ligados a la gestión de riesgos naturales.



Otra revolución con implicaciones en la geovisualización ya presente en nuestros días, pero que se intensificará en los próximos años, está ligada a la posibilidad de geovisualización multitemporal con datos y aplicaciones geográficas derivadas de los entornos colaborativos (Web 2.0). El título del artículo de uno de los autores más prestigiosos en el mundo de información geográfica es revelador: “*Citizens as sensors: the world of volunteered geography*” (GOODCHILD, 2007). Se trata de utilizar el trabajo participativo de voluntarios para crear y compartir información geográfica en la web (se ha acuñado el término *Volunteered Geographic Information* —VGI—). *Wikimapia*, *Wikiloc* o *OpenStreetMap* son ejemplos reveladores de su potencial, a la vez que Google Earth y otros globos virtuales animan constantemente a sus usuarios a generar y compartir nueva información georreferenciada.

En este sentido, la proliferación del GPS, las nuevas funcionalidades y aplicaciones para móviles de última generación basados en geolocalización (*Iphone*, sistemas operativos como *Android*, etc.) potenciarán significativamente este proceso. Numerosas experiencias en este sentido contribuyen a poner más información geográfica multitemporal a disposición de todos a través de la web. En la actualidad están en pleno desarrollo los algoritmos de “*data mining*” que obtendrán de ella aplicaciones posiblemente insospechadas en la mente de los propios creadores. Ejemplos reveladores pueden consultarse en <http://www.girardin.org/fabien/tracing/> o <http://senseable.mit.edu/>. En uno de ellos se representa la movilidad de turistas por la ciudad de Roma haciendo uso de la información asociada a las fotografías subidas a *Flickr* por turistas que cuentan con cámaras con GPS o la propia representación en tiempo real de las localizaciones donde se están subiendo datos. Otras aplicaciones se basan en utilizar los datos sobre la actividad de los teléfonos móviles para visualizar y reflejar el pulso de las ciudades (Barcelona, por ejemplo) en diferentes eventos.

### 3.3. Las infraestructuras de Datos Espaciales (IDE): los servicios interoperables (OGC)

Se ha dejado, intencionadamente, para el final otro aspecto revolucionario, no sólo para la geovisualización multitemporal, sino para todo el conjunto de actividades y profesionales que tradicionalmente utilizan información geográfica en las disciplinas territoriales y ambientales: las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

El concepto de IDE enlaza, también, con la filosofía participativa de la Web 2.0 y está afectando, en primer lugar y a diferencia de los casos anteriores, a los grandes productores institucionales de información geográfica. Todo este renovador proceso de cambio en la forma de producir, acceder y compartir información geográfica tiene su origen en 1994 con la puesta en marcha en Estados Unidos de la *National Spatial Data Infrastructure* (NSDI) por el presidente Clinton y, en los países de la Unión Europea, con la aprobación y transposición de la directiva INSPIRE. Una IDE va más allá de la propia tecnología, aunque se sustenta en ella (Internet, estándares, clientes/servidores, etc.), ya que se trata de un conjunto de tecnologías, instituciones, personas, etc., que, “conjuntamente”, permiten el levantamiento de datos geográficos, su clara identificación y localización a través de “metadatos”, así como la posibilidad de compartirlas al utilizar estándares (ISO u *Open Geospatial Consortium*) y protocolos que garantizan la “interoperatividad” de los mismos. El énfasis está pasando de los “productos” (mapas, ficheros digitales, etc.) a los “servicios” en el entorno de “sistemas distribuidos”, donde el elemento clave es internet. En síntesis, la idea que subyace a este proceso es que se pueda, entre otros muchos servicios, localizar (catálogos), acceder a los datos espaciales (servicios WCS para datos *raster* o WFS para los vectoriales por ejemplo) y/o a sus representaciones gráficas (WMS) a través de un navegador (cliente ligero) o cualquier software de sobremesa (*ArcGis*, *GvSig*, etc.) con tan sólo invocar un servicio en una URL de forma gratuita. La mayor parte de los servicios e institutos de cartografía de las comunidades autónomas implementan y coordinan sus nodos IDE y, a nivel estatal, en la IDEE (<http://www.idee.es/>) pueden encontrarse la mayor parte de los servicios disponibles o los nodos de los enlaces.

Desde la perspectiva de todos los profesionales y técnicos vinculados al uso de información geográfica, las IDE han supuesto una verdadera revolución en el acceso a la información geográfica y, por tanto, a las posibilidades de su geovisualización. Un aspecto interesante, pero por su puesto no el único ni el más importante, de esta nueva forma de acceder a la visualización de la información geográfica de cualquier parte del territorio nacional es la profusión de datos multitemporales. Al día de hoy, por ejemplo, podemos acceder a amplios conjuntos de series temporales de ortofotos, a los mapas geológicos del IGME o al Catastro de forma inmediata, al ser servicios como servicios WMS (*Web Mapping Services*), los cuales

permiten visualizar cualquier territorio desde la perspectiva evolutiva, tanto si el interés está centrado en un tema medioambiental (FIG. 9), como si se trata de uno territorial o urbanístico. Estos datos o servicios pueden superponerse a un MDE, accesible como servicio WCS y ser consumidos por programas de sobremesa (clientes pesados) y algunas aplicaciones embebidas en los navegadores, a los que un "plugin" específico les proporciona funcionalidades de visualización tridimensional. Las posibilidades de integración de estos servicios y los nuevos desarrollos "open source" que popularizarán estos nuevos recursos y potencialidades pueden consultarse en FONT & GRANELL (2009).

Para garantizar la interoperatividad entre datos y sistemas la OGC (*Open Geospatial Consortium*) está permanentemente trabajando y publicando estándares y especificaciones, muchas de las cuales centrarán la mayor parte de los procesos de geovisualización 2D y 3D

en el futuro (<http://www.opengeospatial.org/standards>): *CityGML*, *KML*, *WTS*, *Web 3D Service*, etc.

#### 4. Conclusión

No cabe duda de que la geovisualización es uno de los pilares que está proporcionando valor añadido a muchas tecnologías y aplicaciones de gran potencial futuro (Internet, telefonía móvil, realidad virtual, globos virtuales, navegación asistida, realidad aumentada, etc.), pero también lo es que constituye uno de los recursos más eficientes para la integración de datos sobre el territorio, para su análisis y para su difusión. La irrupción de la geovisualización tridimensional no sustituirá a la clásica visualización bidimensional, pero ofrece un nuevo punto de vista más próximo a la realidad que facilita la comprensión, interrelación y difusión de la información geográfica y, a veces, permite "ver" relaciones e información que no se ven

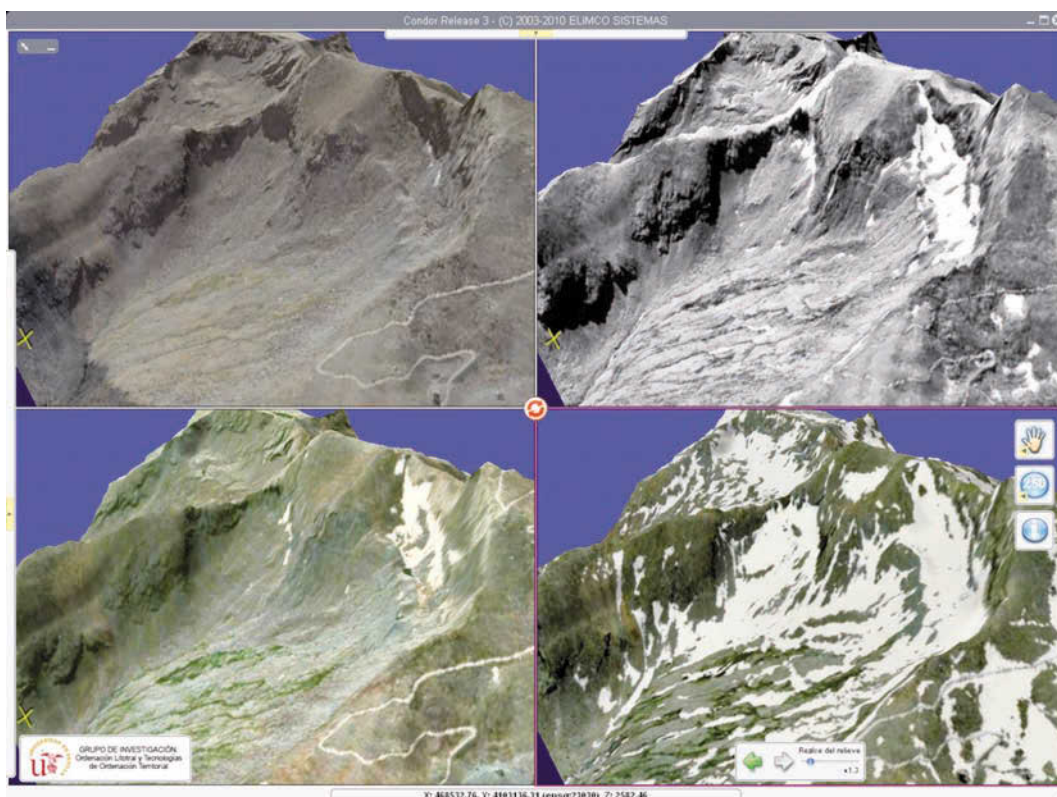


FIG. 9/ 4 ventanas geográficamente sincronizadas que proporcionan vistas tridimensionales de la morfología y cubierta de nieve del Corral del Veleta utilizando ortofotografías como servicios WMS (IDEAndalucía): arriba 2009 (izquierda) y 1956 (derecha) y abajo 2004 (izquierda) y 1998 (derecha)

Fuente: Elaboración propia

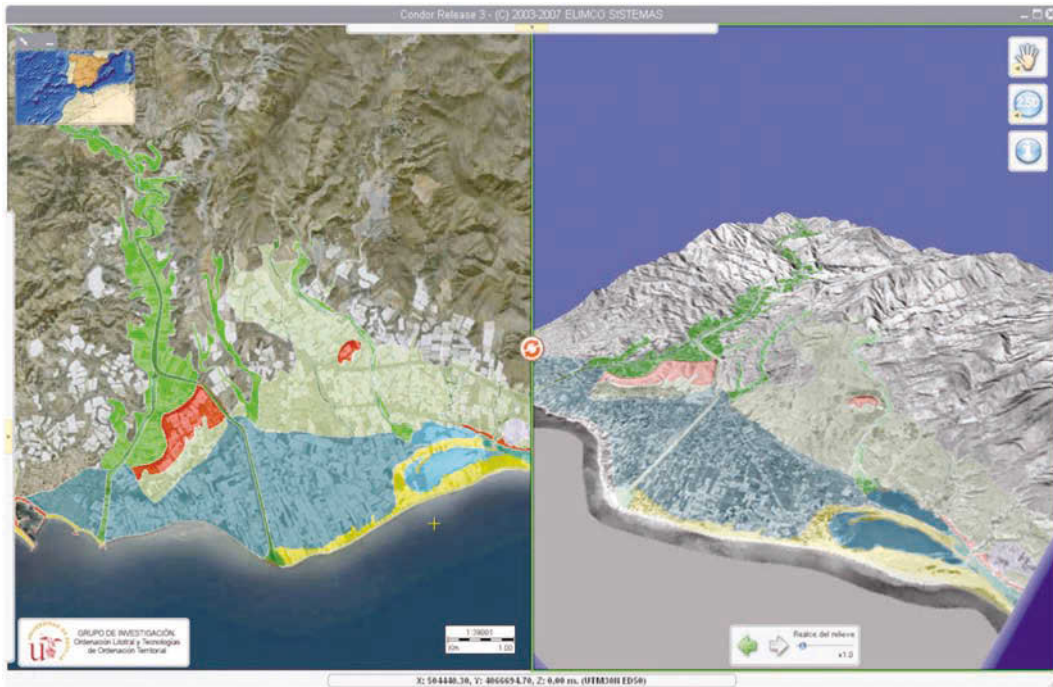


FIG. 10/ Ejemplo de integración de servicios interoperables OGC en el visor Condor para el sector litoral del delta de Adra (Almería). En la imagen de la derecha ortofotografía de 2004 (servicio WMS de IDEAndalucía) con las unidades fisiográficas del litoral semitransparentes (servicio WMS suministrado desde el servidor del Grupo de Investigación de la Universidad de Sevilla). En la imagen de la izquierda, vista tridimensional del mismo espacio utilizando un MDE servido como WCS (Servidor del Grupo de Investigación), una ortofotografía de 1956 (servicio WMS de IDEAndalucía) y las unidades fisiográficas antes mencionadas como una capa con transparencias

Fuente: Elaboración propia

en los propios datos. El nuevo entorno colaborativo de la Web 2.0 y la progresiva implantación de las IDE proporcionan, además, una masiva producción y difusión de datos que facilitará la perspectiva multitemporal, tradicionalmente anhelada por todos los técnicos y científicos asociados a las disciplinas del paisaje, la ordenación del territorio, el urbanismo y el medio ambiente (FIG. 10).

De hecho, el “real time” en la geovisualización de muchos fenómenos naturales (meteorología por ejemplo) y muchas actividades huma-

nas (tráfico, seguir el pulso de la ciudad a través de la actividad de telefonía móvil, etc.) es ya una realidad. Disciplinas y trabajos técnicos, ligados a fenómenos tan dispares como la gestión de riesgos (GOODCHILD & GLENNON, 2010) o los procesos de planificación, están ya haciendo uso de la geovisualización para favorecer la participación ciudadana (Web 2.0), o desarrollando algoritmos de “data mining” que permitirán extraer información insospechada de todos estos datos. Todas las disciplinas territoriales y ambientales se beneficiarán, sin duda, de sus desarrollos futuros.

## 5. Bibliografía

- BERTIN, J. (1967): *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Mouton, París.
- BUTLER, D. (2006): “Virtual globes: the worldwide world”. *Nature*, 439: 776-778.
- GOODCHILD, M. F. (2007): “Citizens as sensors: the world of volunteered geography”, *GeoJournal*, 69 (4): 211-221 [441].

- & J. A. GLENNON (2010): “Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier”, *International Journal of Digital Earth*, 3 (3): 231-241 [495].
- FONTS, O. & C. GRANELL (2009): “Visualización geográfica 3D: estándares y aplicaciones”, en: *III Jornadas de Software Libre*, Girona. <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre/>



- JUNTA DE ANDALUCÍA (2005): *Modelo Digital del Terreno de Andalucía*, Junta de Andalucía. Aplicación informática en DVD.
- OJEDA ZÚJAR, J. (dir.) (2008): *Sistema de Información Geográfica del Litoral Andaluz (SIGLA)*, Junta de Andalucía, Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio. Visor 3D interactivo, DVD.
- & A. CABRERA TORDERA (2006): “Utilidades y funcionalidades de un visor tridimensional interactivo en la gestión litoral (SIGLA: Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía)”, *Cuadernos Geográficos*, 39 (2): 41-52.
- OJEDA, J. & P. FRAILE & A. CABRERA & J. LODER (2007): “Design and functionality of a 2D/3D viewer for a coastal management oriented GIS: SIGLA (Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía)”. En: *CoastGis07. 8th International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, tomo II: 77-86, Universidad de Cantabria.
- SCHWALBE, E. (2004): “3D building model generation from airborne laserscanner data by straight line detection in specific orthogonal projections”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35 (B): 249-254.