

Jornada técnica sobre

El estado actual de los sistemas de información geográfica: aplicación a la ingeniería civil



Belén Monercillo Delgado
Secretaría Técnica de la ATC y
Directora Técnica de la Revista Rutas
D. Rubén Martínez Marín
Catedrático de Topografía y Geomática
de la ETSICCP de Madrid

El 16 de junio de 2011 y en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid tuvo lugar esta jornada promovida por Ministerio de Fomento y organizada por la ATC, con la colaboración de Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. La dirección técnica de la jornada estuvo a cargo de **D. Rubén Martínez Marín** y **Dña. Belén Monercillo Delgado**.

La mesa de inauguración estuvo presidida por **D. Guillermo Vila Alcázar**, *Subdirector General del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Fomento*; **D. Sandro Rocci**, *Vicepresidente de la Asociación Técnica de Carreteras*; y el mencionado **D. Rubén Martínez Marín**.

Sesión 1. Estado actual de la tecnología en Modelos Digitales del terreno

Moderada por **Dña. Belén Monercillo**, de la ATC, la jornada comenzó con la exposición de la ponencia **“El estado actual de la tecnología en Modelos Digitales del Terreno”**, de **D. Rubén Martínez Marín**, de la ETSICCP, quien comenzó definiendo el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) como estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (elevación-MDE, temperatura, etc.). Seguidamente los clasificó en función de la naturaleza de los datos: modelos vectoriales (TIN, String, etc.), en que las entidades son objetos cuya geometría es conocida (punto, segmento, polilínea, etc.) y modelos raster (imágenes) cuya entidad básica es el pixel. También los clasificó atendiendo a la estructura de los datos: red irregular de triángulos (TIN), so-

lamente aplicables a modelos vectoriales, y retículas regulares (rejilla o malla de paso constante) aplicables tanto a los modelos vectoriales como a los raster.

A continuación y comparando los raster frente a los vectoriales, subrayó las ventajas de su excelente cálculo de gradientes, sombreado, aspecto, etc., que supone una mejor adaptación a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y superposición con imágenes de teledetección, pero tenían como inconvenientes que requiere una gran cantidad de memoria y se ajusta peor al terreno. También hizo lo propio comparando la rejilla frente a TIN, presentando como ventajas que en las condiciones anteriores son modelos de respuesta rápida y son simples de programar y desarrollar; como inconvenientes, que no mantiene la integridad de los datos de partida; y que, si variamos el paso de malla con los mismos datos, se obtienen diferentes curvas de nivel: si crece la densidad de la malla, el tiempo de

proceso aumenta exponencialmente.

Posteriormente presentó el proceso de adquisición de datos. En los modelos raster: imágenes de satélite (banda visible o no visible) y escáner de imágenes existentes en papel; y en los modelos vectoriales: taquimétrico (ET, fotogrametría y restitución, GPS), archivo de puntos (LiDAR, LaserScan, etc.) y escáner y vectorización de datos existentes en papel.

También la adquisición de datos los clasificó en métodos directos o medida directa de la cota o altitud, como ET, GPS, LIDAR, LaserScan, etc., y métodos indirectos o medida sobre imágenes u otros medios: fotogrametría digital, estereoinágenes de satélites, interferometría radar (DinSAR, InSAR, etc.), escaneo de imágenes y vectorización manual o automática y digitalización sobre pantalla

Continuó su intervención presentando las líneas de investigación que se están llevando a cabo en el control de movimientos en obras de ingeniería civil (GPS diferencial, láser escáner, radar de apertura sintética-SAR), SIG y teledetección aplicados a la ingeniería civil y ambiental (SIG y teledetección aplicados a la hidrología: balance hídrico, erosión hídrica y ordenación



Mesa de la primera sesión, que fue presidida por Dña. Belén Monercillo

del territorio) y teledetección del patrimonio cultural (sitios arqueológicos, vulnerabilidad y riesgo).

Finalmente y dentro de los MDT aplicados a la ingeniería civil, destacó la generación y optimización de MDT, la optimización de algoritmos para generar MDT a partir de datos LiDAR y la simulación hidráulica en MDT fluviales.

A continuación se presentó el tema **“El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Aplicaciones de la tecnología LiDAR a la ingeniería civil”**, de D. Jorge Martínez Luceño, D. Juan Carlos Ojeda, (ponente), D. Guillermo Villa, D. Eduardo González, D. Pedro Muñoz y D. Julián González de Rivera, del *Instituto Geográfico Nacional*.

El IGN promovió la creación del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), que surge con el fin de coordinar las actuaciones de las distintas Administraciones Públicas en la obtención y difusión de información del territorio, con el fin de satisfacer las necesidades de las Administraciones Públicas españolas, de la Unión Europea y del resto de usuarios; obtener información del territorio de forma coordinada (espacial, temporal y semánticamente); obtener, tratar y difundir información y

productos homogéneos y de calidad para toda España; y cumplir con la Directiva europea INSPIRE. EL PNOT se estructura en 3 Planes Nacionales: el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), el Plan Nacional de Teledetección (PNT) y el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), coordinados por IGN. Este proyecto se desarrolla en dos fases: a) obtención de imágenes de satélite y aéreas de todo el Estado español (proyectos PNT y PNOA) y b) extracción de información relativa a la ocupación del suelo (cobertura y uso) a partir de las imágenes capturadas en la primera fase (SIOSE).

El PNOA nace en el año 2004, con el objetivo de aplicar la directiva INSPIRE a la Observación del Territorio. Su aparición supone una mejora en la coordinación y un ahorro de costes para todas las Administraciones implicadas, ya que es un proyecto cofinanciado y compartido por 7 Ministerios y todas las Comunidades Autónomas. Su finalidad es la captura periódica de imágenes aéreas de todo el territorio nacional con tamaños de pixel de 0,22 o 0,45 m (según necesidades), a partir de las cuales se obtienen entre otros productos, Modelos Digitales de Elevaciones (DEM) en formato GRID, con un paso de malla de 5 m y ortofotos con un tamaño de pixel de 25 o 50 cm (según el tamaño de pixel del vuelo). Los detalles técnicos del proyecto se pueden consultar en la página web del proyecto PNOA, a la que se accede a través de la página web del IGN: www.ign.es

Entre los proyectos más destacados



D. Rubén Martínez en un momento de su intervención

Simposios y Congresos organizados por la ATC



D. Jorge Martínez Luceño



D. Juan Carlos Ojeda

que se pueden consultar por Internet y en los cuales se emplean las ortofotos producidas en PNOA están: IBERPIX (visor del Instituto Geográfico Nacional), SIGPAC del Ministerio de Medio Ambiente, la Sede Electrónica del Catastro, la IDEE, Cartociudad, los visores cartográficos de las Comunidades Autónomas y los de las Confederaciones Hidrográficas.

Las ortofotos se distribuyen gratuitamente en ficheros según las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (MTN50) en la web del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG): www.cnig.es. En esta página se pueden descargar además, Modelos Digitales de Elevaciones con paso de malla de 200 m y 25 m.

Tras explicar que, desde el año 2004, el PNOA ha completado 3 coberturas de toda España, pero la mayoría de las Comunidades han terminado ya una tercera y las más avanzadas se encuentran completando la cuarta e incluso la quinta cobertura, pasó

a presentar los fundamentos de la tecnología Lidar (*Light Detection And Ranging*) y la labor, los fundamentos y los resultados que se consiguen por el Lidar aerotransportado que es un sistema activo basado en un dispositivo láser, que emite un haz de luz (pulsos) hacia la superficie terrestre. Un espejo desvía el haz y permite barrer el terreno transversalmente. El sensor LiDAR mide el tiempo que tardan los pulsos en reflejarse en los objetos situados sobre la superficie terrestre y volver.

Posteriormente se detuvo en la cobertura Lidar en España y destacando que, entre los logros del proyecto PNOA, se encuentra la incorporación al proyecto de las cámaras digitales junto con dispositivos GPS-IMU (2006) y los sensores LiDAR (2009), lo que ha permitido a las empresas españolas situarse a la vanguardia en la utilización de la tecnología más avanzada, y ser muy competitivas a nivel internacional.

Finalmente expuso a los asistentes cómo se realiza el aseguramiento de la calidad y su control en la cobertura PNOA-LiDAR, explicó cómo se produce el flujo de trabajo en la captura y procesamiento de los datos LiDAR y que, una vez obtenida la nube de puntos LiDAR clasificada, se genera el Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la clase terreno, añadiendo que además el IGN tiene en marcha

estudios para generar productos de valor añadido con esos datos, como son: nube de puntos LiDAR con información RGB obtenida de las fotografías aéreas, modelización de ciudades 3D y estudios de cuencas hidrográficas.

Más adelante presentó las aplicaciones de la tecnología Lidar a la ingeniería civil, como por ejemplo para el cálculo de cubificaciones en movimientos de tierras, determinación de curvas de nivel y de secciones longitudinales, identificación de zonas inundables, estudios de drenaje, generación de mapas de ruido y análisis de impacto visual, etc.

Las últimas tendencias en la captura de información se centran en los denominados LiDAR mobile. Una de sus versiones consiste en un sensor LiDAR instalado en un automóvil con el objetivo de cartografiar vías de comunicación.

Todavía no es una tecnología ampliamente utilizada, pero ya se han puesto de manifiesto algunas de sus aplicaciones y seguramente en no mucho tiempo irán apareciendo muchas más.

“Los Sistemas de Información Geográfica y las Infraestructuras de Datos Espaciales: adquisición, estructuración, gestión y modelización de la información”, de D. Miguel Marchamalo Sacristán, D. Juan Carlos Ojeda Manrique y D. Rubén Martínez Marín, de la ETSICCP, informó a los presentes que en la actualidad existe un acceso amplio y creciente a la información relevante para la formulación, gestión y evaluación de proyectos en ingeniería, caudal de información que debe ser tratado de manera que se optimice su uso y se permita la combinación de distintas fuentes. Una de las características más ha-



D. Miguel Marchamalo Sacristán



D. Álvaro Navareño intervino con las "Aportaciones de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión de los firmes y puentes de carretera"

bituales en la información actual es la georeferenciación. El desarrollo de las aplicaciones de las tecnologías GPS-GNSS y su incorporación a numerosos aparatos e instrumentos a un precio asequible, cámaras fotográficas, navegadores, móviles, etc., permite georeferenciar prácticamente toda la información de la práctica profesional.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han desarrollado en las últimas décadas con una tendencia clara hacia la interoperabilidad y la integración de las fuentes de información disponibles, evolución que ha llevado al desarrollo reciente de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), con la publicación en web de datos geográficos y la información y servicios asociados a ellos. Todo ello se enmarca en la Geomática, que es un campo emergente, como consecuencia de los avances en informática, comunicaciones y medición, así como en el campo de la teledetección espacial. Por ello, en su exposición presentaron los SIG y las IDE en el marco de los proyectos de ingeniería, analizando las posibilidades de integrar y estructurar la información en el marco de estas tecnologías, con especial atención a los proyectos de infraestructuras lineales.

Los SIG son herramientas fundamentales en la planificación territorial, formulación y evaluación de proyectos de ingeniería cuyas aplicaciones a carreteras son muy variadas, incluyendo aplicaciones útiles en la formulación, el diseño y la evaluación de proyectos. Su evolución trae consigo nuevas posibilidades ya que facilita su empleo

en dispositivos móviles con GPS, como PDA, móviles y ordenadores portátiles para el inventario en tiempo real e incorpora todo tipo de información, incluidas fotografías tomadas en campo. Asimismo potencia el empleo creciente de navegadores equipados con GPS y SIG vectorial en logística, vehículos industriales y privados y posibilita compartir información con clientes, usuarios en plataformas como Google Earth, publicando la información en formatos como KML y KMZ. Finalmente también permite la publicación de la información en Infraestructuras de Datos Espaciales, de forma que puedan ser consultada y empleada desde Internet.

Sesión 2. Aplicaciones de los SIG a la gestión y monitorización de la obra civil

También moderada por Dña. Belén Monercillo, de la ATC, comenzó con la exposición de la ponencia "**Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión de los firmes y puentes de carreteras**", de D. Álvaro Navareño Rojo, del Ministerio de Fomento; D. Luis Fernández Seoane, de Getinsa; y Dña. M^a Luz Ramírez Marín y Dña. Ana Belén Menéndez Corral, de Geocisa. El primero de los autores explicó que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que facilitan la preparación, el análisis y la gestión de la información resultante de la gestión de firmes y puentes de carreteras se configuran como un soporte geográfico que facilita y mejora el conocimiento de la red de carreteras y la toma de decisiones sobre ella; de ahí su importancia. Esta tecnología representa una mejora en todos los aspectos del proceso de Gestión, puesto que esta tecnología parece ser la forma lógica de relacionar la diversidad de datos que se manejan en el Sistema de Gestión de Firmes (SGF) y en el de Puentes (SGP). Además, dota a los Sistemas de Gestión de capacidades de visualización, análisis y actualización de los datos más eficientes que las conferidas por otro tipo de tecnología.



D. Carlos Casas Nagore durante su intervención con el tema "Los SIG en la gestión de la conservación integral de carreteras mediante plataforma WEB"

Simposios y Congresos organizados por la ATC



D. Julio Amarillas



D. Jesús Antoñanzas Glaría

En el caso del SGF y el SGP de la RCE, la incorporación de un SIG al sistema facilita el conocimiento del patrimonio objeto de la gestión (RCE); faculta al gestor para hacer uso de todos los datos disponibles (datos de firme, auscultaciones, tráfico, así como fichas de inventario de puentes y de inspecciones, así como informe generados sobre obras de paso especiales). Además, permite la elaboración de matrices de datos que servirán de base para la generación de modelos predictivos del comportamiento en el caso de los firmes, así como la difusión de mapas temáticos entre los distintos actores de la gestión (estado actual de la red, características del firme o de los puentes y actuaciones de rehabilitación).

En definitiva, la integración de los SIG en el SGF y en el SGP de la RCE hace la gestión más eficaz en la medida en la que permite a los gestores una toma de decisiones más precisa, gracias al conocimiento que les brinda sobre la red de carreteras; más eficiente, en cuanto que permite aprovechar y pone en valor los ingentes volúmenes de datos e información existentes sobre la red de carreteras; y más participativa, ya

que facilita la difusión de información y mapas temáticos entre los distintos actores involucrados en la gestión.

Más adelante, se presentó el tema **“Los SIG en la gestión de la conservación integral de carreteras mediante plataforma web”**, expuesto por **D. Carlos Casas Nagore**, y **D. Jesús Antoñanzas Glaría**, del *Ministerio de Fomento*. Ambos expusieron los sistemas de gestión de Vialidad y de la Conservación Ordinaria mediante la utilización de plataformas web, que consiguen que la gestión de las distintas empresas de conservación integral sea uniforme y coordinada, amén de poder acceder a la información básica desde cualquier lugar que tenga conexión a Internet. Expusieron casos prácticos de gestión, mediante el uso de la Agenda de Vialidad y de la GSM para el caso de la conservación ordinaria, todos ellos referidos a la Plataforma de gestión de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón.

En este tipo de plataformas de gestión es necesario disponer de información geográfica, que, si bien no requiere elevada exactitud, debe ser fácilmente accesible desde Internet, actualizada permanentemente y barata. Por ese motivo, todos los ejemplos desarrollados trataron sobre *Google Maps*, y *Street View* como complemento. Finalmente, se indicaron las características técnicas de *Google Maps*, y sus ventajas para su utilización en este tipo de sistemas de gestión.

Sesión 3. Comunicaciones libres

Moderada por **D. Adolfo Güell Canela**, del *Ministerio de Fomento*, comenzó con la presentación de las **“Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión integral de carreteras”**, de **D. Julián Asenjo** (ponente) y **D. Antón Castellá**, de *ATJ Consultores*, en la que se mostró sucintamente la aplicación de gestión de infraestructuras, vía web desarrollada por esa empresa, y denominada SIGI (Sistema Integral de Gestión de Infraestructuras), así como sus módulos: proyecto y estudios, expropiaciones, patrimonio, control y vigilancia, conservación y explotación.

Más adelante y con las **“Aportaciones de los sistemas de información geográfica a la gestión de la señalización de carreteras”**, **D. Julio Amarillas**, de *IPS VIAL*, comenzó su intervención presentando el sistema InCa para la gestión de la señalización, que es un Sistema de Información Geográfico para la Gestión de Inventarios de Señalización Vertical y Horizontal, desarrollado con el motor gráfico de InCa Urbano, y utilizado en más de 20 grandes ayuntamientos de España. Expuso su experiencia y relación con el Inventario de la RCE, e informó que el año 2010 la empresa *IPS VIAL* concluyó el inventario de señalización vertical en la Red de Carreteras del Estado con un ámbito de actuación de 7 302 km de autopistas y autovías, 15 950 km de carreteras convencionales y un total de 10 120 enlaces. Durante más de dos años de trabajo se han incorporado al programa mencionado un total de 644 403 Señales y 119 852 Carteles.

Para finalizar aclaró que el sistema está



D. David Gascón



Para finalizar la jornada de mañana se celebró un animado coloquio que dio por finalizada la sesión

preparado para trabajar con ortofotos, permite exportar toda la información gráfica de los elementos existentes a *Google Earth*, puede crear planos temáticos a partir de las consultas generadas por los usuarios y que InCa WEB permite la carga de las ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) del Instituto Geográfico Nacional y permite al usuario obtener información de los carteles de orientación existentes en el inventario.

“gvSIG aplicado a la gestión de carreteras” fue el tema elegido por **D. Álvaro Anguix**, de la *Asociación GVSIG*. Comenzó el ponente por informar sobre el origen y evolución del gvSIG, que nació en 2004 en la Conselleria de Infraestructuras y Trans-

porte, dentro de un proceso de migración a software libre con el fin de disponer de un completo SIG capaz de sustituir a las aplicaciones privativas y con dos productos generales: gvSIG Desktop (PCs) y gvSIG Mobile (dispositivos móviles). Todo ello bajo licencia GPL/GNU.

Hoy en día ha demostrado una rápida evolución de la Comunidad gvSIG, apoyada en la Asociación gvSIG (2009) y continúa creciendo, habiendo sido traducido a más de 25 idiomas, con descargas en más de 90 países, etc.

Se trata de un producto Multiplataforma (Windows, Mac OS X, Linux), multi-idioma, fácil de usar con un entorno amigable y personalizable, con acceso a múltiples for-

matos vectoriales y a servicios remotos con sistemas de referencia coordinados, salidas gráficas, ediciones gráficas alfanuméricas, procesamiento de imágenes, análisis de redes, etc.

En cuanto a gvSIG Mobile es un completo SIG idóneo para realizar el trabajo de campo con visualización (diversos formatos, gestión CRS), simbología y etiquetado, soporte GPS manual y automático, edición, selección y búsqueda, acceso IDE/OGC (wms, wfs...), etc.

Tras ello, definió las particularidades del SIG de carreteras, presentando las herramientas para gestión de redes y la segmentación dinámica que consiste en que la segmentación (tramos) en que se ha dividido la red puede subdividirse para representar algunos elementos sin necesidad de modificar la tramificación de la red.

La sesión continuó con la presentación de las **“Redes de sensores inalámbricos para la monitorización de las infraestructuras del transporte”** de **D. David Gascón**, de *I+D Libellium, S.L.* Para el ponente, la utilización de las redes de sensores para la monitorización de las Infraestructuras del Transporte permite la realización de aplicaciones que hasta ahora eran imposibles. La idea de obtener información local de cientos o miles de puntos distribuidos en lugares específicos da un valor incalculable a estos datos, puesto que, además, podemos obtener esa información en tiempo real mediante el uso de tecnologías inalámbricas como ZigBee y GPRS, y con ello, actuar en consecuencia en el mismo momento que se producen los eventos que están siendo controlados.

Las principales características de este tipo de redes son la escalabilidad, su alta disponibilidad y su fácil implantación; y, por lo que se refiere a su funcionamiento, los motes tienen la capacidad de comunicarse entre sí mediante la creación de redes malladas (*mesh networks*) usando el protocolo ZigBee y retransmitir la información adquirida a través de la red hasta un punto de control denominado Gateway (GW) que registre los valores observados e incluso tome decisiones consecuentemente. Son los propios motes los que se organizan automáticamente cada cierto tiempo para ver cuáles son las rutas de comunicación disponibles. Esto permite que los motes puedan ser cambiados de lugar para monitorizar un



La jornada de tarde se dedicó a la celebración de un taller práctico sobre “Visualización y análisis de datos LiDAR en gvSIG”

Simposios y Congresos organizados por la ATC



Vista del aula donde se celebró el taller práctico y que contó con una gran asistencia



Interior del vehículo IPS-2

área distinta en un determinado momento. Así mismo, y a través de sus explicaciones, se pudo observar cómo el funcionamiento de la red se basa en una perfecta sincronía de todos los nodos.

Posteriormente explicó algunas de sus aplicaciones para las infraestructuras del transporte, como en carreteras inteligentes (*Smart Roads*): monitorización de estructuras, detección de vehículos, *smart parking*,

monitorización de las condiciones meteorológicas, calidad del aire en túneles, control de ruido, etc.

Finalmente y fuera de programa, intervino **D. Javier Bonatti G.** de la *Universidad de Costa Rica*, autor junto a **D. Luis Sáenz S.**, de la misma universidad, con la ponencia **“Diagnóstico de control de calidad de los datos enviados por steereocarto para las rutas nacionales 32 y 126 de Costa Rica”**. Su intervención comenzó explicando la problemática de estas rutas. En concreto y en lo que se refiere a la ruta 32 ó Carretera Braulio Carrillo, inaugurada en 1987, la describió como una vía con taludes y pendientes altas, de fuertes precipitaciones, con problemas de deslizamientos desde su fase constructiva y que se encuentra ubicada en el Parque Nacional Braulio Carrillo

Finalmente se celebró un animado coloquio que dio por finalizada la sesión.

Jornada de tarde

Toda la sesión de tarde se dedicó a la celebración de un taller práctico sobre **“Visualización y análisis de datos LiDAR en gvSIG”** bajo la dirección de **D. Miguel Marchamalo Sacristán**, de la *ETSICCP*, en la que se cargaron datos LiDAR, ortofofos y capas vectoriales (carreteras, núcleos de población, etc.) en la plataforma gvSIG, y se realizaron análisis de los datos, consultas directas, filtros, álgebra de mapas, secciones y perfiles, disponiéndose en todo momento con el apoyo y asesoramiento del personal del Laboratorio de Topografía y Geomática de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. ❖

