

mitma

Revista del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

n° 705 julio-agosto 2020

extra



Instituto Geográfico
Nacional 1870 · 2020

**150 AÑOS DEL
INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

Instituto Geográfico Nacional

Tu mundo,
nuestra referencia



www.ign.es



@IGNSpain



@IGNSpain



IGNSpain



IGNSpain



IGNSpain

Mapas e imágenes en tu dispositivo móvil

Instituto Geográfico Nacional
Centro Nacional de Información Geográfica

General Ibáñez de Ibero 3. Madrid, 28003
91 597 95 14, fax: 91 597 97 73
consulta@cnig.es
www.ign.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA



Instituto Geográfico
Nacional 1870-2020

aniversario del Instituto Geográfico Nacional

04

El Instituto Geográfico Nacional

150 años poniendo la tierra en tus manos

18

Líneas límite municipales antiguas

Un trabajo de "arqueología" topográfica

26

Erupción submarina en El Hierro

El Mitma y la vigilancia volcánica

34

Centro N. de Información Geográfica

La información geoespacial publicada en la web

40

Posicionamiento en Tiempo Real

Servicio para el geoposicionamiento preciso en España

48

Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales

Apuesta por el conocimiento de la tierra y el cambio global

56

La información geográfica de redes de transporte

Soporte de los sistemas de información del Mitma

64

El Observatorio Astronómico Nacional

Conjugación histórico-artística con la investigación

72

La vigilancia de los ensayos nucleares

El Centro Sismológico de Sonseca

80

Ingeniería geográfica extrema

El Mitma en las zonas polares

88

Bases de datos topográficas

Valor añadido con su transformación digital

98

Mapa Topográfico Nacional

Innovación: MTN automático

STAFF

Edición y coordinación de contenidos: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma). **Página web:** www.mitma.gob.es. **Colaboran en este número:** Lorenzo García Asensio, Mónica Groba López, José Antonio López Fernández, Fco. Javier González Matesanz, Emilio López Romero, Elena Camacho Arranz, Carmen López Moreno, M^a José Blanco Sánchez, Víctor Puente García, Jesús Díaz Centeno, José Antonio Sánchez Sobrino, José Antonio López Pérez, Alicia González Jiménez, Cristina Calvo, Pablo de la Presa, Raquel Fernández, Jorge de Vicente, Daniel Rolanía, Ángel Expósito, Rafael Bachiller, Emilio Carreño Herrero, Alfonso Villamayor Rodríguez, Anselmo Fernández García, Rafael Abella Meléndez, Manuel Serna Puente, Esther Azcue Infanzón, Gema Martín-Asín, Gonzalo Moreno Vergara, Lorenzo Camón Soteres, Alfonso Boluda Sánchez, José Alfonso de Tomás Gargantilla, Ana Maldonado Ibáñez, M^a de la Paz Navas López, Adolfo Pérez Heras, Santiago Prieto del Caño y Felisa Quesada Bustos. **Fotografía:** Daniel Ramo. **Comité de Redacción:** Presidencia: Jesús M. Gómez García (Subsecretario de Mitma). Vicepresidencia: Angélica Martínez Ortega (Secretaría General Técnica). Vocales: Alfredo Rodríguez Flores (Director de Comunicación), Francisco Ferrer Moreno (Director del Gabinete de la Secretaría de Estado de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana), Belén Villar Sán-

chez (Jefa del Gabinete de la Subsecretaría), Mónica Fátima Marín (Directora del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Infraestructuras), Roberto Angulo Revilla (Jefe del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Transportes y Movilidad), María Isabel Badía Gamarra (Jefa del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda). **Diseño:** Sergio Gavilán. **Maquetación:** Pulse Comunicación, S.L. **Dirección:** Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid. Teléfono: 915 970 000. Fax: 915 978 470. **Suscripciones:** Esmeralda Rojo. Teléfono: 915 977 261. **E-mail:** cpublic@mitma.es

Dep. Legal: M-666-1958. ISSN: 1577-4589. ISSNe: 1577-4929 NIPO: 796-20-023-9. NIPOe: 796-20-024-4. Esta publicación no se hace responsable necesariamente solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas. Esta revista se imprime en papel FSC o equivalente.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA



El IGN

150 años poniendo la Tierra en tus manos.....

La Tierra, su estructura y los elementos que la componen, así como su espacio circundante, han suscitado una singular curiosidad en las distintas civilizaciones y culturas a lo largo de la Historia. Ya en la Antigüedad materias como la Astronomía, fueron motivo de interés entre los científicos de diversas épocas. Pero fue en el siglo XVIII, el siglo de la curiosidad, de la investigación, del afán por saber, cuando desde los Estados se sistematizó esa búsqueda de la verdad que transformaría las incertidumbres en certezas. Y ese, precisamente, es el trabajo del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

■ *Texto: LORENZO GARCÍA ASENSIO, MÓNICA GROBA LÓPEZ, JOSÉ ANTONIO LÓPEZ FERNÁNDEZ, FCO. JAVIER GONZÁLEZ MATE SANZ Y EMILIO LÓPEZ ROMERO. Comité de Dirección del IGN y CNIG*



AYUNTAMIENTO DE MADRID
0700021275



Instituto Geográfico Nacional 1870 · 2020

España no fue una excepción

y el deseo y la imperiosa necesidad de conocer el propio territorio y sus dimensiones dio lugar a diversos trabajos de gran envergadura, con proyectos como los de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, quienes midieron la longitud del meridiano terrestre demostrando que la Tierra está achatada en los polos.

Mediado el siglo XIX, España aún carecía de algunos de los elementos básicos de gobierno, como el censo de población, el mapa topográfico y el catastro. El proceso desamortizador vino a confirmar esas insuficiencias, al demandar, de manera imperativa, un reconocimiento y valoración de los bienes a enajenar. Por otro lado, la creciente expansión ferroviaria y el desarrollo siderometalúrgico favorecieron una urgencia endémica de España, la explotación sistemática de los recursos geológicos.

Otro de los factores que se vinieron a sumar a esta situación fue la necesidad de conocer los recursos hídricos de nuestras cuencas peninsulares, con el fin de hacer frente a la petición de concesiones hidráulicas para uso industrial y agrícola que, cada vez con más frecuencia, se venían formulando.

Durante la década de 1850, se crearon varias comisiones con cometidos geodésicos, topográficos y cartográficos, cuya finalidad era levantar un mapa de base científica que cubriera el territorio completo de España. La primera que se creó fue la Comisión para formar la Carta Geológica de la provincia de Madrid y General del Reino; le siguió la Comisión de la Carta Geográfica que tenía como objetivo la confección de un mapa topográfico nacional

a partir de mediciones geodésicas y cartográficas y, finalmente, la Comisión de Estadística General del Reino que debía coordinar las estadísticas de los distintos ministerios, que incluían el censo de población y el catastro. Con el fin de desarrollar un mapa nacional a partir de la cartografía del catastro se creó la Junta General de Estadística.

El paso siguiente se dio en septiembre de 1870 con la creación de un nuevo organismo, que nació a partir de la Junta anterior, con el nombre de Instituto Geográfico. Integrado dentro de la Dirección General de Estadística del entonces Ministerio de Fomento, tenía competencias en geodesia, nivelaciones, cartografía, topografía, catastro y pesas y medidas; la dirección estuvo a cargo de Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, ingeniero militar y geógrafo, que permaneció en el cargo hasta 1889. En 1875 ya se había publicado la primera Hoja del Mapa Topográfico Nacional. Poco tiempo después de su fundación, mediante el Decreto de 12 de marzo de 1873, se creó la Dirección de Estadística y del Instituto Geográfico, la cual, ese mismo año, durante la Presidencia de Pi y Margall de la Primera República, se sustituyó por el Instituto Geográfico y Estadístico. En consecuencia, el Instituto dejó de ser un órgano integrado en una Dirección General para convertirse en un Centro Directivo independiente. Esta naturaleza la ha mantenido hasta la actualidad, si bien la denominación del Instituto ha variado con los años; Instituto Geográfico y Catastral, Instituto Geográfico, Catastral y Estadístico, hasta la actual denominación, desde 1977, de Instituto Geográfico Nacional. Desde ese año 1873 hasta principios del siglo XX, el Instituto

avanzó en los cálculos de la red geodésica fundamental e inició las nivelaciones de precisión basadas en el mareógrafo de Alicante, instalado años atrás, construyendo así el *esqueleto* geométrico del Estado; observó el enlace geodésico desde Granada y Almería a Argelia; continuó con la publicación de las hojas del Mapa Topográfico Nacional; se iniciaron los trabajos de gravimetría con la determinación absoluta de la intensidad de la gravedad en el Observatorio Astronómico de Madrid; se observó el enlace geodésico con Baleares y se inició la primera Reseña Geográfica y Estadística de España.

El IGN mantiene desde su fundación la responsabilidad en las materias de geodesia y cartografía, habiéndole sido atribuidas otras con el tiempo, que en unos casos han permanecido y en otros han sido asignadas posteriormente a otros organismos. Así, en 1878 asumió las competencias en calibración y control metrológico, que mantuvo hasta la constitución del Centro Español de Metrología como Organismo Autónomo en el año 1991. En 1904 se integró en el Instituto Geográfico el Observatorio Astronómico y Meteorológico, manteniéndose las competencias en astronomía hasta la actualidad, mientras que las de meteorología a partir de 1906 fueron transferidas al Instituto Central Meteorológico, aunque el Observatorio Astronómico continuó publicando las medidas correspondientes a Madrid hasta 1919. En 1925 se incorpora el catastro de rústica, realizándose en el Instituto funciones catastrales hasta 1979. Ese mismo año se incorporaron los Servicios del Consejo Superior Geográfico, hasta ese momento dependientes del Ministerio del Ejército,

01



02

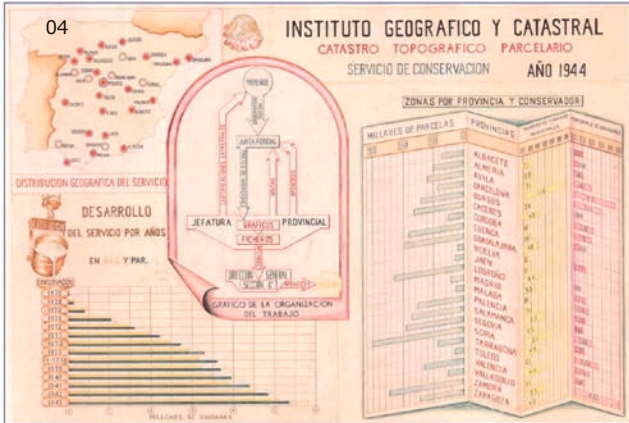


Estación geodésica de Tética de Bacares (Barr. de Alhambra) desde la observación. Como señal con el número 1000000, se levantó el punto de apoyo al llegar al punto de los hilos sobre el punto de Alhambra. 1890.



03

04



05

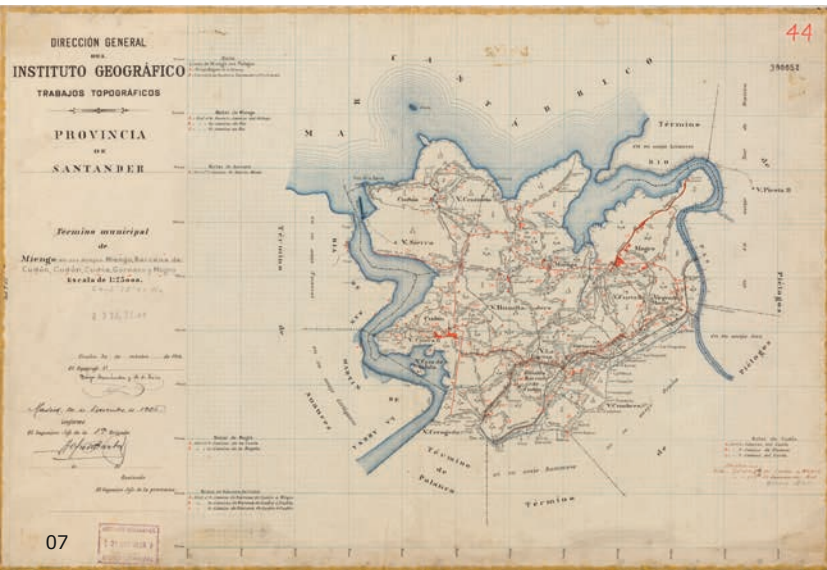


06



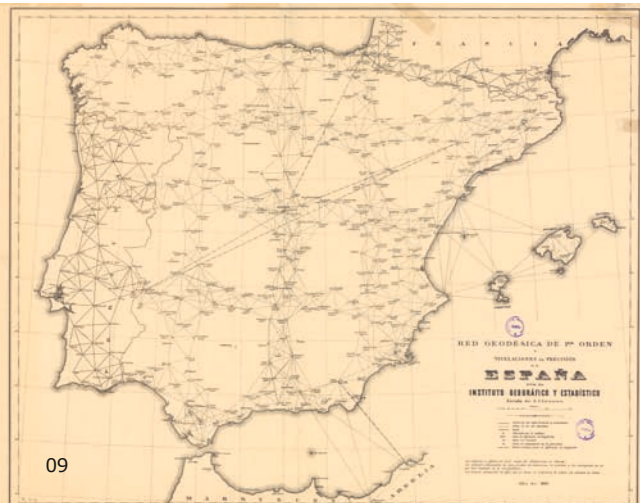
01. Medición de base con hilos Invar en Isla de Tenerife 1925. 02. Observación geodésica en el s. XIX para el enlace hispano-argelino (estación geodésica de Tética de Bacares). 03. Primera piedra de la tercera sede con el Rey Alfonso XIII (portada ABC). 04. Grado de desarrollo y conservación del Catastro Topográfico Parcelario. 05. Gravímetro relativo de Von Sterneck. 06. Imagen con la denominación Instituto Geográfico y Estadístico. 07. Documentación antigua para la formación del MTN conservada en el Archivo Topográfico del IGN. 08. Observatorio Astronómico de Madrid. 09. Red geodésica de primer orden en 1886. 10. Sede del Servicio Regional del IGN en Galicia, ubicada en A Coruña.

07



08

09



10



01. Detalle del núcleo urbano de León en la Base Topográfica Nacional (BTN25). **02.** Trabajos de deslinde municipal. **03.** Mapa de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. **04.** Sello conmemorativo del 50 aniversario de la creación del Consejo Superior Geográfico. **05.** Archivo del IGN. **06.** Logo SCN.



06

SISTEMA CARTOGRÁFICO NACIONAL



07. El Subsecretario de la Mitma, Jesús M. Gómez García, preside en el IGN la presentación de una nueva edición ampliada y mejorada del libro "Resumen de los trabajos preparatorios de la Comisión Internacional para la realización de los prototipos internacionales y la Creación de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (1871-1872)", de D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, fundador del IGN. El acto se celebró el Día Mundial de la Metrología, 20 de mayo de 2019, coincidiendo con la entrada en vigor de una importante revisión del Sistema Internacional de Unidades.

que continúan actualmente formando parte de los cometidos del IGN.

Todo ello no impidió que siguiera avanzando en las materias de su competencia, de tal manera que, como ejemplo, el Observatorio de Yebes (Guadalajara) comenzó su andadura en la década de 1970 y allí se formó el primer grupo científico-tecnológico de Radioastronomía en España. Poco después se instaló la primera estación de la Red Sísmica Nacional.

En 1988 se creó el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) como organismo autónomo de carácter comercial, dependiendo del entonces denominado Ministerio de Obras Públicas y Transportes a través de la Dirección General del IGN, para, bajo la dirección estratégica de este, desarrollar, difundir y comercializar los productos y servicios geográficos que demande la sociedad.

La primera sede del IGN estuvo en la calle Jorge Juan nº 8 de Madrid, trasladándose en 1897 al entonces llamado Palacio de Fomento (sede actual del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). La colocación de la primera piedra de la tercera sede, y sede actual, en la calle General Ibáñez de Ibero, fue presidida por el rey Alfonso XIII en 1930.

El IGN es hoy una Dirección General del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) y la institución de referencia en el desarrollo de planes y programas de observación, medición, análisis, evaluación y representación de nuestro territorio nacional y del espacio, actuando, por tanto, en el ámbito de la astronomía, la geofísica, la geodesia, la observación del territorio, la cartografía o la

producción y difusión de información geográfica. Entre otras cosas, es el responsable de los siguientes planes, infraestructuras y proyectos nacionales: el Mapa Topográfico Nacional de España, las Bases Topográficas y Cartográficas Nacionales, el Atlas Nacional de España, el Observatorio Astronómico Nacional, las Redes Geodésicas y de Nivelación Nacionales, la Red Sísmica Nacional, el Sistema de Vigilancia Volcánica, el Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), el Plan Cartográfico Nacional, el Registro Central de Cartografía y la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE). Además, es el responsable del mantenimiento del Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España (así como de su conexión con los sistemas geodésicos internacionales), imprescindible para la implantación y mantenimiento de los servicios de geolocalización y posicionamiento de los que hoy día depende prácticamente cualquier actividad. Es, también, el representante del Estado ante diversos organismos europeos e internacionales en las materias de su competencia, y actor esencial en el Consejo Superior Geográfico, órgano consultivo del Gobierno en el ámbito de la información geográfica que preside el Subsecretario del Ministerio de Movilidad, Transportes y Agenda Urbana.

Apoyo e impulso del Sistema Cartográfico Nacional. Presencia del IGN en el Consejo Superior Geográfico

Desde 2007 el IGN ejerce, a través de su Secretaría General, la Secretaría Técnica del Consejo Superior Geográfico (CSG), órgano de dirección del Sistema

El observatorio de Yebes comenzó su andadura en la década de 1970 y allí se formó el primer grupo científico-tecnológico de Radioastronomía de España

Cartográfico Nacional. El CSG tiene carácter colegiado, depende del Mitma y ejerce la función consultiva y de planificación de la información geográfica y de la cartografía oficial. Esto hace que el IGN asuma el apoyo y el impulso del Sistema Cartográfico Nacional, marco normativo del que se ha dotado nuestro país para la coordinación y colaboración entre las administraciones públicas en materia de cartografía e información geográfica.

El Pleno del Consejo lo preside el Subsecretario del Mitma y el Director General del IGN ejerce una de las tres vicepresidencias y preside las Comisiones Permanente y Territorial del mismo. Entre sus competencias se encuentran: informar de las disposiciones generales que afecten al Sistema Cartográfico Nacional; coordinar las administraciones públicas que se integren en él; programar anualmente la actividad de sus comisiones; informar de los cambios que se produzcan en los sistemas geodésicos y de representación cartográfica oficiales e impulsar la creación y mantenimiento de la Infraestructura Nacional de Información Geográfica, además

El Primer Plan Cartográfico Nacional (2013-2016) fue aprobado en Acuerdo de Consejo de Ministros el 27 de diciembre de 2013

de otras amplias competencias en materia de cartografía e información geográfica.

El establecimiento de un Sistema Cartográfico Nacional, dentro de un marco de colaboración y eficiencia, favorece el ejercicio de la actividad cartográfica, evita la duplicidad de gasto y esfuerzos en esta materia y hace posible una colaboración normalizada conforme a las iniciativas y modelos de la Unión Europea, en especial a las de la Directiva Inspire. El Real Decreto 1545/2007 de 23 de noviembre, que regula el Sistema Cartográfico Nacional, fue el resultado de tres años de trabajo para alcanzar un acuerdo entre la Administración General del Estado (AGE) y las administraciones autonómicas. Si bien las directrices establecidas en el Sistema son obligatorias para la AGE, las comunidades autónomas y las administraciones locales que pueden participar libremente en él mediante la firma de un Convenio de Integración. El artículo noveno del Real Decreto fija la estructura del Plan Cartográfico Nacional y el décimo sus planes operativos anuales. El Plan Cartográfico Nacional, de vigencia cuatrienal

(2017-2020 el actual), incluye las normas técnicas de producción de la Administración General de Estado en materia de información geográfica de referencia y cartografía oficial, a propuesta de las autoridades competentes, y los criterios de homologación, armonización y coordinación de la producción de las administraciones integradas en el Sistema Cartográfico Nacional. Para ello, se habilitan mecanismos de colaboración y coordinación con el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas y con los planes que, en ejercicio de sus respectivas competencias, aprueben las comunidades autónomas.

La Ley 14/2010 de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (Lisige) dota de rango legal al Sistema Cartográfico Nacional, hace efectiva la Directiva Inspire en España, y marca como mecanismo prioritario la cooperación entre las administraciones y la política de difusión libre de la información geográfica digital generada. Regula las competencias en relación con los servicios de cartografía oficial y la Infraestructura de Información Geográfica de España, cuya constitución y mantenimiento corresponde al Consejo Superior Geográfico, y se materializa mediante el geoportal nacional *idee.es* y los geoservicios web que son coordinados y gestionados a través del CNIG.

Proyección internacional

El IGN ocupa un destacado papel en el ámbito internacional, participando activamente en múltiples organizaciones internacionales, formando parte y liderando en algunos casos grupos de trabajo europeos y

estableciendo estrechas y beneficiosas relaciones con otros países, tanto en nuestro entorno, como en el de otros continentes. En este sentido colabora con los institutos y organismos más punteros en sus ámbitos de actuación, que son referentes y, al mismo tiempo, coparticipantes en proyectos y desafíos de interés global.

Así, en Astronomía se trabaja con institutos como el Max Planck de Alemania y el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS) francés. Junto a ellos se ha constituido la sociedad del Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) con sede en Grenoble (Francia) y que dispone de uno de los radiotelescopios de mayor calidad del mundo que se encuentra situado en Sierra Nevada en la provincia de Granada. Otro de los referentes es el Observatorio Europeo Austral (ESO) que gestiona el Gran Array Milimétrico de Atacama (ALMA) en Chile, sin duda, el proyecto de radioastronomía más importante del mundo hasta la fecha. Finalmente, el radiotelescopio de 40 m del Observatorio de Yebes se ha constituido en uno de los elementos claves de la European VBLI Network (EVN), la Red Europea de VLBI (interferometría de muy larga línea de base) tanto por el número de participaciones como por el alto nivel tecnológico de su instrumentación.

El reconocimiento internacional del Observatorio de Yebes como estación del Sistema de Observación Geodésico Global (GGOS) ha situado al IGN a la vanguardia de la aplicación de las técnicas de radioastronomía para el posicionamiento preciso y estudios de Cambio Global: las técnicas de VLBI. Además de contribuir con observaciones que ayudan a

01



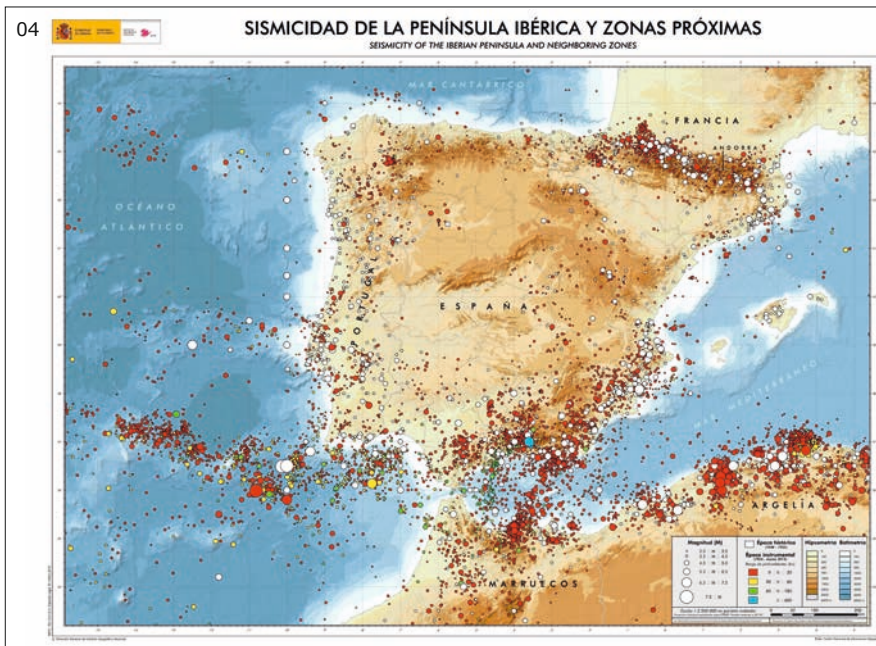
02



03



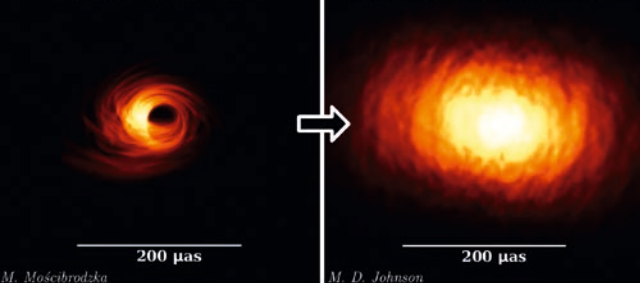
04



01. Centro Astronómico de Yeves (Guadalajara): inauguración del radiotelescopio de 40 metros por los Príncipes de Asturias en 2005. **02.** Centro Astronómico de Yeves, con dicho Radiotelescopio. **03.** Montaje del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yeves. **04.** Mapa de sismicidad de la Península Ibérica y zonas próximas. **05.** Imagen del agujero negro del centro de nuestra galaxia a una frecuencia de 87 GHz en la que participó el radiotelescopio de 40 metros de Yeves. **06.** La Red Europea de VLBI, EVN. **07.** Cabina de receptores del radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yeves. **08.** Observatorio de Yeves.

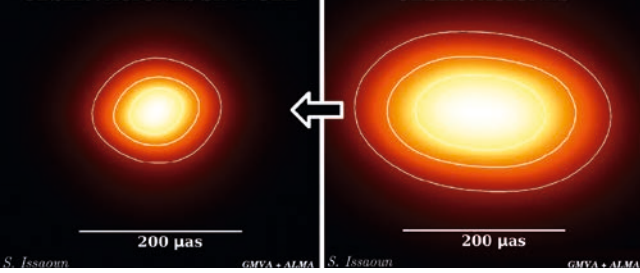
05 IMAGEN MODELO

IMAGEN MODELO + NUBE



OBSERVACIONES SIN NUBE

OBSERVACIONES



06



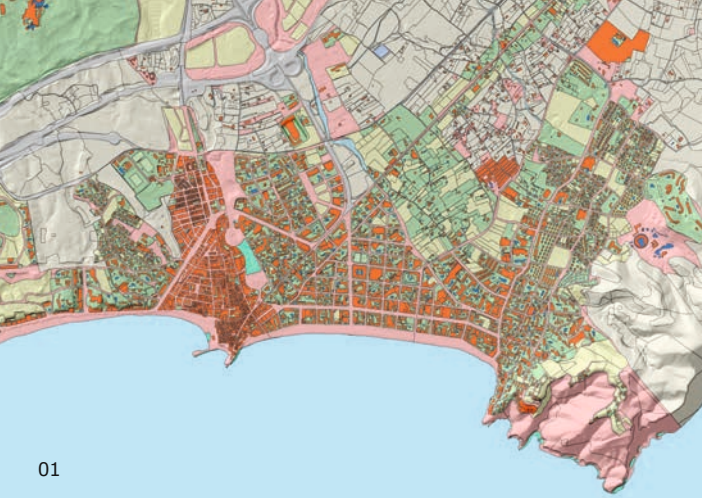
Image by Paul Boven (boven@jive.eu). Satellite image: Blue Marble Next Generation, courtesy of Nasa Visible Earth (visibleearth.nasa.gov).

07

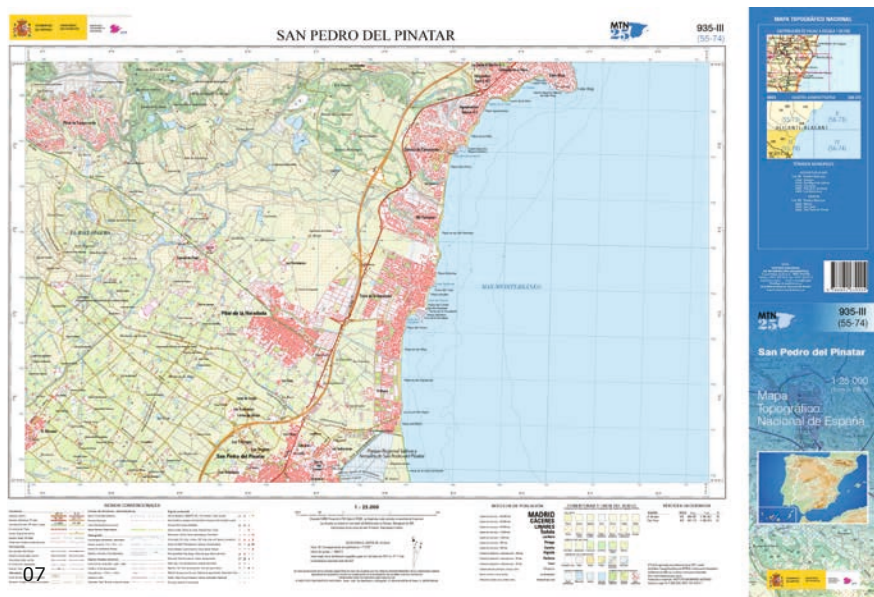


08





01



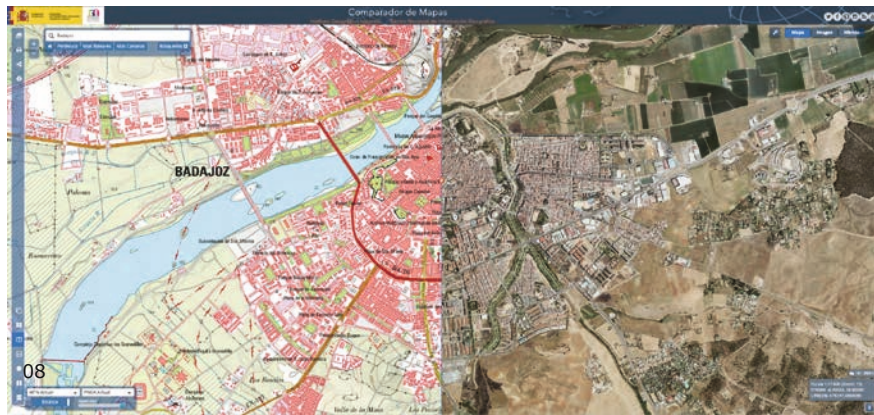
07



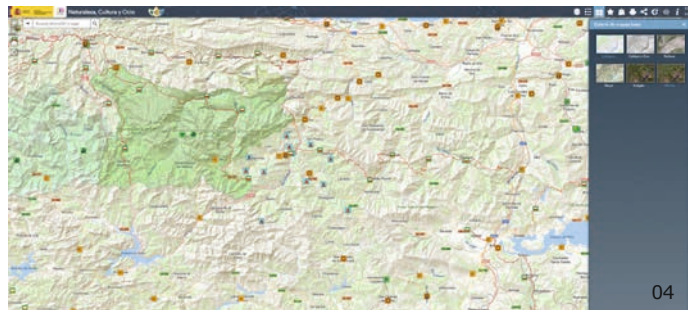
02



03



08



04



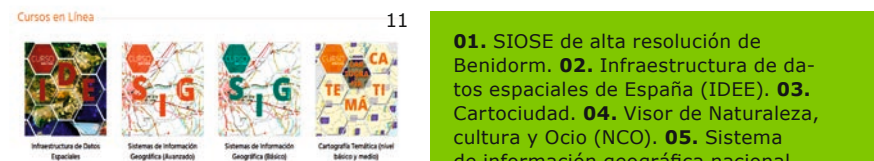
09



05



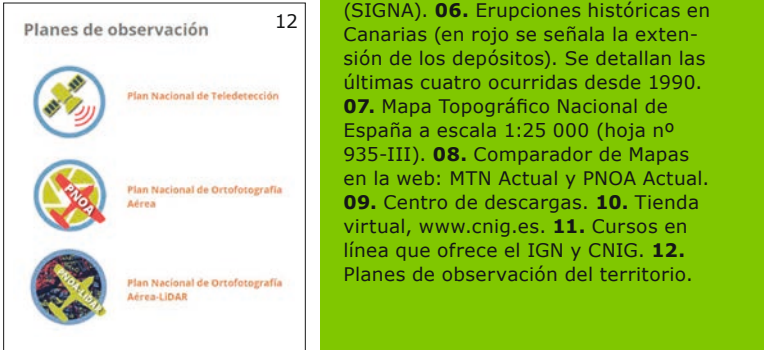
10



11



06



12

01. SIOSE de alta resolución de Benidorm. **02.** Infraestructura de datos espaciales de España (IDE). **03.** Cartociudad. **04.** Visor de Naturaleza, cultura y Ocio (NCO). **05.** Sistema de información geográfica nacional (SIGNA). **06.** Erupciones históricas en Canarias (en rojo se señala la extensión de los depósitos). Se detallan las últimas cuatro ocurridas desde 1990. **07.** Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:25 000 (hoja nº 935-III). **08.** Comparador de Mapas en la web: MTN Actual y PNOA Actual. **09.** Centro de descargas. **10.** Tienda virtual, www.cnig.es. **11.** Cursos en línea que ofrece el IGN y CNIG. **12.** Planes de observación del territorio.

determinar con altas precisiones los marcos de referencia terrestres y celestes (ITRF e ICRF), el observatorio de Yebes ha sido reconocido como centro de desarrollos tecnológicos de la IVS (servicio internacional de VLBI). El IGN es miembro de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) participando activamente en los diferentes foros, secciones y congresos que organiza. En geofísica se mantienen intensas colaboraciones con otros institutos internacionales de primer nivel en los campos de sismología, geomagnetismo, gravimetría y volcanología. En este último apartado destaca el caso del Instituto Nacional de Geofísica y Volcanología (INGV) de Italia, que es un referente a nivel mundial, con el que se colabora estrechamente en aplicaciones para la vigilancia volcánica de Canarias. En Sismología, la Red Sísmica Nacional (RSN) es uno de los tres Centros nodales del Centro Sismológico Mediterráneo Europeo y el Centro Sismológico de Sonseca (Toledo) es estación primaria del sistema internacional de vigilancia de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO). En geodesia, uno de los cometidos nucleares del IGN desde su creación, y dado que esta ciencia nunca ha tenido fronteras pues su vocación es la totalidad de la Tierra, son varias las asociaciones internacionales a las que prácticamente desde sus inicios ha pertenecido el IGN, como la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) o su Subcomisión para Europa (EUREF), han permitido a la institución ir por delante de multitud de iniciativas, incluso mucho antes que éstas cristalizaran en la sociedad. Lo mismo ocurre en el caso de la cartografía con la Asocia-

ción Internacional de Cartografía (ICA), o en fotogrametría y teledetección con la Asociación Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS según su acrónimo inglés). También es importante destacar la activa participación, a través del CNIG, en el Comité Inspire y sus grupos de trabajo para facilitar la implementación y cumplimiento de dicha Directiva europea, así como la participación en la asociación europea de agencias cartográficas y catastrales nacionales, *Eurogeographics*, y su rol como miembro observador en el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), con el que participa en diversos proyectos como el Mapa Integrado de las Américas.

El IGN se amolda a su tiempo

Todo cambio es siempre consecuencia de un contexto social y de utilidad concreto. Este contexto es el que condiciona las necesidades, la forma de consumo y el propósito para el que se construye. Si bien, hace apenas una década el consumo de cartografía en papel era suficiente, pues esta herramienta ha demostrado su validez a lo largo del tiempo ligada a altos estándares de calidad en su producción, hoy en día, el contexto evidencia otra forma de entender la cartografía, sin que se haya eliminado en absoluto la premisa original, a la que se añaden otras exigencias. La sociedad española ha experimentado en las últimas décadas una profunda transformación social, económica y tecnológica. En el IGN esta transformación se ha producido, por ejemplo, desde una visión centrada en el mapa tradicional, análogamente

al resto de instituciones que producen cartografía, a una estrategia focalizada en la producción y difusión digital de la información geográfica en cualquiera de sus formatos, incluidas las imágenes aeroespaciales.

Hoy en día, prácticamente toda la información está georreferenciada. Para buscar un hotel donde alojarse, localizar una tienda o comprar una herramienta, se utilizan aplicaciones y programas que incluyen mapas o algún tipo de geolocalización. Y toda esa información es accesible muy fácilmente a través de aplicaciones web en nuestro ordenador o de *app* en nuestros dispositivos móviles, en sintonía con las nuevas capacidades que está proporcionando la transformación digital a la sociedad, a las administraciones públicas y a los medios de comunicación. El IGN ha querido fomentar el acceso a toda su producción y ha promovido una política de difusión pública de la información geográfica, facilitando el uso de sus productos y servicios con carácter abierto, libre y gratuito, contando para ello con el soporte específico del CNIG. La publicación de manera abierta y gratuita de geoservicios rápidos, fiables y con contenido actualizado ha disparado su utilización por organizaciones públicas y privadas. La masiva utilización de las aplicaciones web (visualizadores de terremotos, Iberpix, Biblioteca, Fototeca, etc.) y *app* con miles de descargas (Mapas de España, Sismología, Camino de Santiago, etc.) demuestran también la buena acogida del formato digital. En esencia, el gran cambio ha sido el consumo de gran cantidad de información geográfica en diversidad de formatos tanto

físicos como digitales y el predominio del formato digital sobre cualquier otra manera de consultar y utilizar esa información.

El IGN hoy. Vocación de servicio a la sociedad

El Instituto continúa hoy en día con las actividades de su competencia, a las que hay que añadir el ejercicio de la presidencia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, de la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes y, junto al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de la Comisión Nacional de Astronomía. La estructura actual se encuentra recogida en el artículo 17 del Real Decreto 645/2020, y se configura a través de: la Secretaría General; la Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales; la Subdirección General de Geodesia y Cartografía y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Además, del CNIG dependen funcionalmente una serie de unidades territoriales (orgánicamente dependientes del Ministerio de Política Territorial y Función Pública) denominadas Servicios Regionales del IGN, establecidas en las diferentes comunidades autónomas en el seno de las delegaciones de gobierno. Cuenta también con el Centro Geofísico de Canarias, cuya actividad se focaliza especialmente en la red de vigilancia volcánica desplegada en el archipiélago.

Entre los trabajos que está llevando a cabo el Instituto podemos describir varios ejemplos. En el ámbito de la sismología, la Red Sísmica Nacional registra más de 10.000 eventos sísmicos al año y, además, ante even-

tuales situaciones de riesgo, tanto sísmico como de tsunami, se coordina con la Dirección General de Protección Civil y Emergencias.

Por otra parte, el IGN, es el organismo responsable del establecimiento y mantenimiento del Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España a través de la Red Geodésica Nacional, concretamente de su red de estaciones permanentes del sistema global de navegación por satélite (GNSS, por sus siglas en inglés), con la que, además, el Mitma ofrece el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR). Este servicio proporciona a sus usuarios (fundamentalmente de sectores como la ingeniería civil, la topografía o la agricultura de precisión) de forma libre y gratuita la posición instantánea con precisión del orden de pocos centímetros, precisión inalcanzable por medios ordinarios o comunes de geoposicionamiento. El Plan Nacional de Observación del Territorio surge con el fin de impulsar la coordinación en la obtención y difusión de coberturas periódicas de imágenes aéreas y de satélite y de información sobre ocupación del suelo en España. Coordinado por el Consejo Superior Geográfico, es una de las principales actividades lideradas por el IGN en el ámbito de la fotogrametría y la teledetección. Además, incluye el programa europeo *Corine Land Cover* y el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (Siose).

A través del PNOT el IGN se coordina con Copernicus, el programa de la Unión Europea de observación y monitorización de la Tierra. El programa, liderado por la Comisión Europea, proporciona datos de mane-

ra operacional y servicios de información de forma gratuita sobre numerosas áreas de aplicación como, entre otras muchas, seguridad y emergencias, vigilancia del medio ambiente o la monitorización del cambio climático.

Una de las actividades más antiguas del Instituto es la elaboración de cartografía oficial del Estado, entre la que destaca el Mapa Topográfico Nacional. Las series y bases cartográficas nacionales responden a la necesidad de facilitar a la sociedad información geográfica espacial y temática válida para todo el territorio del Estado con garantía de calidad, homogeneidad y conservación. Con ello se facilita el intercambio de datos, tanto nacional como internacional, y su explotación cruzada, al tiempo que se establece un soporte para las demás cartografías que producen las administraciones públicas con una optimización de recursos para su mantenimiento. Su producción se lleva a cabo por procesos íntegramente informatizados que constituyen, por tanto, un conjunto de series digitales con enormes posibilidades de explotación entre las que la publicación impresa es

La Red Sísmica Nacional registra más de 10.000 eventos sísmicos al año y ante situaciones de riesgo se coordina con la D.G. de Protección Civil y Emergencias

solo una de sus facetas. Por otro lado, se ha publicado la tercera versión del *Atlas Nacional de España*, que recibió en 2018 el premio de comunicación de la Sociedad Geográfica Española, entregado en 2019 por Su Majestad el Rey Felipe VI.

La denominada información geográfica de referencia, sobre hidrografía, redes de comunicaciones, poblaciones, entre otros muchos temas, ha comenzado a desarrollarse en los últimos años para constituir los conjuntos de datos que, siguiendo las especificaciones de la Directiva Inspire, deben utilizarse para la toma de decisiones en las políticas europeas y nacionales.

Para terminar la descripción de las principales actividades actuales del Instituto, hay también que destacar el desarrollo y mantenimiento del Nomenclátor Geográfico Básico de España, y el registro y gestión de las delimitaciones territoriales del Estado mediante el Registro Central de Cartografía, así como la labor de difusión de la información geográfica que, a través de diferentes portales, aplicaciones y servicios web desarrolla la institución con el apoyo del CNIG.

150 años en los que el IGN ha sido la institución española de referencia en disciplinas como la geodesia, la geofísica, la astronomía y la cartografía

150 años dando servicio a la sociedad

El 14 de septiembre de 1870 se publicó en la *Gaceta de Madrid* el decreto de creación, con fecha 12 de septiembre, del entonces denominado Instituto Geográfico. Desde entonces han transcurrido 150 años durante los cuales el IGN ha sido la institución española de referencia en disciplinas como la geodesia, la geofísica, la astronomía, la cartografía y la información geográfica, e incluso en algunas otras que fueron siendo asumidas por otros organismos especializados, como la meteorología, la estadística, el catastro o la metrología.

La celebración de este siglo y medio de vida se comenzó a diseñar y planificar a finales de 2018 por un grupo de trabajo *ad hoc*, con el objetivo de hacer partícipe a toda la ciudadanía de la enorme dimensión científico-técnica, social y cultural que ha supuesto la actividad del IGN a lo largo de su historia hasta nuestros días. Como consecuencia de la pandemia de la covid-19 se ha tenido que hacer una replanificación del programa, trasladando y adaptando los diferentes actos, como se puede visualizar en la sección del portal web del IGN <https://www.ign.es/web/ign/portal/150-aniversario>. En esta situación el IGN ha seguido prestando sus servicios a través de la conexión digital de sus distintos ámbitos de actuación. Una de las principales actividades es la exposición conmemorativa del aniversario que reúne documentos, mapas, instrumentos, fotografías, uniformes y otros objetos de gran interés en la recreación del siglo y medio de existencia del IGN. Entre las piezas destacadas

figuran la piedra litográfica a partir de la cual se imprimió en 1875 la primera hoja del *Mapa Topográfico Nacional*. También las referencias a los distintos cuerpos profesionales que han pertenecido al Instituto, y los curiosos y desconocidos proyectos arquitectónicos que finalmente cristalizaron en 1929 en el actual edificio de su sede central. Además, el IGN seguirá ofreciendo la exposición conmemorativa del V centenario de la primera vuelta al mundo de Magallanes y Elcano.

Están previstas otras exposiciones en las sedes de los servicios regionales del IGN, como "De Iberia a España a través de sus mapas", "Ecúmene". La evolución de la imagen del mundo" o una exposición que se ubicará en la estación de Guzmán el Bueno del Metro de Madrid. También se ofrecerá una muestra de ámbito filatélico en la sede del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, "La Cartografía en los sellos", con motivo de la emisión de dos sellos y otros productos filatélicos alusivos al aniversario. Así mismo, la ONCE y la Lotería Nacional participan en la celebración de esta importante efeméride para el IGN con sendos boletos dedicados a ella.

Por otra parte, ha planificado la edición de publicaciones impresas, digitales e interactivas, entre las que sobresalen, por un lado, un libro conmemorativo, destacando los hitos principales que han marcado la historia del IGN, y por otro, una sección de la web corporativa en la que también se accede a un elaborado e interesante *Story Map* que combina textos, mapas, imágenes y contenido multimedia para mostrar la evolución



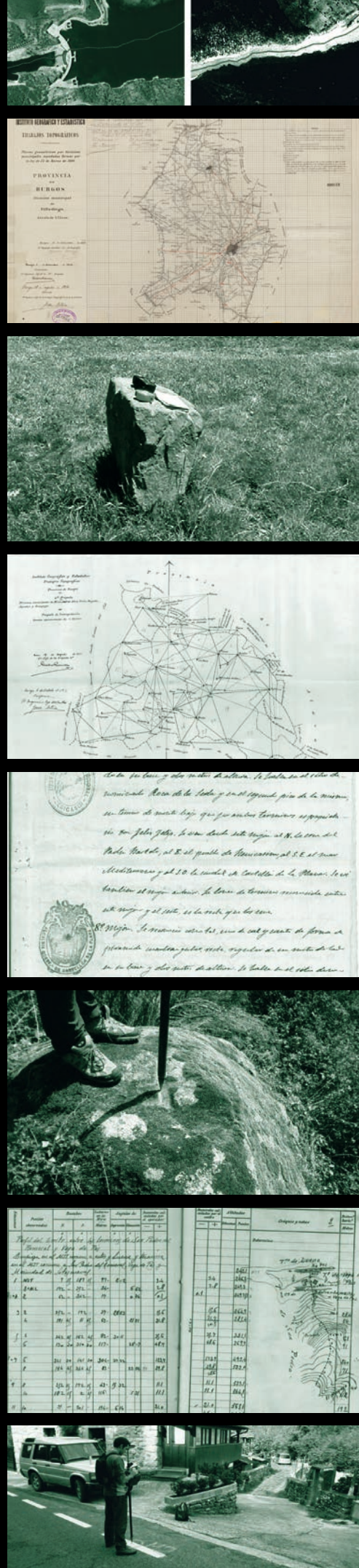
del IGN desde 1870 hasta la actualidad, los distintos departamentos que lo componen y los trabajos que desarrolla en la actualidad. Los más pequeños también serán protagonistas gracias a la Asociación Cartográfica Internacional (ICA/ACI) que, en un gesto entrañable, presentará el libro "El mundo dibujado por los niños" (Concursos Internacionales Barbara Petchenik 2017 y 2019) como una edición conmemorativa del 150º aniversario. Otra de las principales actividades, si las condiciones sanitarias lo permiten, consistirá en un ciclo de 17 conferencias, abierto al público en general. Dicho ciclo constará de dos programas que se celebrarán

en paralelo en la sede central del Instituto Geográfico en Madrid (calle General Ibáñez de Ibero nº 3) y en el Real Observatorio de Madrid (calle Alfonso XII nº3). El primero pretende difundir las múltiples facetas de la actividad del IGN, mientras que en el segundo se revisa la historia de la Astronomía. Tratarán temas de diversa índole como "La Astronomía se revolutiona", "La historia de España a través de sus nombres" o "De Julio Verne a las redes de vigilancia volcánica". Se tiene previsto también ofrecer visitas guiadas al Real Observatorio de Madrid, ubicado en el parque de El Retiro, al Observatorio de Yebes (Guadalajara) y al Observatorio Geofísico

de San Pablo de los Montes (Toledo). Finalmente se organizarán congresos y jornadas ligadas específicamente al aniversario y otros que, siendo de recurrencia periódica, tendrán una presencia especial del IGN. Además, se ha diseñado un logo especial dedicado al aniversario al que se ha asociado el lema "Tu mundo, nuestra referencia". Sin duda este 2020 está siendo un año singular por la crisis provocada por la covid-19 que nos está enseñando lo efímero de las certezas. Esperemos que todos recuperemos la auténtica normalidad lo antes posible. Sin duda, contaremos, como siempre, con todo el apoyo que puede aportar el IGN. ■

Topografía

■ Texto: ELENA CAMACHO ARRANZ. Área del Registro Central de Cartografía. Secretaría General.



de generación en generación. La importancia de este conocimiento se sigue recogiendo en la potestad de que asistan al deslinde «personas que por su avanzada edad y acreditado juicio» que se incluyen en las normas actuales que regulan los procedimientos de deslindes.

La desaparición de los mojones o la variación en el tiempo de los elementos físicos que definen los límites de los municipios crean una estructura de perímetros municipales poco claros y discutibles ya que rara vez se recogían descripciones gráficas que pudieran ayudar a localizar los mojones o a recolocarlos una vez desaparecidos. En este sentido, la creación del Instituto Geográfico, en 1870, supuso un gran avance en la demarcación de los términos municipales al empezar a dotar de geometría a los límites administrativos. La elaboración de la topografía del mapa incluía en sus primeras fases la demarcación del término municipal, citando a los ayuntamientos afectados, levantan-



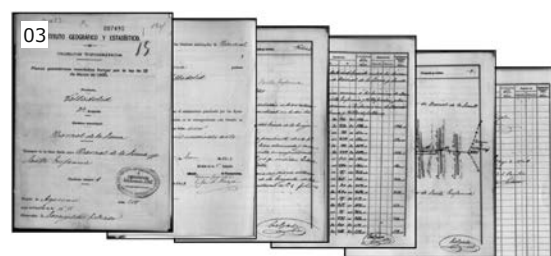
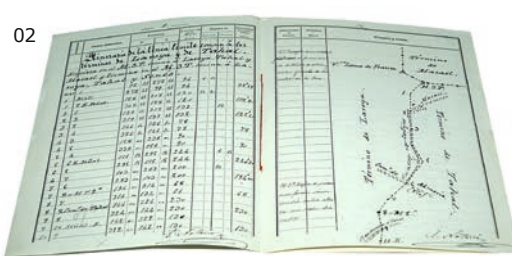
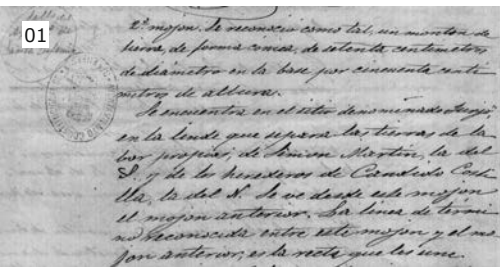
los límites municipales de casi la totalidad de España y representó estos límites por primera vez en la cartografía oficial.

El origen de las líneas límite municipales: el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000

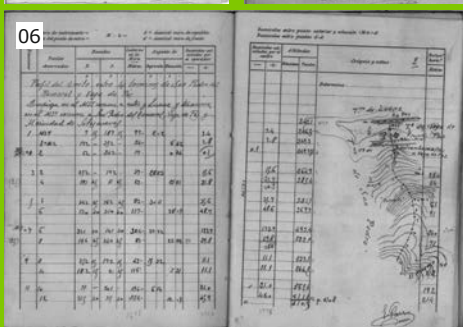
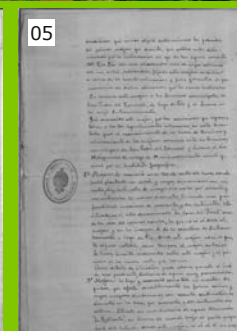
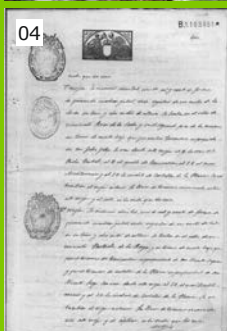
La elaboración de la primera

tando acta de las operaciones de reconocimiento de las líneas y observando con instrumentación topográfica los límites para su representación gráfica en la cartografía. De esta forma, no era necesario conocer perfectamente un territorio para poder saber hasta dónde alcanzaba un término municipal sino que, simplemente, con la interpretación de la cartografía era posible establecer los límites, al menos, hasta un cierto grado de precisión como se verá más adelante. Durante los casi cien años que duraron los trabajos para la elaboración de la primera edición del *Mapa Topográfico Nacional* (1870-1968), el Instituto Geográfico levantó actas de las operaciones de reconocimiento de

edición del *Mapa Topográfico Nacional* se realizaba conforme al «Plan General para la triangulación topográfica y levantamiento de planos que requiere la publicación del Mapa Topográfico Nacional», de gran importancia en materia de límites municipales, ya que muchas de las actas que hoy establecen las líneas límite actuales se realizaron conforme a este Plan que definía la elaboración del *Mapa Topográfico Nacional* en dos fases: la planimétrica, por un lado, y la altimétrica y planos de población, por otro, utilizando siempre el municipio como base para el levantamiento. Esta metodología conseguía obtener de una forma más rápida los datos



- 01.** Ejemplo de descripción de mojón y de línea de término entre dos mojones consecutivos: «2º mojón: se reconoció como tal un montón de tierra de forma cónica, de setenta centímetros de diámetro en la base por cincuenta centímetros de altura. Se encuentra en el sitio denominado Jurjo (...) La línea de término reconocida entre este mojón y el anterior es la recta que los une.»
- 02.** Ejemplo de cuaderno de itinerario de línea límite con las observaciones topográficas realizadas en su día para representar una línea límite municipal en la cartografía. **03.** Ejemplo de cuaderno de líneas límite desglosado en hojas.



No debería ser aceptado que la geometría de los límites municipales actuales proceda de observaciones topográficas del Siglo XIX y principios del Siglo XX

planimétricos considerados de mayor importancia, al permitir, entre otros aspectos, calcular la superficie del municipio y de los usos del suelo para la contribución territorial. De hecho, es frecuente encontrar un desfase de más de veinte años entre la campaña de planimetría y la de altimetría, lo que efectivamente aumentaba el ritmo de obtención de los datos planimétricos pero retrasaba la elaboración del mapa. Por esta razón, aunque una hoja de la primera edición del *Mapa Topográfico Nacional* sea de una determinada fecha, es frecuente disponer de cartografía planimétrica anterior.

Los pasos para la elaboración de la planimetría eran:

1. Triangulación topográfica: observada con teodolito que permitía la lectura del minuto sexagesimal y que incluía la medida de una base y observaciones astronómicas.
2. Demarcación del término municipal: en primer lugar, se citaba a los ayuntamientos para la operación de reconocimiento de la línea de término y de los mojones que la definían y en la fecha de citación se levantaba acta de dicha operación.

La mayoría de las actas levantadas para la elaboración del mapa tienen una estructura similar. Comienzan con el título del documento donde se define la línea límite a la que hace referencia. Continúa especificando la fecha de reunión, el lugar donde se reúnen los representantes de los ayuntamientos y la normativa por la que se procede al levantamiento. Posteriormente se da paso a la descripción literal de los mojones que definen la línea límite.

La información de cada mojón suele consistir en una descripción física del tipo de señal, una indicación del paraje en el que está situado y de los detalles geográficos que se ven desde esa posición. Al final del reconocimiento de cada mojón se describe, además, cómo discurre la línea de término entre el mojón descrito y el anterior. En muchos casos es la línea recta que los une, pero también son comunes otras formas como la divisoria de aguas, un camino, un río o algún otro accidente geográfico.

Las actas también pueden recoger la falta de acuerdo en un determinado tramo o en la línea completa. Esto significa que la línea de término en estos tramos se encuentra en un estado «provisional» y carece de aval jurídico. La geometría representada de estos tramos obedece a la necesidad de cierre de los términos municipales.

3. Observación del territorio. Apoyadas en la red de triangulación se realizaban poligonales topográficas para el

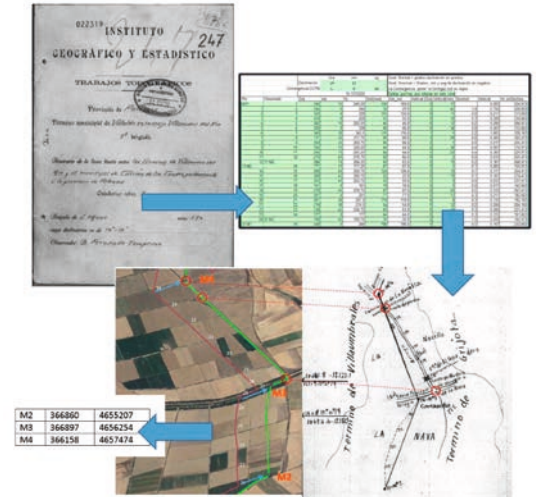
01 y 02. Otros ejemplos de mojones localizados. **03 y 04.** «8º Mojón. Se reconoció como tal, uno de cal y canto de forma de pirámide cuadrangular recta, regular de un metro de lado en su base y dos metros de altura». **05, 06 y 07.** Replanteo de mojón desaparecido.

levantamiento de las líneas límite, las vías de comunicación, hidrografía y masas de cultivo normalmente. Son de especial interés para los deslindes los cuadernos de itinerarios de línea límite. Estos cuadernos recogen las observaciones topográficas para representar una línea límite en la cartografía. La metodología habitualmente empleada era la observación de los ángulos a partir de brújula con 15 minutos sexagesimales de apreciación y de las distancias con cinta métrica o mira. Las primeras páginas, entre otras aclaraciones, indicaban el tipo de brújula, la declinación magnética para corregir las lecturas al norte verdadero y el sentido de medición de los ángulos; a continuación, se recogían los estadillos con los datos de las observaciones topográficas y un croquis de la poligonal; para terminar con la firma y fecha del topógrafo encargado de los trabajos.

4. Levantamiento de las planimetrías: Cartografía manuscrita a escala 1:25.000 con la representación gráfica de los detalles planimétricos, incluidos la línea límite y los mojones que la definen. La Ley 7/1986, de 24 de enero, de Ordenación de la Cartografía supuso la creación del Registro Central de Cartografía que establecía, como uno de sus cometidos, la inscripción de las líneas límite municipales y la obligación de que fueran usadas en toda la cartografía oficial. La inscripción en el Registro Central de Cartografía de las líneas límite municipales consistió en registrar la geo-

metría vigente publicada en la cartografía oficial (*Mapa Topográfico Nacional*) y el título jurídico que la avalaba en ese momento. Para ello se comenzó un proceso de digitalización de las líneas límite utilizando diversas fuentes cartográficas impresas y que constituyó la base de la geometría que hoy día seguimos utilizando. Es evidente que, analizado el origen de las geometrías, las precisiones de los límites municipales y, en consecuencia, los provinciales y los de las comunidades autónomas, no son acordes a las necesidades actuales en materia de información geográfica, y no debería ser aceptado que la geometría de los límites municipales actuales proceda de observaciones topográficas del siglo XIX y principios del siglo XX, con brújula y mira o cinta métrica. Otro problema añadido es que en muchas de las actas de línea límite consta el desacuerdo entre los representantes de los ayuntamientos sin que ninguna administración haya resuelto esa desavenencia, es decir que en la actualidad no se tiene constancia de que el deslinde se haya realizado, lo que comporta que el trazado de la línea límite en esos tramos disconformes se encuentre en un estado «provisional» a la espera de que se realicen los deslindes definitivos. En estos casos de provisionalidad, aunque la cartografía oficial represente línea límite, esta representación solo obedece a la necesidad del cierre del perímetro del municipio.

Esquema de obtención de coordenadas aproximadas de los mojones de línea límite.



Recuperar límites municipales antiguos significa recuperar límites municipales vigentes

Podría pensarse que para solucionar este problema bastaría con realizar de nuevo el deslinde con instrumentación GPS que permita determinar con precisión la geometría de las líneas municipales, pero hay que tener en cuenta que en materia de líneas límite, si ya se ha realizado un deslinde no cabe proceder a una nueva fijación salvo que se justifiquen errores materiales o vicios de procedimiento en la delimitación anterior. Este precepto obedece a la propia naturaleza del municipio, que desde el momento de su creación lleva asociado un territorio en el cual cada ayuntamiento ejerce sus competencias y, si en alguna ocasión fueron fijados sus límites, no deben determinarse otros diferentes si el municipio no ha tenido ninguna alteración. Esta necesidad de estabilidad de los términos municipales y la prohibición de modificar mediante un deslinde posterior los límites de un municipio está, de una o de

Hay que materializar en el terreno la información geométrica de las actas y otros documentos y determinar esa geometría con coordenadas precisas

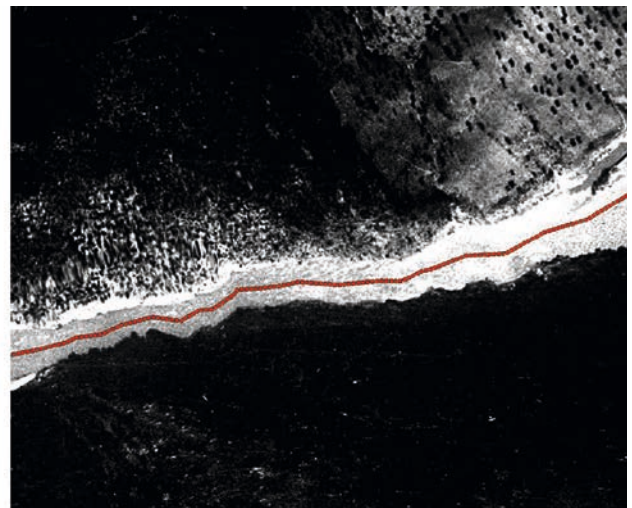
otra forma, recogida en toda la normativa relativa a los deslindes municipales, y el mismo Tribunal Supremo establece a través de su jurisprudencia que la Administración ha de basarse primero en lo que resulte de deslindes anteriores practicados de conformidad, es decir, en los más antiguos. La modificación de un límite municipal debe realizarse por el procedimiento administrativo de alteración y debe quedar claro que en ningún caso deslindar puede alterar los términos mu-

nicipales. De ahí la importancia de la documentación histórica en las delimitaciones municipales ya que, si no ha habido alteración, la situación histórica de una línea límite debe ser la misma situación que la actual y vigente.

Metodología de recuperación de los límites municipales

Por tanto, la tarea que hay que realizar, en la mayoría de los casos, no es la de un nuevo deslinde sino la de materializar en el terreno la información geométrica contenida en las actas y otros documentos pasados y determinar esta geometría con coordenadas precisas que eviten los problemas anteriores de pérdida de mojones y de referencias geográficas. Pero no siempre es fácil interpretar geoméricamente estos documentos antiguos, algunos incluso medievales, ya que en muchos casos se detallan muy pocas referencias geográficas en ellos para que se pueda concretar el deslinde. Las descripciones literales de

los mojones y de la trayectoria de la línea límite se refieren en general a topónimos muy antiguos que nunca fueron cartografiados; en estos casos es fundamental el conocimiento de la zona por parte de los habitantes de esos municipios, cuestión cada vez más complicada con la «España vaciada» pues en unos años ese conocimiento transmitido de generación a generación muy probablemente se perderá. Además, en las referencias a elementos físicos identificables en la actualidad debe asegurarse que dichos elementos no han sufrido variación, ya que la línea debe discurrir por los elementos tal y como eran en el momento del deslinde original, por lo que si el elemento físico ha cambiado hay que buscar en el terreno restos del trazado o en documentos coetáneos que evidencien cómo era la trayectoria. La importancia de las actas del Instituto Geográfico procedentes de los trabajos de levantamiento de la primera edición del Mapa se fundamen-



Comparación del curso de un río antes y después de la construcción de una presa. Si el acta de línea límite especifica que la línea de término discurre por el eje del río, éste debe considerarse en la fecha de firma del acta.

ta en que la mayor parte de los límites municipales españoles se basan en ellas, con el valor añadido de la información geográfica asociada a su descripción, lo que facilita considerablemente la localización de mojones. Esta documentación auxiliar ya fue analizada anteriormente y, convenientemente tratada, es una fuente de datos elemental en las labores de búsqueda de mojones.

La primera tarea consiste en recoger las observaciones topográficas contenida en los cuadernos de campo con las que se tomaron los datos para representar la línea límite en la cartografía. Como ya se vio anteriormente, en su mayoría, estas observaciones fueron realizadas con brújulas topográficas. Como la brújula se orienta al norte magnético, para desarrollar la poligonal hay que tener en cuenta la declinación y el sentido normal o anormal de medida angular, es decir, si crecen los ángulos en sentido horario o antihorario. Una vez orientada al norte geográfico la poligonal, esta poligonal hay que «situarla» en el terreno. Para ello buscamos puntos homólogos que aparecen en las poligonales y que son localizables en cartografía o en ortofotografía precisa. De esta forma obtenemos coordenadas aproximadas de los mojones y de los puntos de poligonal. Estas poligonales se realizaron enlazándose con otras de línea límite, de levantamiento de otros detalles planimétricos o con la red de triangulación topográfica, por lo que si no se localizaran puntos homólogos en un cuaderno podríamos apoyarnos en cualquiera de las otras poligonales enlazadas.

Con estas coordenadas, ya en el terreno, se intentan localizar mojones y se dan coordenadas precisas de los localizados. Debe comprobarse que el mojón encontrado corresponde a la información que de ellos se describe en el acta.

Se comparan estas coordenadas precisas de los mojones con las aproximadas y si es necesario se vuelven a calcular coordenadas aproximadas de aquellos no localizados. Los mojones que han desaparecido y no se localizan, se replantean. Para ello nos situamos en la zona donde según los estudios realizados debería encontrarse el mojón, y siguiendo las descripciones del acta se localiza la posición en la que probablemente estuvo situado y se miden sus coordenadas. Una vez obtenidas las coordenadas de todos los mojones (localizados o replanteados) hay que determinar con precisión el trazado de la línea entre dos mojones consecutivos. Esta información se recoge en el acta de línea límite al final de cada mojón. Normalmente la forma de unión entre ellos es la línea recta pero también es muy frecuente que siga elementos físicos como ríos, divisorias o caminos. Para obtener geometría precisa de estos elementos debe utilizarse la fuente de datos más fiable de que se disponga, siempre que garantice que se corresponde con la información de la fecha del acta.

Ratificación de los trabajos de recuperación de límites municipales

Para que estos trabajos de recuperación de líneas límite municipales puedan considerarse oficiales es necesario que se

Para que se consideren oficiales, los trabajos de recuperación de líneas límite municipales tienen que ser ratificados por la administración competente

ratifiquen por la administración competente.

Dependiendo de la situación geográfica de cada línea límite la legislación será diferente, las líneas que separan una comunidad autónoma de otra se rigen por una norma estatal y las líneas interiores de una comunidad autónoma se rigen por normas propias de cada comunidad autónoma, si existiera, o por norma foral o de los cabildos en los casos de que las competencias hayan sido transferidas a esos niveles de la Administración Local. Ya sea mediante resolución administrativa, sentencia judicial o acta firmada por las comisiones de deslinde de los ayuntamientos y ratificada por los plenos, estos documentos deberían definir la línea límite a partir de las coordenadas obtenidas anteriormente de los mojones y de los puntos de paso, en el caso de que no sea la unión entre mojones la recta que los une, y de esta forma evitar futuros problemas de inseguridad jurídica en el ejercicio de sus competencias en el territorio y que garantice con ello la estabilidad de los límites de los municipios. ■

VOLCANES

■ Texto: CARMEN LÓPEZ MORENO, MARÍA JOSÉ BLANCO SÁNCHEZ. Observatorio Geofísico Central.
Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales

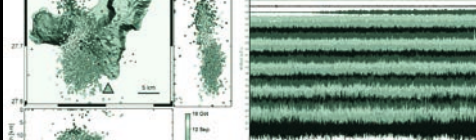
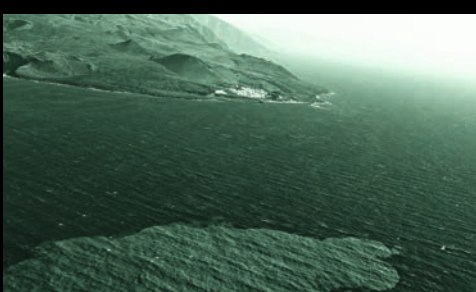


Imagen de la erupción submarina de El Hierro en 2011.



Crónica de una erupción submarina, El Hierro

2011-2012

El MITMA y La Vigilancia Volcánica

España tiene en las islas Canarias la única zona volcánica con actividad en su pasado histórico. En los últimos 500 años y hasta nuestros días están documentadas al menos 19 erupciones en tres de sus islas: La Palma, Tenerife y Lanzarote. La última erupción tuvo lugar en la isla de El Hierro. Precedida por unos tres meses de intensa sismicidad (más de 10.000 terremotos localizados) y por deformaciones superficiales del terreno de casi 6 cm, el pasado 10 de octubre de 2011, alrededor de las 04:15h (UTC) dio comienzo una erupción submarina, que duró casi cuatro meses y formó un nuevo volcán al sur de la isla, en el Mar de Las Calmas.

Las primeras actuaciones

del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el ámbito de la vigilancia volcánica comenzaron en 2004. Hasta ese año el IGN disponía de una red sísmica en las Islas Canarias con al menos dos estaciones por isla para la localización de la sismicidad regional y un Observatorio Geomagnético (Güimar) en la isla de Tenerife.

En abril de 2004, se registró un intenso episodio de actividad sísmica al sur de Icod de los Vinos, en Tenerife, con algunos sismos sentidos que causaron una gran intranquilidad a la población. En esta ocasión, el IGN reforzó su red sísmica, localizando así con más precisión los terremotos de esta serie y estudiando su evolución hasta 2006. Desde el comienzo de esta crisis se puso de manifiesto la carencia de una institución que asumiera las competencias de vigilancia y alerta volcánica. La visión estratégica de la dirección del IGN y la opinión generalizada en la comunidad científica de que el IGN era la institución con más experiencia, por los servicios que ya prestaba en los campos de Sismología, Geodesia y Geomagnetismo, lo que propició que en junio de 2004

se responsabilice a la institución de la Vigilancia y Alerta Volcánica en todo el territorio nacional (Real Decreto 1476/2004). IGN diseña y estructura una Unidad de Vigilancia Volcánica y logra que se dote, en 2007, de personal especializado en las diferentes técnicas geodésicas, geofísicas, geoquímicas, geológicas e instrumentales. Se crea entonces el Observatorio Geofísico Central (OGC), con una unidad en Canarias denominada Centro Geofísico de Canarias (CGCAN). En lo que a la gestión de la emergencia se refiere, habría que esperar hasta julio de 2010 para tener aprobado el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA).

Inicio de la crisis volcánica

El 19 de julio de 2011, se registró el inicio de un enjambre de numerosos terremotos de pequeña amplitud en las estaciones sísmicas instaladas en El Hierro. Estos terremotos se localizaron frente a la costa del valle de El Golfo (norte de la isla) y su número aumentó con rapidez. Con anterioridad se había podido observar durante unas pocas horas algún enjam-

bre similar que había cesado al poco tiempo; esta vez la sismicidad no sólo no cesó, sino que intensificó y no dejó dudas de su carácter anómalo respecto al nivel de actividad habitual.

En este mismo día, personal del Grupo de Volcanología del CGCAN del IGN se trasladó a la isla con instrumentación sísmica suplementaria, aumentando en pocas horas la sensibilidad y capacidad de la red para el seguimiento en tiempo real de la actividad. En días posteriores, el personal del Observatorio Geofísico Central, tanto de Madrid como de Tenerife, reforzó la red instalando más sismómetros, instrumentos GPS para el registro de la deformación del terreno, estaciones geoquímicas para el estudio de la emisión de gases anómalos en superficie y gravímetros y magnetómetros para la medida de variaciones de la gravedad y del campo geomagnético.

También se pusieron en marcha los procedimientos de alerta y actuación del Grupo de Trabajo IGN-CSIC, creado en 2007 para la comunicación y valoración de la actividad volcánica; se intercambiaron y estudiaron datos instrumentales constatando su carácter anómalo y su probable origen volcánico. Siguiendo el protocolo de comunicación a



A la izquierda, el grupo de Volcanología del IGN en La Restinga, en pleno trabajo, durante la erupción. Abajo, se muestra la distribución, tanto en planta como en sus proyecciones en profundidad, de los 10.000 terremotos localizados antes del inicio de la erupción. El triángulo rojo, al sur de la isla, posiciona el nuevo volcán submarino surgido de esta erupción. A la derecha podemos observar una banda de 24 horas, del 10 de octubre de 2011, de un sismógrafo de la isla que registra el comienzo de la señal de tremor y su aumento gradual.

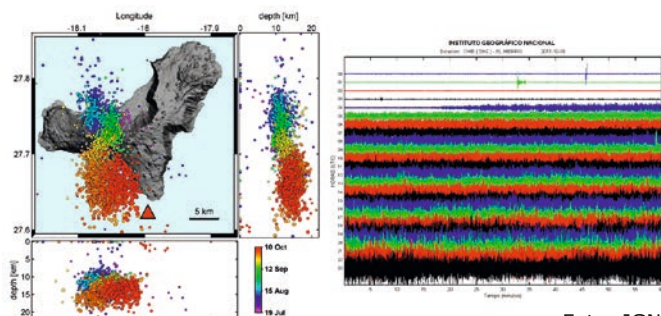


Foto: IGN



Foto: IGN. Rafael Abella.

Imagen de la cabecera de la erupción tomada el día 13 de octubre con el pueblo de La Restinga al fondo.

Protección Civil y Emergencias fueron enviados el día 19 dos comunicados de alerta. Al día siguiente, 20 de julio, se enviaba un comunicado a Protección Civil del Gobierno de Canarias, a raíz del cual se activaba el entonces recientemente aprobado Plan de Emergencias ante Riesgo Volcánico (PEVOLCA) y la convocatoria, para el día 22, de la primera reunión de su Comité Científico, del que el IGN forma parte. Hasta finales de agosto las labores se centraron en completar y mantener la red instrumental, en la realización de campañas de campo y en el análisis de la creciente sismicidad y deformaciones registradas recogidas en las estaciones de registro instaladas en la isla. Todo el personal de la Unidad trabajaba sin descanso ni horario. Además, el personal de la Red Sísmica Nacional, y en particular el del tur-

no de 24h, realizaron un intenso esfuerzo desde que comenzara esta crisis y un trabajo admirable que permitió asegurar una respuesta en tiempo real. Desde el comienzo de la crisis, el 19 de agosto, hasta finales de mes, se registraron más de 5.500 terremotos, que se localizaron durante las primeras semanas al norte, en la costa de El Golfo, y que posteriormente fueron migrando hacia el sur, atravesando toda la isla por debajo de su corteza, a unos 10-15km de profundidad. A la vez que la sismicidad se detectó una creciente deformación del terreno, un aumento de las emisiones de CO₂ y el calentamiento de las aguas en algunos pozos. Al final de este periodo los terremotos comenzaron a ser más fuertes y la población los sentía cada día en mayor número, con lo que iba aumentando su intranquilidad.

Desde primeros de septiembre el IGN se establecía de manera permanente en la isla de El Hierro hasta bien pasada la erupción, poniendo en marcha un Centro de Seguimiento de la actividad en la Residencia Escolar de Valverde, desde el que se coordinaron las tareas de vigilancia y alerta, y participaba en las reuniones del PEVOLCA desde las instalaciones del 112. En aquel momento comenzaba una gran presión de los medios de comunicación y se percibía un alto nivel de alarma. Desde algunos medios y, sobre todo, desde las redes sociales, se pronosticaba y describía una situación catastrófica, sin calcular el daño a una población muy intranquila y al turismo que comenzaba a abandonar la isla. El IGN participó en la valoración de la actividad y en los pronósticos sobre su evolución dentro

del ámbito del Comité Científico de Protección Civil, con una única voz consensuada ante las instituciones, la prensa y la población. Además, ante la necesidad de ofrecer información a la población, abrió una página web pública masivamente consultada. A mediados de septiembre la actividad se iba acelerando; más terremotos y de mayor intensidad y las deformaciones crecían más deprisa. Se elevó el nivel de alerta y el semáforo del PEVOLCA tornó a color amarillo (pre-emergencia, situación de alerta). En esta época el IGN participó en una acertada iniciativa de El Cabildo de El Hierro para la formación y comunicación a la población del riesgo volcánico y de las medidas para su mitigación (dependiendo del color del semáforo volcánico, de los puntos de encuentro en caso de

evacuación, etc.), dando charlas en las principales poblaciones de la isla.

Cada vez eran mayores los daños asociados a los terremotos más fuertes, provocando grietas en viviendas y caída de bloques de piedra en los laterales de las pistas y carreteras, principalmente en el norte de la isla. El mayor peligro se encontraba al noreste de El Golfo. Su valle, fruto de sucesivos deslizamientos de inmensas proporciones ocurridos en tiempos geológicos, tiene paredes casi verticales y desniveles de hasta 1.000m de altura y con frecuencia, sobre todo en época de lluvias, sufre desprendimientos de piedra y avalanchas.

Este valle se comunica bien con el resto de la isla a través del túnel de Los Roquillos, cuya entrada se encuentra muy cerca

de su pared. Con los terremotos más intensos las paredes del túnel comenzaron a sufrir caída de material y, por esta razón, el 27 de septiembre, como medida preventiva, PEVOLCA cierra su paso y se comenzaba la evacuación de la población que vivía más cerca de la pared de El Golfo (unas 54 personas), que fueron realojadas en la Residencia Escolar de Valverde. El valle de El Golfo se quedaba casi incomunicado, pues se puede acceder a él solamente haciendo uso de una carretera que atraviesa sinuosa un puerto a 1.500 m de altitud.

Los pronósticos eran actualizados continuamente, se redactaron informes para Protección Civil y se colaboró con la Unidad Militar de Emergencias (UME), la Cruz Roja, la Policía Local, la Guardia Civil, El Cabildo, los

Imagen de la población de La Restinga prácticamente vacía, tomada desde un helicóptero un día después de su evacuación. Toda la flota pesquera permanece amarrada. Más adelante, cuando la mancha verde producida por la erupción se introduce en el puerto, la flota pesquera es retirada a tierra pues el agua, debido a la disolución de gases volcánicos, se vuelve demasiado ácida y comienza a dañar las embarcaciones.

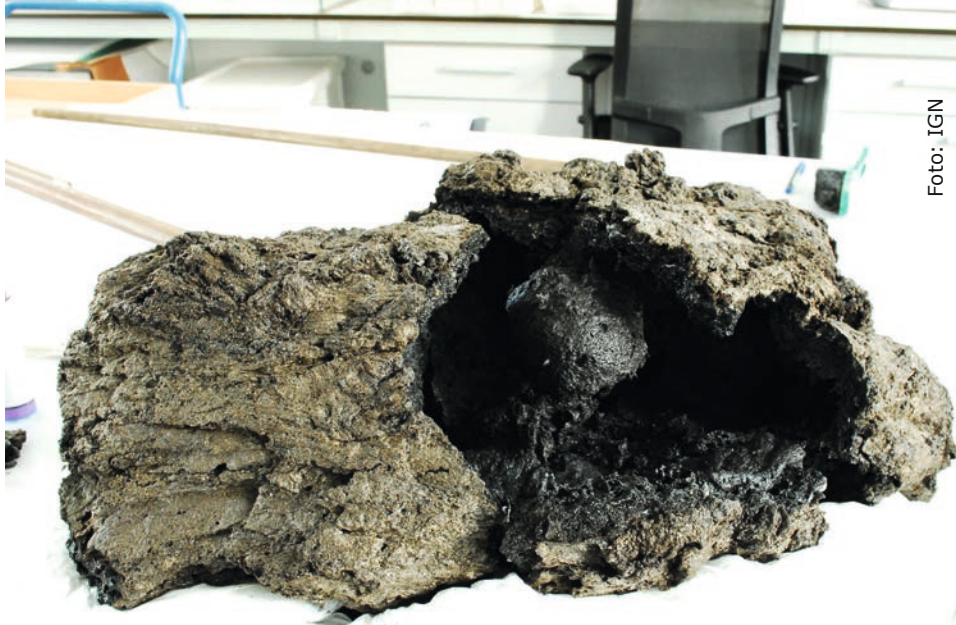
Ayuntamientos y la Delegación Insular del Gobierno, entre otras. Después de más de dos meses con sismicidad en tierra migró al mar de las Calmas, al sur de la isla, haciendo más probable una erupción submarina.

Inicio de la erupción

El día 8 de octubre se producía el hecho que marcó el preludio de la erupción. Para este día ya eran 10.000 los terremotos localizados y 6 cm la deformación superficial de la isla. A las 20:35 h (UTC) de ese día, el mayor terremoto asociado a esta serie, de 4.3 de magnitud, sacudió la isla con fuerza desde su epicentro en el mar de Las Calmas, no muy lejos de la costa y a unos 12 km de profundidad. Su fractura permitió el inicio del ascenso del magma hasta la superficie. Durante las siguientes 31 horas se registró una sismicidad diferente, formada por una veintena de sismos de pequeña magnitud, muy superficiales, agrupados a unos 5 km de la costa cercana al pueblo de La Restinga.

Esta sismicidad superficial fue la precursora espacial y temporal de la erupción submarina, que se inició el día 10 de octubre, a las 04:15 h (UTC) acompañada por una señal de tremor volcánico en todas las estaciones sísmicas de la red. Esta señal fue creciendo en energía y con el paso de las horas su vibración comenzó a ser percibida por la población al sur de la isla.

Ese mismo día se abrió el Centro de Atención Permanente en La Restinga, en las dependencias de su Centro Cultural cedido por el Ayuntamiento de El Pinar que permaneció abierto varios años. A primera hora de la tarde se sobrevolaba con helicóptero la zona, buscando alguna evidencia de los efectos de la erupción y,



Restingolita.

al cabo de un tiempo llamaban la atención numerosos peces de diversas especies flotando en la superficie. Las coordenadas del área resultaron estar a unas dos millas náuticas al SW de La Restinga; lo que desató la alegría por haber encontrado una evidencia más del inicio de la erupción, aunque más cerca de la costa de lo esperado. En esta situación, no se podía descartar que la fractura avanzase hacia tierra y constatando que la vibración era cada vez más energética, lo que justificó que, valorando la seguridad de la población, PEVOLCA elevase el semáforo a rojo (emergencia, situación de alerta máxima) y recomendase, la tarde del 11 de octubre, la primera evacuación de la población de La Restinga. Al tiempo, se prohibía el tráfico marítimo y aéreo en un radio de 4 millas náuticas de la erupción y se cerraban los accesos a la localidad. La Guardia Civil instaló un puesto de control en la carretera de paso a La Restinga, permitiendo el acceso tan solo al personal autorizado (IGN, CSIC, Autoridades y Fuerzas de Seguridad); al otro lado del punto de control se agolpaban los medios de comunicación con las principales cadenas de televisión, que hacían guardia día y noche a la

espera de asistir a los efectos en superficie de la erupción.

El pueblo de La Restinga vive principalmente de la pesca, del buceo y del turismo, y su población, de unos 600 habitantes, sufrió desde el inicio de la erupción sus efectos adversos: la paralización de su economía, vibraciones en los momentos más intensos de la erupción, altas concentraciones de gases percibidos por la población, terremotos sentidos y, sobre todo, incertidumbre. Aún cuando, el 21 de octubre, se desactivaba la evacuación, muchos de sus habitantes prefirieron mantenerse alejados y menos de la mitad de la población retornó a sus casas. La Restinga sería evacuada por segunda vez el 5 de noviembre, al intensificarse los efectos en la superficie de la erupción con la aparición de grandes burbujas de gas y un intenso olor debido a los gases volcánicos. El personal del IGN, junto a la Guardia Civil, La Policía Canaria, Protección Civil y la UME, día y noche permanecieron de guardia en La Restinga. El día 12 por la tarde, guiados desde tierra, se localizaba una mancha de agua verdosa que iba creciendo por momentos en extensión y al aproximarse a ella se podía percibir un ligero olor a azufre. Los días 13 y 14, desde

el helicóptero, se podía observar además la zona de agua verdosa, que iba aumentando su extensión, una emisión más oscura que marcaba la cabecera de la erupción a 2.5 km de la costa. En el vuelo del día 15, se pudo observar que de una zona de cabecera, de unos 100 m de radio y de color marrón oscuro, emanaba un intenso olor a azufre y se podían distinguir flotando fragmentos de lava que serían llamados más tarde con el nombre de "Restingolitas".

La mancha verdosa, provocada por la disolución de los gases de la erupción estuvo presente casi de manera permanente hasta marzo de 2012, con diferentes tonalidades dependiendo de su diferente contenido en gases y material sólido. En su máxima extensión, a finales de octubre y comienzos de noviembre de 2011, llegó a cubrir 1.200 km² y

rodeó casi todo el litoral insular. Como medida de precaución, se recomendó no pescar ni consumir pescado capturado en el litoral suroeste.

Respecto a la sismicidad y las deformaciones, ambas disminuyeron radicalmente con el inicio de la erupción, mostrando que la sobrepresión del sistema volcánico se había equilibrado. Pero la pérdida de energía fue solo aparente; esta erupción duraría casi cuatro meses, superando el promedio de erupciones históricas en las islas Canarias.

A partir de aquí quedaban todavía episodios críticos: a finales de octubre y principios de noviembre, se iniciaba una nueva serie sísmica al norte de la isla, esta vez más profunda, sobre los 20 km y mucho más energética. Se localizan casi 4.000 eventos más en unas semanas y se registraba la mayor proporción de

terremotos de magnitud elevada de esta serie, volviendo a causar gran alarma e incluso planteando la posible existencia de un nuevo episodio eruptivo al norte de la isla. Esta actividad coincidía con la fase más intensa de efectos en superficie en la zona del volcán; durante varias semanas aparecieron grandes zonas de intenso burbujeo y de emisión de gases y cenizas.

Aún quedaban algunos episodios increíbles. Con relativa frecuencia aparecían grandes fragmentos de roca humeantes, de hasta varios metros de diámetros, que permanecían flotando unos minutos para hundirse entre explosiones y fuertes emisiones de vapor. En numerosas ocasiones, se consiguió aproximar la embarcación rápida de salvamento "Salvamar Adhara" y literalmente "pescarlos" con red. Su análisis es muy importante para el estudio de

Impresionante imagen tomada el 5 de noviembre de 2011 desde helicóptero. La cabecera de la erupción toma diferentes colores dependiendo de la cantidad de gas o ceniza que expulsa. Alrededor siempre se encuentra una gran extensión de agua teñida de verde. En el anillo interior aparecen grandes emisiones de carácter explosivo.

Foto: IGN. Roberto Cerdeña.

la evolución del magma y por lo tanto para estimar la peligrosidad de la erupción.

Una de las necesidades planteadas, nada más iniciarse la erupción submarina, fue la de cartografiar con precisión el nuevo volcán submarino y estudiar su crecimiento. Esta tarea fue encomendada a diferentes instituciones que poseen buques oceanográficos, principalmente el buque 'Profesor Ignacio Lozano', del Gobierno de Canarias, el 'Ramón Margalef', del Instituto Español de Oceanografía, al que debemos la primera batimetría precisa de la nueva área volcánica, el 'Sarmiento de Gamboa' del CSIC y el 'Hespérides' de la Armada Española. Los datos aportados en sus sucesivas misiones permitieron evaluar la morfología y el crecimiento del cono volcánico, así como evaluar el impacto medioambiental sobre la biodiversidad. Aunque la vida

marina y su diversidad se ven seriamente afectadas, volvieron a recuperarse en cuanto cesó la emisión de los productos asociados a la fase de erupción.

La erupción finaliza

Desde principios de enero y más claramente en febrero de 2012, la señal de tremor se fue debilitando y disminuyó gradualmente su amplitud hasta alcanzar valores normales y estables. El 5 de marzo de 2012 se daba por finalizada la fase de erupción, aclarando que el proceso volcánico continuaba su evolución. Poco a poco parecía volver la calma. A punto de comenzar el verano del 2012 comenzaba una nueva fase de actividad en El Golfo, que migró de nuevo al sur con intensa sismicidad sentida y grandes deformaciones, incluso mayores que las registradas antes de la erupción. Esta actividad

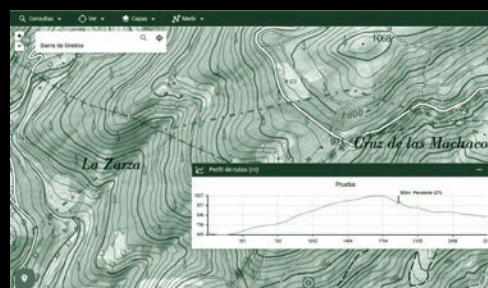
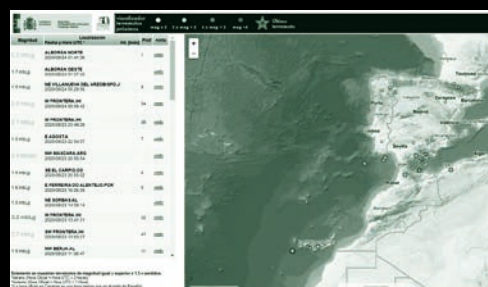
anómala todavía continuaría episódicamente hasta 2015. El Hierro es joven y crece.

Una erupción volcánica es siempre una muestra sorprendente de la fuerza de la naturaleza. En el IGN hemos tenido la oportunidad de vivir esta magnífica experiencia con ocasión de la crisis sismo-volcánica de El Hierro en los años 2011-2012. Representó una vivencia profesional y personal excepcional, posible gracias al privilegio de ser, como miembros del IGN, responsables de la Vigilancia y Alerta Volcánica en España y coincidir con un periodo de actividad eruptiva en las islas Canarias. Los datos científicos registrados durante este proceso son y seguirán siendo estudiados durante muchos años, mejorando nuestro entendimiento del fenómeno volcánico y optimizando el servicio de vigilancia del Mitma. ■

En el mes de noviembre hubo fases muy intensas y continuas de emisión de material. Durante el día se podían observar incluso desde tierra. Durante la noche, su presencia se evidenciaba gracias a los vuelos de reconocimiento realizados por Salvamento Marítimo, dotado de una cámara térmica, que registraba la presencia de anomalías térmicas y medía la temperatura anómala del agua.

Difusión

■ Texto: EMILIO LÓPEZ ROMERO, Centro Nacional de Información Geográfica



La información geoespacial en la web
al servicio de la sociedad

El Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)

El CNIG es un organismo autónomo adscrito al Mitma a través de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se creó en 1988 con el objetivo de producir y distribuir los trabajos geográficos que demanda la sociedad. Especialmente, se dedica a la difusión y comercialización de los productos y servicios del IGN, a la elaboración y distribución de productos derivados y temáticos y a proyectos tecnológicos, programas de investigación y prestación de asistencia técnica en el ámbito de las ciencias y técnicas geográficas. Hoy en día esta finalidad sigue muy vigente pero con muchos matices y extensiones que se desgranar en este artículo.



¿Sabías que

en plena era digital, el CNIG comercializó cerca de 80.000 mapas en papel en 2019? ¿O que la app "Mapas de España" se instaló más de 100.000 veces ese mismo año? ¿O que se descargó casi un petabyte (950 terabytes) de datos del Centro de Descargas del CNIG?

Un poco de historia y normativa

El CNIG fue creado como organismo autónomo de carácter comercial, mediante el artículo 122 de la Ley 37/1988, de 28 de diciembre, de Presupuestos Generales del Estado para 1989. Su finalidad se estableció como *producir, desarrollar y distribuir los trabajos y publicaciones de carácter geográfico que demande la sociedad, incluyendo la comercialización de los que realiza la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional en ejecución de las funciones que le están atribuidas legalmente, la elaboración de productos derivados y temáticos y su distribución nacional e internacional, sin perjuicio de las posibles competencias atribuidas a otros Organismos de la Administración en la producción y mantenimiento de diversos productos cartográficos, con especial dedicación a la*

realización de proyectos basados en tecnologías avanzadas, programas de investigación y desarrollo, y prestación de asistencia técnica en el ámbito de las ciencias y técnicas geográficas.

Más tarde, en 2007, se aprobó el Estatuto del CNIG mediante el Real Decreto 663/2007, de 25 de mayo, modificado en 2009 por el Real Decreto 1637/2009, de 30 de octubre.

Hoy en día se está elaborando un nuevo Estatuto para, por un lado, adaptarlo a la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público y, por otro, actualizar sus funciones a la realidad actual.

Función comercializadora

La primera de las funciones del CNIG y, quizás, la razón principal por la que fue creado es la de comercializar productos y servicios geográficos, especialmente, los elaborados por el IGN. Destacan el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 y 1:50.000, los mapas provinciales y autonómicos, los mapas físicos y políticos y los relacionados con el Camino de Santiago. En el siguiente gráfico se puede observar el número de ventas en 2019 de estos productos.

El CNIG también comercializa productos propios como los relacionados con los Parques Nacionales y de otras organizaciones como, por ejemplo, el Instituto Hidrográfico de la Marina (en 2019 más de 15.000 cartas náuticas), el Centro Geográfico del Ejército de Tierra, el Instituto Geológico y Minero, el Instituto Español de Oceanografía y, por supuesto, el Mitma.

Para realizar esta labor, el CNIG cuenta con varios recursos y modos de distribución:

- Las Casas del Mapa y los Servicios Regionales del IGN, que se encuentran distribuidas por toda la geografía española.
- Ferias del libro y exposiciones, en las que a través de stands se realiza una importante labor de comercialización y difusión.
- La tienda virtual del CNIG. Se trata de un sitio web en el que de forma amigable y atractiva se presentan los productos y servicios geográficos.
- Distribuidores privados y librerías que amplían la red de distribución de nuestros productos y servicios.

Mención aparte, merece la función editorial del CNIG que ofrece publicaciones digitales e impresas, destacando las procedentes de la actividad del Atlas Nacional de España. En concreto, la obra "España en mapas. Una síntesis geográfica" fue descargada más de 8.000 veces en 2019.

Función distribuidora

Una de las principales tareas del CNIG es la distribución de la información geográfica producida o coproducida por el IGN. Para describir esta función, es necesario mencionar dos aspectos esenciales.

El Ministro José Luis Ábalos en la presentación de "España en Mapas. Una síntesis geográfica" junto con el Director del IGN, Lorenzo García Asensio, el Subdirector Fco. Javier González Matesanz, el presidente de la Red ANEXXI, José Sancho Comins y el equipo del Atlas Nacional de España (diciembre de 2018).



La tienda virtual del CNIG. Se trata de un sitio web en el que de forma amigable y atractiva se presentan los productos y servicios geográficos



Centro de Descargas del CNIG.

En primer lugar, la Orden FOM/2807/2015 de 18 de diciembre, por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, establece que el uso de los productos de datos geográficos digitales producidos o coproducidos por el IGN será libre y gratuito, con la única condición de mencionar al autor según se dicta en la licencia. Este hecho, unido a la mejora de la aplicación del Centro de Descargas (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>) que permite la descarga de múltiples ficheros de forma sencilla e intuitiva y a la publicación de todos los conjuntos de datos espaciales, han significado un incremento exponencial del número de ficheros descargados. En la gráfica (a la izquierda) se puede ver que se descargaron más de 450.000 GB en fotografías e imágenes aéreas en 2019: En segundo lugar, hay que destacar la colaboración que el IGN realiza con otras organizaciones de nivel estatal, autonómico y local para cofinanciar y coordinar la captura y gestión de información geográfica. Junto con los convenios firmados bajo el marco del Sistema Cartográfico Nacional (SCN), es indispensable mencionar el Plan Nacional de Observación

del Territorio (PNOT) que ha facilitado la obtención de fotografías aéreas, datos LiDAR y de ocupación del suelo de forma periódica para todo el territorio nacional. Y todo ello, está a disposición de la sociedad de forma libre y gratuita.

Desarrollo de aplicaciones

Además de permitir la descarga de datos, el CNIG proporciona herramientas y servicios que permiten explotar la información geográfica, también de forma gratuita. A continuación, se proporciona una lista no exhaustiva de aplicaciones web ofrecidas a través del portal web del IGN (www.ign.es):

· Iberpix (<https://www.ign.es/iberpix2/visor/>)

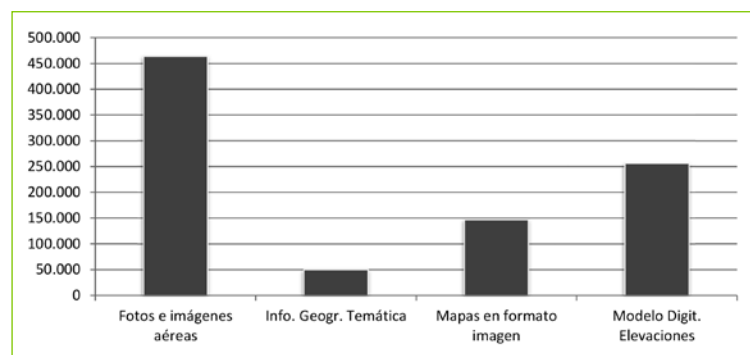
Se trata de un visualizador que permite navegar a través de los mapas e imágenes proporcionadas por el IGN con gran agilidad.

Ofrece diferentes funcionalidades entre las que destacan:

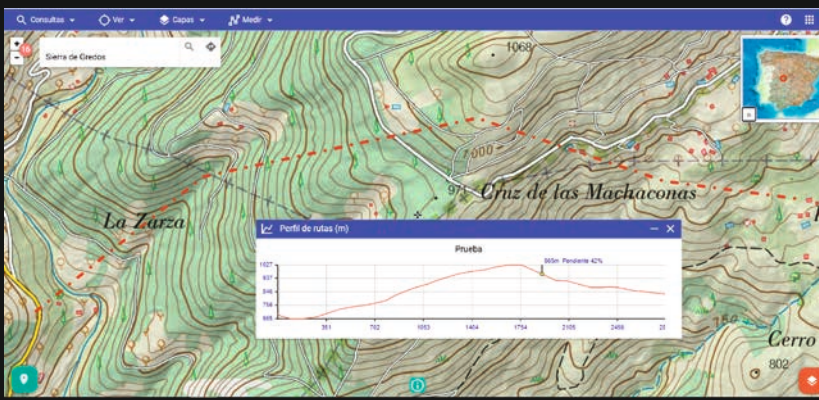
- La carga de datos en diferentes formatos.
 - La utilización de herramientas de medición y cálculo de perfiles.
 - La impresión y descarga de imágenes georreferenciadas.
- Destaca por su facilidad de uso, lo que ha conllevado que, durante el año 2019, recibiera alrededor de 100.000 visitas mensuales

· Visualizador de terremotos próximos (<http://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/prox.html>)

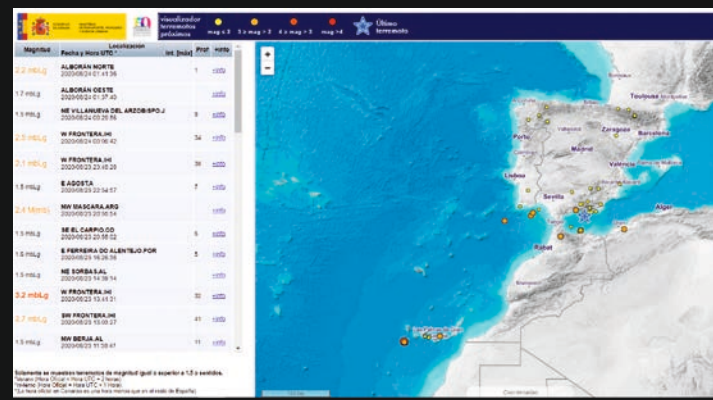
Este visualizador permite conocer en tiempo casi real los terremotos acontecidos en nuestro territorio, así como acceder a los datos precisos de cada uno de ellos. También ofrece la posibilidad de observar los sismos ocurridos en



Ejemplo del número de GB descargados en 2019 para cuatro agrupaciones.



Iberpix



Visualizador de terremotos próximos.

los últimos 3, 10 y 30 días, así como, una representación gráfica de la peligrosidad sísmica. Sin duda, los movimientos sísmicos son uno de los aspectos que mayor interés despierta entre los usuarios de la información del IGN y las más de 1.300.000 visitas recibidas durante 2019 a esta aplicación lo atestiguan.

• **Fototeca Digital**
(<https://fototeca.cnig.es/>)

La Fototeca Digital del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) es un visualizador web para visualizar, imprimir (en formato PDF) y solicitar certificados de fotogramas originales de vuelos fotogramétricos realizados sobre España. Cada mes, más de 5.000 impresiones de imágenes aéreas son realizadas a través de esta aplicación.

Otros visualizadores

Otros visualizadores como Signa, Naturaleza cultura y ocio, Camino de Santiago, etcétera pueden encontrarse a través de la página <https://www.ign.es/web/ign/portal/visualizadores-tematicos>. Por otro lado, el CNIG proporciona una serie de aplicaciones para dispositivos móviles a través de la página <https://www.ign.es/web/ign/portal/dir-aplicaciones-moviles>. Entre ellas, además de la aplicación para obtener información de los eventos sísmicos y envío de notificaciones, la aplicación para recorrer los

diferentes caminos que conforman el Camino de Santiago o las rutas de los Parques Nacionales, destaca la *app* Mapas de España. Está diseñada para actividades al aire libre como el senderismo, ciclismo, correr o esquiar y utiliza como cartografía e imágenes de fondo los servicios del IGN y de otros ministerios. Permite también recorrer las rutas de los Parques Nacionales o las etapas del Camino de Santiago, o utilizar rutas personalizadas, planificar excursiones utilizando mapas, navegación y recorridos guiados, sin necesidad de tener conexión a internet. Las funcionalidades son muy numerosas y van desde las más sencillas como el *zoom* o la navegación a las más sofisticadas con cálculo y representación de perfiles, mapas sin conexión, envío de alertas, gestión de formularios, etc. Hoy en día, se encuentra instalada en más de 100.000 dispositivos.

Provisión de servicios

Es importante destacar la labor que el CNIG realiza ofreciendo servicios web de visualización que permiten a otras instituciones tanto de la Administración General del Estado, como de las comunidades autónomas, de la Administración Local y del sector privado visibilizar la información geográfica oficial que genera el IGN y el CNIG, en formato electrónico, sin restricciones de acceso y uso, más allá del reconocimiento de la fuente.

Excelentes ejemplos de ello son la Sede Electrónica de la Dirección General de Catastro y el visualizador Sigpac del Fondo Español de Garantía Agraria, entre otros muchos.

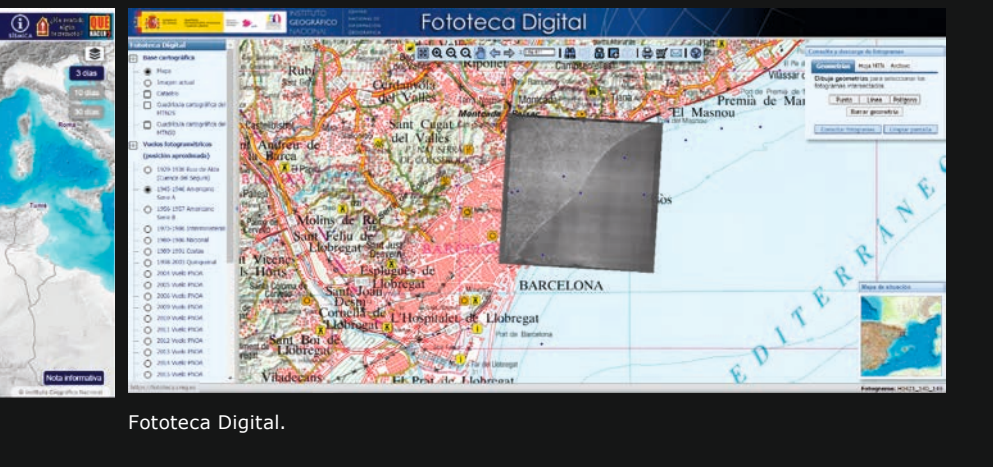
CNIG provee tales servicios en virtud de su rol de responsable de la planificación y gestión de la Infraestructura de Información Geográfica de España siguiendo las especificaciones y normas dictadas por la Directiva Inspire (Directiva 2007/2/CE) y la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (Lisige) que incorpora aquella al ordenamiento jurídico español.

Colaboraciones y proyectos

Cada vez más, las labores de colaboración y participación del CNIG en diferentes proyectos y convenios toman mayor peso e importancia en la búsqueda de la consecución de los objetivos estratégicos.

Se pueden diferenciar dos grandes áreas: la firma de convenios de colaboración y la participación en proyectos nacionales e internacionales.

Sólo en 2019 se tramitaron más de 20 convenios y protocolos con otras instituciones de ámbito nacional, autonómico y local. Destacan los convenios relacionados con el mencionado Plan Nacional de Observación del Territorio y también con el



Fototeca Digital.



App Mapas de España.

Programa de Actualización de las Delimitaciones Territoriales. Por otro lado, el CNIG participa en diferentes proyectos nacionales e internacionales relacionados con la investigación en astronomía (Ydalgo, Ynart, Assa), infraestructuras de datos espaciales (OpenELS, GeoE3), observación del territorio (Copernicus) o geofísica (U-GeoHaz). Por último, el CNIG representa al Estado en diferentes foros nacionales e internacionales, entre los que se pueden destacar el Comité Inspire, que vela por la implantación y cumplimiento de la Directiva, el Comité Técnico 148 AENOR "Información Geográfica", el Instituto Panamericano de Geografía e Historia o la asociación de agencias cartográficas y catastrales, EuroGeographics.

Formación y capacitación

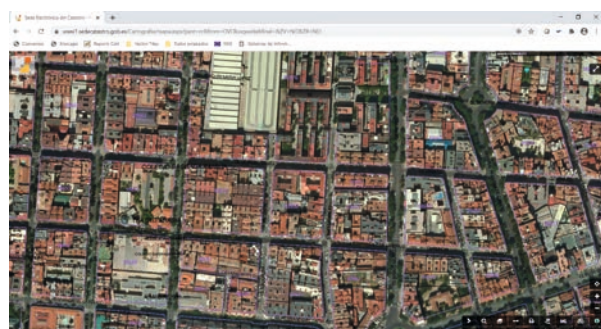
Dos son las principales vías de formación que el CNIG desarrolla.

Por un lado, a través de la sección web EducaIGN (<https://www.ign.es/web/recursos-educativos>), en la que se pone a disposición de los docentes una serie de materiales audiovisuales, clasificados por niveles educativos (primaria, secundaria y bachillerato y universidad y ciclos formativos) y formatos (mapas, vídeos, juegos, aplicaciones). Precisamente, en estos tiempos de restricciones de actividades presenciales, este material ha sido de gran ayuda apoyando el aprendizaje desde casa. Por otro lado, el CNIG lleva realizando desde hace años una importante labor de formación de profesionales de las tecnologías aplicadas a la información geográfica bien a través de cursos presenciales para funcionarios de las administraciones españolas y latinoamericanas, bien mediante cursos en línea que versan sobre distintas materias (geoservicios, metadatos, teledetección, sistemas de informa-

ción geográfica, etc.). Algunos de estos cursos superan ampliamente la decena de ediciones y siguen despertando el interés de los técnicos del sector.

Conclusiones

La gran mayoría de los hechos y acontecimientos de cualquier naturaleza suceden en una ubicación geográfica determinada. Los ciudadanos necesitan localizarlos y también trazar rutas, realizar búsquedas de lugares y puntos de interés tanto dentro de su actividad profesional como personal. Y las Administraciones Públicas, como parte inherente de la sociedad tienen las mismas necesidades y requisitos. En este escenario, el Centro Nacional de Información Geográfica, bajo la dirección estratégica del Instituto Geográfico Nacional, proporciona productos y servicios geográficos oficiales de manera fácil, accesible y gratuita a la sociedad española. ■



Visualizador cartográfico de la D. G. del Catastro.



Visualizador Sigpac del FEAGA.

Georreferencia

■ Texto: VÍCTOR PUENTE GARCÍA, JESÚS DÍAZ CENTENO, JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ SOBRINO.
Área de Geodesia. Subdirección General de Geodesia y Cartografía.



Un servicio gratuito para el geoposicionamiento preciso en nuestro país

Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España.....

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el organismo responsable del establecimiento y mantenimiento del Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España, una infraestructura necesaria para actividades que requieran una georreferenciación precisa y, desde hace décadas, el soporte del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real.

Estación permanente
GNSS del Observatorio
de Izaña (Tenerife).



Estación permanente GNSS en Fuente Dé (Cantabria).

El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR)

es un servicio público y gratuito ofrecido por el MITMA a través del IGN, que proporciona a sus usuarios la posición de forma instantánea, con una precisión del orden de pocos centímetros, por medio de correcciones transmitidas a través de Internet. Se lleva a cabo en colaboración con la mayoría de las comunidades autónomas que poseen una red de estaciones permanentes GNSS (Global Navigation Satellite System) para este fin, a través de los correspondientes acuerdos, y opera ininterrumpidamente las 24 horas del día aportando cobertura en todo el territorio del Estado. El SPTR resulta fundamental en sectores de actividad como la ingeniería civil, la topo-

grafía o la agricultura de precisión, que cada vez más recurren a él como muestra el creciente número de usuarios. La fuente de datos para este servicio público está constituida por las estaciones permanentes GNSS, que captan las señales de los sistemas por satélite de navegación global, tanto de los europeos Galileo como de GPS, Glonass o Beidou, y que operan de forma continua.

Geoposicionamiento

En los últimos años, el geoposicionamiento se ha convertido en una necesidad básica. El desarrollo de los sistemas de navegación por satélite GNSS, liderado inicialmente por el sistema GPS, ha irrumpido en nuestra vida cotidiana y ha supuesto una revolución en los métodos de trabajo en diferentes sectores profesionales cuya actividad depende del conocimiento de la posición de una forma precisa. Además del GPS operan otros sistemas GNSS, entre los que

destaca Galileo, que es operado por la Unión Europea (UE) y donde nuestro país tiene un papel muy relevante tanto desde el sector público como el privado. Otros son el sistema ruso Glonass, el chino Beidou, el japonés QZSS y el indio Irnss.

La señal transmitida de forma directa por los satélites de los sistemas GNSS permite alcanzar una precisión en el posicionamiento de varios metros de forma instantánea, la misma que logramos por defecto cuando usamos el receptor GNSS de nuestro teléfono móvil o de nuestro automóvil. Esta es una precisión suficiente para navegación, pero no para otras actividades que requieren una mucho mayor, como son los trabajos topográficos o el guiado de maquinaria de precisión de forma automática en campos como la Ingeniería civil o la Agricultura. Por este motivo, se desarrollaron los sistemas de cálculo y transmisión de "correcciones diferencia-

les” que operan «corrigiendo» esa posición inicial a valores mucho más precisos, del orden de un par de centímetros.

Estos sistemas se basan en la utilización de los datos que proveen las estaciones (geodésicas) permanentes GNSS distribuidas por el territorio y cuyas coordenadas es imprescindible conocer con la máxima precisión posible. Para ello se utiliza el cálculo científico más riguroso, consiguiendo precisiones en el conocimiento de las coordenadas de todas las estaciones del orden de algunos milímetros. A partir de dichas coordenadas y mediante un procesamiento adecuado es posible calcular en tiempo real (en cada instante) el error de la señal transmitida por los satélites GNSS y transmitir esta información en forma de las denominadas “correcciones diferenciales” para que puedan ser utilizadas por usuarios con equipos de observación adecuados.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) desarrolla y mantiene un servicio de “correcciones diferenciales” con cobertura en toda Es-

paña conocido como Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR), el cual opera de forma continua permitiendo alcanzar una precisión en el posicionamiento del orden de unos pocos centímetros. En este artículo se presentan las principales características de este servicio público y gratuito que se ha convertido en un referente esencial para muchos profesionales.

Arquitectura del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España

Para su correcto funcionamiento, el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real de España requiere de la combinación de diferentes elementos que se pueden sintetizar en cuatro:

1. Los datos registrados en tiempo real por la red de estaciones permanentes desplegada por todo el territorio.
2. El cálculo de las coordenadas precisas de dichas estaciones, necesario para un correcto cálculo posterior de las correcciones.

3. El cálculo de “correcciones diferenciales”.
4. La interfaz del servicio con los usuarios para la diseminación en tiempo real de las correcciones necesarias para que estos obtengan su posición de forma muy precisa.

Redes de estaciones permanentes

El Área de Geodesia del IGN viene desplegando desde 1998 la Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) en todo el territorio nacional, que opera de forma continua y cuyos productos se utilizan en multitud de aplicaciones en el ámbito de la geodesia, topografía, cartografía, ingeniería civil, agricultura de precisión, meteorología, medio ambiente e investigación en Ciencias de la Tierra, entre otras. La finalidad de estas estaciones al inicio de su existencia era puramente geodésica (la determinación de una posición muy precisa que sirviera como referencia fundamental del sistema de referencia geodésico nacional), pero a lo largo de los más de veinte años de historia de la ERGNSS han ido surgiendo numerosas necesidades, aplicaciones adicionales y formas de trabajo.

Una estación permanente GNSS consiste básicamente en un equipo receptor y antena GNSS que registra observaciones de forma continua, además de una marca física suficientemente definida a la que se refieren las coordenadas calculadas. Dichos datos son transmitidos en tiempo real a través de Internet a la sede central del IGN en Madrid, y constituyen la fuente de datos necesaria para el funcionamiento del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real. Además de la transmisión de las observaciones



Distribución de estaciones permanentes que proveen datos al SPTR.

al Centro de Proceso de Datos, también las almacena internamente en forma de ficheros que se descargan cada hora en el IGN para un procesado de alta precisión y la obtención (además de las coordenadas precisas) de otros productos, como son los valores atmosféricos que afectan a las señales.

Actualmente, la red ERGNSS del IGN está formada por cerca de 120 estaciones uniformemente distribuidas por todo el territorio nacional. Algunas de estas también pertenecen, a su vez, a redes europeas o mundiales que trabajan coordinadamente para, entre otros objetivos, mantener un sistema homogéneo y preciso de referencia de coordenadas en los ámbitos europeo y mundial, respectivamente. Así, 27 estaciones están integradas en la red europea de Euref (European Reference Frame) y cuatro en la red mundial del IGS (International GNSS Service). Por otro lado, tres de estas estaciones son parte de la infraestructura del Galileo Reference Center (GRC) para el control del sistema Galileo. La ERGNSS está en constante mejora y modernización, actualizando los equipos de observación para registrar las nuevas constelaciones de satélites (Galileo y Beidou) y extendiéndose a más emplazamientos para proporcionar la mejor cobertura e integridad posible del servicio en todo el territorio nacional. El IGN se encarga, tanto de mantener las estaciones permanentes GNSS, asegurando su operatividad continua, como de generar y diseminar los datos registrados para que los usuarios finales los puedan explotar. Además, algunas de las estaciones de ERGNSS son compartidas entre el IGN y otras instituciones como Puertos del Estado y

Redes colaboradoras.....

- Aragea: Red de Geodesia Activa de Aragón
- ERVA: Red de Estaciones de Referencia de Valencia
- Estaciones GNSS de Puertos del Estado
- Itacyl: Red de estaciones GNSS de Castilla y León
- RAP: Red Andaluza de Posicionamiento
- Red de estaciones permanentes GNSS de la Comunidad de Madrid
- Regam: Red de Geodesia Activa de la Región de Murcia
- REP: Red Extremeña de Posicionamiento
- RGAC: Red GNSS Activa de Cantabria
- RGAN: Red de Geodesia Activa de Navarra
- Rgapa: Red GNSS Activa del Principado de Asturias
- RGE: Red GPS/GNSS de Euskadi
- Rioja: Red de estaciones permanentes GNSS-La Rioja
- XGAIB: Xarxa de Geodèsia Activa de les Illes Balears

la mayoría de las comunidades autónomas, en el marco de la obligada y necesaria colaboración y coordinación entre instituciones públicas para la optimización de los recursos. En este sentido, existen convenios o acuerdos entre el IGN y las mencionadas instituciones por los que se establece el carácter «compartido» de las estaciones GNSS, puesto que muchas comunidades autónomas también tienen servicios propios complementarios del posicionamiento en tiempo real a nivel autonómico.

En resumen, a las 120 estaciones del IGN se suman otras tantas de estos organismos y redes autonómicas, contando para el SPTR con los datos de aproximadamente 240 estaciones permanentes GNSS cuyas observaciones son utilizadas en tiempo real y de forma continua como datos de entrada en el servicio. Este importante número de estaciones permanentes GNSS, distribuidas homogéneamente por todo el territorio nacional, aportan una configuración que aumenta la fiabilidad e integri-

dad del sistema y, a su vez, permite proporcionar correcciones diferenciales GNSS con cobertura continua y homogénea para la totalidad del territorio nacional. Las mediciones de estas 240 estaciones se envían cada segundo al Centro de Proceso de Datos en el IGN con una latencia o retraso entre la generación del dato y su recepción que no ha de exceder un par de segundos, asegurando así la calidad de las correcciones generadas y enviadas al usuario. Este flujo continuo y necesario de datos exige un mantenimiento y atención cotidianos en las estaciones permanentes GNSS, tanto de los equipos como de las comunicaciones entre estas y el Centro de Proceso de Datos en el IGN.

Centro de Análisis Geodésico

A partir de los datos registrados por la red de estaciones permanentes GNSS, el Centro de Análisis GNSS se encarga de la determinación precisa de las coordenadas de las estaciones de la red. El conocimiento de estos valores con la suficiente



Distribución de clusteres de cálculo.

precisión es un factor fundamental para la calidad de las correcciones que emite el SPTR. Tanto las estaciones del IGN como las del resto de redes participantes son procesadas de forma continua para asegurar una alta calidad y homogeneidad en las coordenadas y, al mismo tiempo, con el objetivo de monitorizar cualquier movimiento o modificación significativa, como por ejemplo cuando se produce un cambio de equipamiento (antena o receptor) que puede alterar en unos milímetros, debido a diferentes variables, la posición de la marca geodésica. Las coordenadas de las estaciones, obtenidas mediante la combinación de varios centros de análisis de datos, se validan por un grupo de trabajo en el seno de la Comisión Especializada del Sistema Geodésico (Consejo Superior Geográfico) y se comunican a los gestores de las redes para su implementación práctica. En este sentido, el IGN realiza de manera continua cálculos muy precisos utilizando para ello su amplia experiencia como Centro de Análisis de datos GNSS en

la red europea Euref. Desde el año 2001, se viene procesando de forma diaria y semanal una subred europea de estaciones para el mantenimiento del marco de referencia de coordenadas ETRS89 en el ámbito de la península ibérica, archipiélagos (Baleares, Canarias, Azores), Francia, Italia, Irlanda y Gran Bretaña. Con estos cálculos continuos también se elaboran, por ejemplo, series temporales de coordenadas y se obtienen resultados de velocidades de placa tectónica o deformaciones del terreno locales. El Centro de Análisis de Datos GNSS del IGN participa también en otros proyectos internacionales de cálculo continuo, obteniendo diferentes productos, no solo coordenadas, de las estaciones GNSS que aportan un valor añadido. Así por ejemplo, y a modo de curiosidad, cada hora se realiza un cálculo que sirve para obtener el contenido de vapor de agua en la troposfera sobre la vertical de todas las estaciones de España y Portugal, valores que son enviados con el mínimo retardo posible a la

red de agencias meteorológicas europeas (Eumetnet) para su integración en modelos numéricos de predicción del tiempo (Aemet o MeteoFrance, por ejemplo, utilizan estos valores en diferentes modelos de predicción). Existen otros proyectos en los que se calculan, con fines geodinámicos, las velocidades de desplazamiento de las estaciones dentro de la placa tectónica y que también pueden aportar una información muy valiosa para la evaluación y estudio del cambio climático, monitorizando, por ejemplo, la subida del nivel medio del mar.

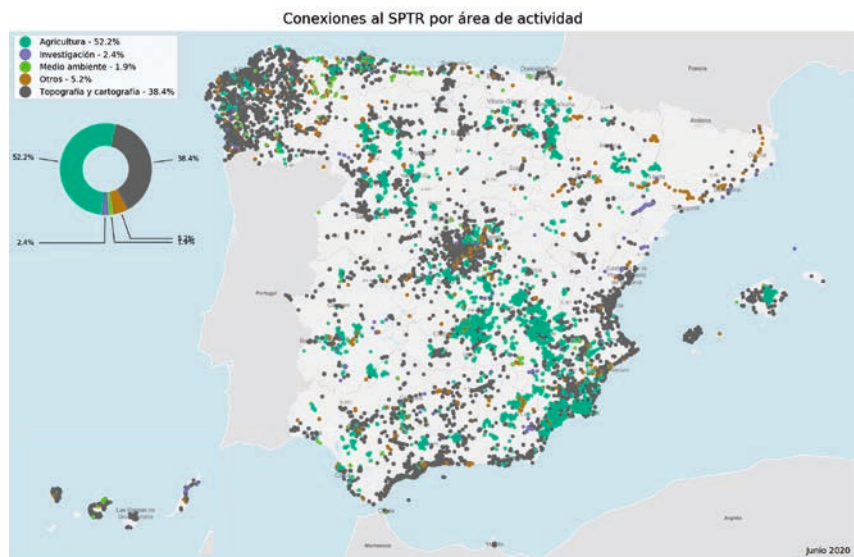
Centro de procesamiento de datos en tiempo real

La infraestructura de procesamiento para el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real está alojada en el Centro de Procesamiento de Datos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), el cual dispone de personal que garantiza el mantenimiento del servicio de forma continua. El procesamiento de datos se realiza de forma distribuida en distintos servidores virtuales, para lo cual se ha dividido el territorio en 19 subredes (*clusters*), de tal forma que cada servidor procesa los datos correspondientes a 3 *clusters*. Esta división del *hardware* se debe al elevado número de estaciones y a la complejidad de los cálculos que se han de realizar instantáneamente. De forma muy simplificada, el procesamiento consiste en el cálculo en cada instante (cada segundo) del error en el posicionamiento de la señal transmitida por los satélites GNSS mediante la comparación con las coordenadas precisas de las estaciones permanentes. De esta manera es posible calcular correcciones diferenciales y transmitir las a

través de Internet. En realidad, lo que se hace es una modelización de todos los errores que afectan a la señal GNSS en cada instante y en cada posición, especialmente de los errores derivados del estado de las principales capas atmosféricas que degradan la señal, como la troposfera y la ionosfera. Actualmente existen copias clónicas de los servidores para su reposición inmediata en caso de incidencia en alguno de ellos, pero también se está trabajando en implementar un sistema más seguro de respaldo con una reposición automática. La integridad del servicio en caso de una eventual caída de los servidores o de las comunicaciones es vital para asegurar el funcionamiento permanente del SPTR.

Interfaz con los usuarios

El uso de las correcciones diferenciales GNSS proporcionadas por el servicio exige un registro previo en el mismo, gratuito, que se hace a través de un portal de usuario al que se accede a través de la página web <http://ergnss.ign.es/gnuserportal/>. El registro de los usuarios permite conocer su número y el sector de actividad, generar estadísticas de uso para mejorar y reforzar el servicio en aquellas zonas en las que sea necesario, así como para poder informar vía correo electrónico de actualizaciones o incidencias en el servicio. La transmisión de correcciones al dispositivo GNSS del usuario se hace a través de un cliente con un protocolo de transmisión específico a través de Internet denominado NTRIP. Prácticamente todos los receptores GNSS del mercado de uso profesional tienen implementado este protocolo, siendo un estándar



Conexiones por área de actividad en el mes de junio de 2020.

dar en la transmisión de datos GNSS. También es necesario que el dispositivo del usuario tenga conexión a Internet y, como es natural, contar con la cobertura telefónica en el área de trabajo, algo que actualmente sucede en prácticamente todo el territorio. El servicio se proporciona a través de la URL ergnss-tr.ign.es, la cual facilita dos tipos de soluciones para obtener su posicionamiento preciso:

- Solución de red a través del puerto 2101, en la que se transmiten correcciones diferenciales calculadas a partir de los datos de las estaciones permanentes próximas al usuario. En esta modalidad, el usuario comunica su posición al sistema enviando previamente un mensaje automático con sus coordenadas al Centro de Proceso de Datos (CPD) y este calcula y envía las correcciones para su ubicación específica. Es decir, las correcciones se generan y envían específicamente para el lugar donde se encuentra el usuario. Esta es la modalidad más frecuente en los usuarios y

además se ofrece mediante diferentes algoritmos y procedimientos de cálculo.

- Solución de estaciones individuales a través del puerto 2102. El usuario elige a qué estación permanente se quiere conectar y recibe sus datos. En esta modalidad, el usuario ha de conocer qué estación se encuentra cerca de su posición, ya que la distancia entre esta y su ubicación es un factor que degrada la precisión de las correcciones. Dependiendo de la tecnología del usuario, se obtienen resultados óptimos hasta a 50 km de distancia. Así mismo, se proporciona a los usuarios un buzón de correo (buzon-geodesia@mitma.es) en el que se ofrece soporte para la utilización del servicio o comunicación con los responsables de la administración del sistema.

Utilización del servicio

Actualmente hay más de 5.000 usuarios registrados en el servicio y con un crecimiento continuo y lineal de nuevos registros, mayoritariamente por parte del sector de la agricultura. En el

Sectores de actividad de los usuarios

Los usuarios registrados en el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real se pueden englobar básicamente en los siguientes sectores de actividad:

- Topografía y Cartografía.
- Ingeniería Civil.
- Control de flotas
- Conducción autónoma y conectada
- Agricultura de precisión.
- Medio Ambiente.
- Investigación.

El gráfico de la izquierda se puede ver la distribución geográfica de usuarios en el mes de junio de 2020 por área de actividad. Cabe reseñar que, si bien el mayor número de usuarios corresponde al sector de la topografía y cartografía (por el conocimiento del SPTR que tienen estos profesionales), actualmente se está trabajando en una campaña de difusión entre las empresas de actividad agrícola, ya que se prevé un incremento importante y un uso masivo del servicio en los próximos años, entre otros, en automatización de tareas agrícolas o asistencia mediante sistemas de guiado, observándose una fuerte zonificación del uso en importantes zonas de cultivo. Dada la potencial importancia de este sector, el IGN ha contactado con los principales fabricantes y distribuidores de maquinaria agrícola con la finalidad de darles a conocer el SPTR, ya que por desconocimiento muchos agricultores utilizan a veces

servicios de correcciones GNSS privados no gratuitos. Lo mismo se puede resaltar respecto a la ingeniería civil. Los trabajos topográficos de obra, que básicamente consisten en la medición de los elementos del terreno o en el replanteo de los proyectos de obra, han evolucionado notoriamente con el uso del GNSS en general y, sobre todo, con los servicios de correcciones en tiempo real GNSS como el SPTR. Hasta hace pocos años, estos trabajos eran realizados con medidas de distancias y ángulos usando instrumentos como teodolitos o estaciones totales, pero actualmente estos instrumentos han sido sustituidos en una gran parte por el uso de sistemas como el SPTR. El poder conocer la posición global de un punto del terreno, con precisión de algunos centímetros en unos pocos segundos, ha simplificado este tipo de trabajos enormemente.

De la misma manera, la navegación autónoma de vehículos se convertirá en los próximos años en algo cotidiano en la tecnología automovilística y el SPTR del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) puede ser un pilar fundamental y complementario para el desarrollo de este modo de navegación terrestre en España. El uso del SPTR, junto al resto de sistemas

de control del vehículo, harán que el guiado sea mucho más seguro. En resumen, el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real se ha convertido en un servicio público fundamental y estratégico del Mitma, resultando una herramienta esencial para un gran número de profesionales que obtienen un incremento de la producción y un ahorro de costes en sus trabajos cotidianos, favoreciendo a la vez el desarrollo tecnológico e industrial de las empresas, tanto las de los sectores mencionados, como las proveedoras de tecnología y aplicaciones.

En cuanto al desarrollo del sistema en los años venideros, es más que previsible el aumento de su importancia dado el incremento de posibles aplicaciones que se pueden añadir a las anteriormente citadas, difícilmente imaginables en la actualidad. Lo que sí se sabe con seguridad es que la progresiva mejora tecnológica de los sistemas GNSS en general, y de Galileo en particular, dará como resultado que las prestaciones de este tipo de servicios sean cada vez más precisas, más eficientes, más simples y más seguras. Estas circunstancias conllevarán la extensión del uso de servicios como el SPTR a un número cada vez mayor de usuarios y con perfiles más heterogéneos que los que se observan actualmente. ■



El SPTR, servicio fundamental en la agricultura de precisión.

GEODESIA ESPACIAL

■ Texto: JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PÉREZ y JOSÉ ANTONIO LÓPEZ FERNÁNDEZ.
Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales.



Imagen de la erupción
submarina de El Hierro
en 2011.



Una apuesta hispano-lusa para el conocimiento
de la Tierra y del cambio global

La Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales (Raege)

El Instituto Geográfico Nacional ha puesto en marcha, junto con el Gobierno Regional de Azores (Portugal), el proyecto de la Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales (Raege), formado por cuatro estaciones de geodesia espacial que se integrarán en las redes globales de observación geodésica. Raege convertirá al IGN en uno de los centros más importantes del mundo en geodesia espacial.

La respuesta

a una pregunta tan sencilla como "¿dónde estoy en este preciso instante?" no es ni simple ni evidente. Para empezar, depende de quién la plantea, para qué fin necesita conocer la posición y con cuánta precisión.

En efecto, para un conductor es suficiente conocer su posición con la precisión que le ofrece su navegador, una decena de metros. Sin embargo, el contratista de una carretera necesitará precisiones centimétricas para la construcción de la misma, y un investigador sobre el cambio climático necesitará, por ejemplo, precisiones milimétricas para monitorizar los cambios del nivel medio de la altura del mar. Si es importante conocer cuánto cambia la temperatura de nuestro planeta, no lo es menos determinar con precisión dónde y cuándo se produce ese cambio.

Para dar respuesta a esta variedad de necesidades, es necesario disponer de una infraestructura de medida a escala global, la infraestructura geodésica de precisión, constituida por diferentes técnicas

que se complementan entre sí, ofreciendo la precisión en la posición que se requiere en cada caso. Estas técnicas son las de geodesia espacial, a saber: GNSS (sistema global de navegación por satélite), VLBI (interferometría de muy larga línea de base), SLR (distanciometría láser a satélites) y DORIS (orbitografía doppler y radioposicionamiento integrado por satélite), que son complementadas con la gravimetría.

La geodesia mide parámetros fundamentales de la Tierra: su forma, su rotación y orientación en el Espacio y su campo gravitatorio, así como las variaciones temporales de los mismos. En estas variaciones reside información fundamental para comprender los cambios que sufre nuestro planeta y sus causas. Los geodestas han establecido una red de puntos de referencia precisos y estables sobre la superficie terrestre. Usando estos puntos (las estaciones geodésicas) han materializado un Marco de Referencia Terrestre Internacional, el ITRF, equipando estos puntos con alguna técnica de geodesia

La geodesia mide parámetros fundamentales de la Tierra y aporta información fundamental para comprender los cambios que sufre nuestro planeta

espacial o la combinación de ellas. Los satélites de observación de la Tierra (altimetría, salinidad, gases, temperatura, meteorología, ...), los planetas y los objetos más distantes del universo, los cuásares (que establecen un marco de referencia celeste, ICRF), apoyan y complementan la infraestructura geodésica global.

Hoy en día, esta infraestructura permite medir variaciones anuales como un aumento del nivel medio del mar del orden de un par de milímetros, desplazamientos del centro de masas de la Tierra de decenas de milímetro, cambios en la duración del día del orden de millonésimas de segundo y desplazamientos de los polos terrestres del orden de centímetros. Estas precisiones permiten monitorizar deformaciones milimétricas en la corteza terrestre, ofrecer servicios de posicionamiento en tiempo real con aplicaciones en agricultura, minería, navegación por satélite y cuantificar efectos asociados al cambio global que no pueden ser detectados directamente. El 26 de Febrero de 2015, la Organización de Naciones Unidas (ONU), en su asamblea



Emplazamientos de las estaciones del proyecto RAEGE.

plenaria número 80, adoptó la resolución 69/266 "Marco de referencia geodésico mundial para un desarrollo sostenible", mediante la cual la Asamblea General literalmente:

- Insta a los Estados Miembros a compartir abiertamente datos, normas y convenciones geodésicas, con carácter voluntario, a fin de contribuir al marco de referencia mundial y a las densificaciones regionales mediante los mecanismos nacionales pertinentes y la cooperación intergubernamental, y en coordinación con la Asociación Internacional de Geodesia;
- Invita a los Estados Miembros a comprometerse a mejorar y mantener la infraestructura geodésica nacional como un medio esencial para mejorar el marco de referencia geodésico mundial;
- Invita también a los Estados miembros a establecer actividades de cooperación multilateral a fin de subsanar el déficit de infraestructura y las duplicaciones con miras a la elaboración de un marco de referencia geodésico mundial más sostenible;

En este contexto, la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) estableció el programa GGOS (Global Geodetic Observing System), con el propósito de obtener información valiosa sobre nuestro planeta, los fenómenos que afectan a su dinámica y los efectos del cambio global. Para ello resulta necesario desplegar una red de estaciones repartidas por todo el mundo, que incluyan el mayor número de técnicas de geodesia espacial (GNSS, VLBI y SLR) en el mismo emplazamiento, "co-location",

La importancia de la interferometría de muy larga línea de base.....

La interferometría de muy larga línea de base (VLBI) es una técnica observacional de la radioastronomía que emplea a varios radiotelescopios repartidos por el planeta para operar como si de un solo radiotelescopio equivalente de mucho mayor tamaño se tratara, tan grande como la distancia entre los mismos. Ello permite observaciones con una altísima resolución angular, microsegundos de arco (equivalente a poder distinguir desde la Tierra dos pelotas de tenis en la Luna). Esta técnica es utilizada tanto por la astrono-

mía como por la geodesia. Por un lado, el VLBI astronómico permite la cartografía de muy alta resolución de los astros que se observan, revelando con gran detalle sus estructuras. Por otro lado, el VLBI geodésico puede permitir la determinación milimétrica de las distancias entre radiotelescopios y del periodo de rotación de la Tierra. El análisis de estas medidas, y de su evolución en el tiempo, proporcionan información de vital importancia sobre nuestro planeta y Raega va a contribuir muy significativamente a obtener esta información.

complementadas con técnicas geofísicas, como la gravimetría.

El proyecto RAEGE

La respuesta de España a la resolución de la ONU y al programa GGOS la está materializando el Mitma a través del proyecto de la Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales (RAEGE), proyecto que desarrolla el IGN en colaboración con el Gobierno Regional de Azores (GRA). Para la ejecución de este importante proyecto hispano-luso, se firmó un convenio entre el IGN y el GRA, y un posterior *Memorandum of Understanding* (MoU). Su objetivo es la construcción, instalación y puesta en servicio

de cuatro Estaciones Geodésicas Fundamentales, dotadas de, al menos, dos técnicas de observación geodésica global y gravimetría, con emplazamientos en Yebe (Guadalajara), situada en la placa tectónica euroasiática; Canarias, en la placa africana; Santa María (Azores), también en la placa africana, y Flores (Azores), en la placa tectónica americana. RAEGE, además de contribuir a GGOS, es un proyecto con un marcado interés por la tectónica de placas aprovechando así el emplazamiento estratégico de España y Portugal. Esta configuración de emplazamientos permitirá la realización de estudios geodinámicos y espaciales



Radiotelescopio RAEGE de 13,2 metros en Yeves que fue cofinanciado con fondos FEDER.

a escala regional (Macaronesia y Península Ibérica) y a escala global, por estar integrada en GGOS.

Cada estación estará compuesta por un radiotelescopio para VLBI, por receptores GNSS geodésicos y por gravímetros, instalándose, además, en Yeves una estación de SLR.

En este punto, hay que destacar que la estación SLR, cuya construcción ha sido licitada en julio de 2020 y estará terminada en enero de 2023, está siendo financiada con fondos europeos Feder de ayuda al desarrollo regional (proyecto Ydalgo).

En 2013 se inauguró el primero de estos radiotelescopios en el Observatorio de Yeves, también cofinanciado con fondos Feder, y en 2014 se terminó de construir el de la isla de San-

ta María. Actualmente se está identificando un nuevo emplazamiento para la estación de Gran Canaria, tras descartarse el elegido inicialmente en el término municipal de Artenara. Ello se ha debido a la reciente declaración de la zona implicada como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. Si bien se contaba ya con todos los permisos y autorizaciones para comenzar los trabajos de instalación en la zona de Artenara, el Mitma y el Cabildo de Canarias acordaron no comprometer dicha declaración y se ha optado por buscar un emplazamiento alternativo.

El radiotelescopio de la estación Raege en Gran Canaria se encuentra ya fabricado y debidamente almacenado a la espera de identificar su nuevo

emplazamiento. Se estima que puede entrar en servicio en 2023.

Respecto a la estación Raege en la isla de Flores, que será costeada íntegramente por el Gobierno Regional de Azores, ya está seleccionado el emplazamiento y, próximamente, se licitará el contrato de construcción del radiotelescopio y edificio de control. A finales de julio de 2020 se instalaron ya la estación meteorológica y el primer receptor GNSS en dicho emplazamiento.

Como reconocimiento al legado de ilustres marinos españoles y portugueses, cada radiotelescopio ha sido "bautizado" con el nombre de uno de ellos. El de Yeves ha sido denominado Jorge Juan y el de Santa María Cristóbal Colón. Las propuestas para



Radiotelescopio de la estación RAEGE en Santa María.

los restantes son actualmente Juan Sebastián Elcano y Fernando de Magallanes para Gran Canaria y Flores, respectivamente

La red VGOS de geodesia espacial

Los radiotelescopios Raega, junto con radiotelescopios equivalentes en prestaciones de otros observatorios geodésicos e institutos geográficos del mundo, se están integrando en la sub-red de GGOS dedicada a VLBI denominada VGOS (VLBI Global Observing System), que fue inicialmente impulsado por la International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS), de la cual forma parte el IGN.

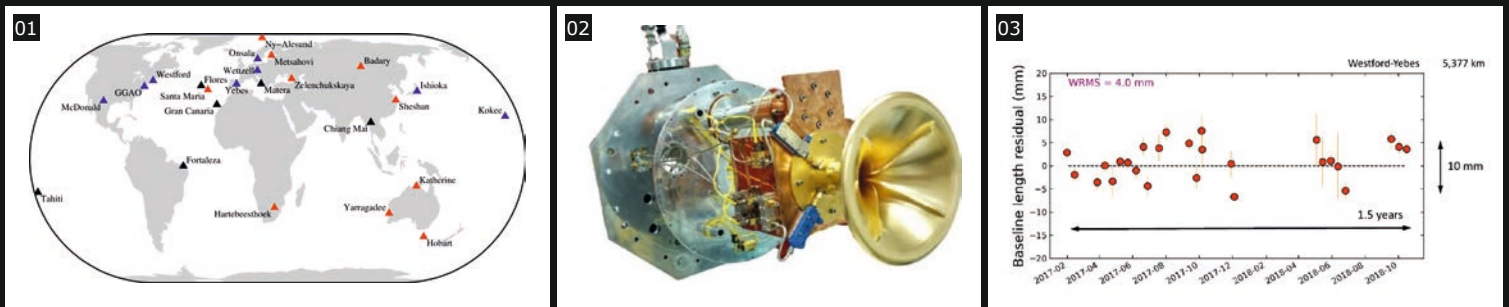
VGOS es una contribución internacional para cumplir con la resolución de la ONU men-

cionada anteriormente porque, a través de infraestructuras nacionales, y por medio de cooperación internacional, se va a lograr conseguir precisiones del orden del milímetro en la determinación de posiciones y de una décima de milímetro en la determinación de la variación anual de estas. Los datos de VGOS serán cruciales para seguir aumentando la precisión en el conocimiento de:

- los cambios en los parámetros de orientación y rotación de la Tierra (Earth Orbiting Parameters, EOP, en particular los cambios de su periodo de rotación, UT1, que sólo son medibles con radiotelescopios).
- el marco internacional de referencia terrestre (ITRF).

- el marco internacional de referencia celeste (ICRF).
- variaciones del nivel del mar.
- movimientos de placas tectónicas.
- efectos del cambio climático sobre el planeta.

La precisión de los marcos de referencia ICRF e ITRF es crítica para el control de las órbitas de los satélites y de las posiciones de las sondas de espacio profundo, así como para la navegación sobre la superficie terrestre, ya sea por tierra, mar o aire. Es por ello que los operadores de satélites y las agencias espaciales necesitan estos datos para el éxito de sus actividades. Puede decirse, por tanto, que el uso cotidiano de los navegadores GNSS, por ejemplo, no sería posible sin



01. Mapa de radiotelescopios VGOS en funcionamiento (azul), en pruebas (rojo) y en próxima construcción (negro). **02.** Interior de un receptor VGOS de banda ancha para RAEGE. **03.** Error en la determinación de la longitud de la línea de base entre Westford (USA) y Yeves mediante observaciones del proyecto VGOS.

los datos que proporcionan los radiotelescopios de las redes de geodesia espacial.

Actualmente, los radiotelescopios tipo VGOS en funcionamiento son ocho: Ishioka (Japón), Koike Park, McDonald, Goddard y Westford (EE. UU.), Onsala (Suecia), Wettzell (Alemania) y Yeves (España).

Desarrollos tecnológicos para Raege: Un caso de éxito

La construcción de Raege y su instrumentación constituye un caso de éxito de inversión pública. La iniciativa del IGN ha incentivado el desarrollo de tecnología y el retorno a las empresas españolas, en especial en lo que se refiere a los radiotelescopios. Inicialmente los radiotelescopios de Raege constituyen un desafío tecnológico en el estado del arte. Los radiotelescopios de 13,2 m de diámetro y más de 100 t deben moverse a grandes velocidades (12 °/s o lo que es lo mismo, una revolución completa en 30 s), ofreciendo una precisión de apuntado de segundos de arco

(equivalente a diferenciar una moneda de un euro a varios kilómetros) incluso en condiciones meteorológicas con vientos de 40 km/h. Inicialmente el IGN adquirió en 2010 tres radiotelescopios de estas características adjudicándose el contrato a una empresa alemana, sin embargo, gran parte de la construcción fue subcontratada a la empresa española Asturfeito. A raíz de este contrato, países como Noruega o Japón adquirieron el mismo modelo, que también fue construido por la misma empresa, lo que ha resultado finalmente un volumen de negocio de varios millones de euros.

Por otra parte, los ingenieros del Observatorio de Yeves se encargaron de diseñar y desarrollar los receptores que han de instalarse en los radiotelescopios RAEGE. En efecto, para poder obtener estos resultados científicos, los radiotelescopios están dotados de receptores criogénicos ultrasensibles. No en vano, el Observatorio de Yeves fue calificado en 2015 como Centro de Desarrollos Tecnológicos de la IVS, cali-

ficación que sólo tienen siete institutos en todo el mundo, como el Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA), la NASA y los institutos homólogos al IGN en Rusia, Canadá, Japón y Suecia.

En el Observatorio de Yeves se ha desarrollado tecnología de primer nivel para los radiotelescopios Raege y VGOS. El primer tipo ha sido un receptor tri-banda, capaz de recibir señales en tres bandas de frecuencia simultáneamente en doble polarización circular: banda S (2.2 – 2.7GHz), banda X (7.5 – 9 GHz) y banda Ka (28-33 GHz). Este receptor fue instalado en el primer radiotelescopio RAEGE, en Yeves, y fue muy importante para verificar las capacidades técnicas y la eficiencia de los radiotelescopios diseñados para Raege, y para hacer medidas geodésicas compatibles con la mayoría de los radiotelescopios de la IVS, que no contaban aún con receptores tipo VGOS de banda ancha.

Tal fue el éxito de este receptor que la estación japonesa de Ishioka encargó al Observatorio

de Yebes, a través del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), la construcción de un receptor tri-banda para su radiotelescopio VGOS. Un tercer receptor tri-banda fue construido también para la estación de RAEGE de Santa María.

El segundo tipo fue el receptor de banda ancha tipo VGOS, de 2-14 GHz con doble polarización lineal. Este receptor sustituyó al primer receptor tri-banda en la estación Raege de Yebes para ser ya completamente compatible con el proyecto VGOS y además permitió participar con éxito en 2016 en las primeras medidas geodésicas transatlánticas del proyecto VGOS entre las estaciones de Kokee Park, Goddard, Westford (estas tres en Estados Unidos), Wettzell (Alemania) y Yebes.

Dados los excelentes resultados de este segundo receptor, la Autoridad Cartográfica Noruega (Norwegian Mapping Authority, NMA) encargó al CNIG la construcción de dos receptores de banda ancha para sus radiotelescopios gemelos del tipo VGOS situados en Ny-Alesund (archipiélago de Svalbard, Noruega). El primero de estos receptores fue entregado e instalado por personal del Observatorio de Yebes en septiembre de 2019. El segundo se verá retrasado por la crisis de la Covid-19 hasta finales de 2020.

Análogamente, el Instituto Finlandés de Investigación Geoespacial (Finnish Geospatial Research Institute, FGI) encargó también un receptor de banda ancha para su radiotelescopio VGOS en el Observatorio de Metsähovi, que fue entregado e instalado en noviembre de 2019.

Ambos encargos se realizaron en el marco de convenios de colaboración suscritos por el IGN con NMA y FGI. Actualmente se esperan más encargos, como los de la próxima estación VGOS en Matera (Italia), en Hartebeesthoek (Sudáfrica) y en Tailandia. Además, se ha fabricado otro tipo de instrumentación tecnológica, como son los denominados calibradores de fase, para los radiotelescopios de la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia de Alemania (BKG).

Mitma, por tanto, está exportando tecnología de receptores de radioastronomía a países tan relevantes como Japón, Alemania, Noruega y Finlandia. Uno de los primeros resultados más prometedores ha sido la determinación de la longitud de la línea de base entre los radiotelescopios de Westford y Yebes, estimada a partir de datos de observaciones VGOS. El valor nominal de esta línea de base es de 5.377 kilómetros y la dispersión en la determinación es de tan sólo 4 mm. Esto constituye un hito importante y excepcional que demuestra el enorme potencial del proyecto VGOS y, por ende, del proyecto RAEGE. Se espera aumentar dicha precisión hasta conseguir dispersiones de solo 1 mm.

Raege también se ha incorporado a un proyecto europeo denominado EU-VGOS en el que ha participado junto con los radiotelescopios de Onsala en Suecia y Wettzell en Alemania. El proyecto EU-VGOS se ha iniciado en 2018 y tiene como objetivo el desarrollo de experiencia en Europa en la correlación y posterior procesamiento de las observaciones VLBI geodésicas de banda ancha.

Raege convertirá al IGN en uno de los centros más importantes del mundo en geodesia espacial, permitiendo establecer colaboraciones científico-técnicas de gran interés con otros países

Conclusiones

Raege es sin duda un gran proyecto que convertirá al IGN en uno de los centros más importantes del mundo en geodesia espacial, estableciendo colaboraciones científico-técnicas de gran interés con otros países como, por ejemplo, Estados Unidos, Suecia, Portugal, Alemania, Japón, Noruega y Finlandia, y organizando congresos internacionales como el que tuvo lugar en 2019 en Gran Canaria, la reunión del grupo de trabajo de VLBI astrométrico europeo, EVGA, donde se reunieron más de 150 participantes procedentes de todo el mundo.

Se espera que la aportación de Raege a la geodesia espacial de precisión sea muy valiosa, contribuyendo a que esta técnica se convierta en esencial para la determinación de los cambios que suceden en la Tierra.

Cuantificar esos cambios con precisión es vital para conocer y comprender los fenómenos que los provocan, sus causas e intentar anticiparse a sus posibles efectos. ■

Redes

■ Texto: ALICIA GONZÁLEZ, CRISTINA CALVO, PABLO DE LA PRESA, RAQUEL FERNÁNDEZ;
 JORGE VICENTE, DANIEL ROLANIA, ÁNGEL EXPOSITO. Área de Mapa Topográfico
 Nacional y Red de Transportes. Subdirección General de Geodesia y Cartografía.



Componentes de la calidad de los datos geográficos (ISO)

- **Completitud:** presencia/ ausencia de fenómenos, sus atributos y relaciones.
- **Consistencia lógica:** adherencia a las reglas del modelo de datos, a los valores especificados con atributo, formato, corrección de las características topológicas codificadas explícitamente
- **Exactitud posicional**
- **Exactitud temática:** corrección de la clasificación, corrección de los atributos no cuantitativos y atributos cuantitativos.
- **Usabilidad:** cumplimiento de unos requisitos...

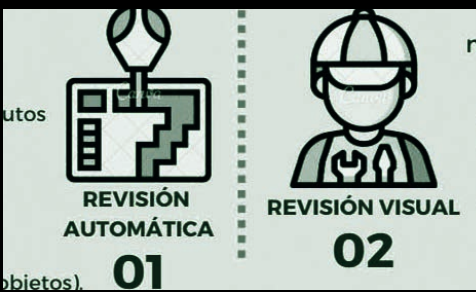
Aspectos que se revisan sobre el 100% de los elementos

- Formato y sistema de referencia
- Presencia de todos los elementos, con sus atributos correspondientes
- Atributos rellenados con valores permitidos
- Verificación de semántica y reglas cruzadas de atributos
- Integridad referencial entre tablas.
- Control geométrico (posiciones relativas entre objetos).
- Control topológico.



Aspectos que muestra aleatoriamente

- Omisión de elementos
- Presencia de elementos que no existen.
- Exactitud posicional (distancia entre puntos seleccionados por el usuario)
- Ubicación sobre el terreno



RETOS

BIG DATA
 Volumen de datos
 Velocidad de acceso a los datos y análisis
 Variedad de formatos



Soporte espacial para los sistemas de información del Mitma

La información geográfica de redes de transporte

La Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte (IGR-RT) que integra el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es un conjunto de datos georreferenciados relativos a las infraestructuras de los distintos modos de transportes, de acuerdo a un modelo de datos multimodal en continua evolución para adaptarse a los requisitos de un número de usuarios cada vez más numeroso. Las aportaciones de organismos, principalmente del ámbito del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), que gestionan estas infraestructuras, han permitido mejorar la calidad de los datos, posibilitando una colaboración bidireccional (los organismos proveedores de información comienzan a ser también usuarios de la IGR-RT) que ha cristalizado en diferentes casos de uso.

La información geográfica de referencia de redes de transporte

La Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte¹ (IGR-RT) que produce, en el ámbito de sus competencias, el IGN, se mantiene en colaboración con otros organismos públicos, y es una red tridimen-

1. Especificaciones del producto IGR-RT <http://www.ign.es/web/ign/porta/cbg-redes-transporte>.

sional de cobertura nacional, definida y publicada de conformidad con la Directiva Inspire² (Infrastructure for Spatial Information in Europe), que contempla cinco modos de transporte: red viaria, raíl, vías navegables, aéreo y cable, y sus respectivas conexiones intermodales. Se trata de un conjunto de datos geográficos georreferen-

2. Directiva europea 2007/2/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:ES:PDF>)

ciado en el Sistema de Referencia Terrestre Europeo de 1989 (ETRS89, *European Terrestrial Reference System 1989*) y con las relaciones espaciales entre vectores (puntos, polilíneas y polígonos) conectados o adyacentes en un SIG asegurado para conformarse en forma de red (topología de red), lo que facilita su explotación y análisis según los requisitos del Mitma. Cada modo de transporte está caracterizado por múltiples atributos, y parte de la complejidad de su mantenimiento y actualización reside en la necesidad

de garantizar la coherencia de la información que incorpora (nomenclaturas, codificaciones, titularidades, etc.) con la facilitada por los titulares de las infraestructuras y otras fuentes de información oficiales (INE, DGT, Catastro, etc.).

Origen

Las infraestructuras asociadas a los transportes son un importante elemento vertebrador del espacio, con un fuerte impacto en la vida de los ciudadanos y en las condiciones competitivas de las empresas, lo que les confiere un papel fundamental en las políticas de los organismos públicos con competencias en la organización económica y gestión del territorio. La implantación de redes de transporte produce cambios

directos sobre la morfología del territorio, y desencadena otras actividades que también contribuyen a su modificación. Por ello, las variaciones de las redes de transporte alertan sobre cambios (pasados o futuros) en otras componentes espaciales del territorio. Por ejemplo, el desarrollo de zonas residenciales o industriales cercanas a nuevas vías de comunicación, o el despoblamiento rural por falta de accesibilidad desde núcleos urbanos.

En el ámbito de las funciones que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene encomendadas para la representación topográfica de todo el territorio, las redes de transportes han sido tradicionalmente uno de los contenidos fundamentales, especialmente en su serie

cartográfica de mayor detalle: el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25).

Inicialmente, las redes de transporte se capturaban para ser visualizadas en el MTN25. Conforme las tecnologías aplicadas a la producción cartográfica fueron evolucionando, los elementos recogidos en el MTN25 (tanto los relativos a transporte como los de otras temáticas) pasaron a actualizarse y mantenerse mediante bases de datos espaciales, que permitían no solo visualizar los datos sino también realizar análisis sobre ellos.

En la actualidad, el MTN25 se actualiza a partir de la información recogida en la Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 (BTN25). Los elementos de ésta que hacen referencia a la red de transportes se actualizan y gestionan en la base de datos de IGR-RT, de donde se nutren tanto la BTN25, como otros productos del IGN que precisan de esta temática.

Marco legal

La Directiva Inspire tiene por objetivo el establecimiento de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) abiertos en el ámbito europeo, sobre la cual monitorizar las políticas de la Unión Europea. Esta IDE posibilita el acceso de los ciudadanos a multitud de datos producidos en el ámbito de administraciones públicas, fomentando así la reutilización de información geográfica para múltiples fines distintos del propósito original.

La Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las Infraestructuras y los Servicios de Información Geográfica en España (Lisige), que incorpora la directiva Inspire al ordenamiento jurídico español, define la IGR como:



La Información Geográfica de Referencia de Redes de Transporte (IGR-RT) en cifras.

Abajo, componentes de la calidad de los datos geográficos (ISO-19157). A la derecha, representación de los datos de la IGR-RT disponibles a descarga.

Componentes de la calidad de los datos geográficos (ISO-19157)



- **Completación:** presencia/ ausencia de fenómenos, sus atributos y relaciones.
- **Consistencia lógica:** adherencia a las reglas del modelo de datos, a los valores especificados como válidos para cada atributo, formato, corrección de las características topológicas codificadas explícitamente
- **Exactitud posicional**
- **Exactitud temática:** corrección de la clasificación, corrección de los atributos no cuantitativos y exactitud de los atributos cuantitativos.
- **Usabilidad:** cumplimiento de unos requisitos...

Aspectos que se revisan sobre el 100% de los elementos

- Formato y sistema de referencia
- Presencia de todos los elementos, con sus atributos correspondientes
- Atributos rellenados con valores permitidos
- Verificación de semántica y reglas cruzadas de atributos
- Integridad referencial entre tablas
- Control geométrico (posiciones relativas entre objetos)
- Control topológico.



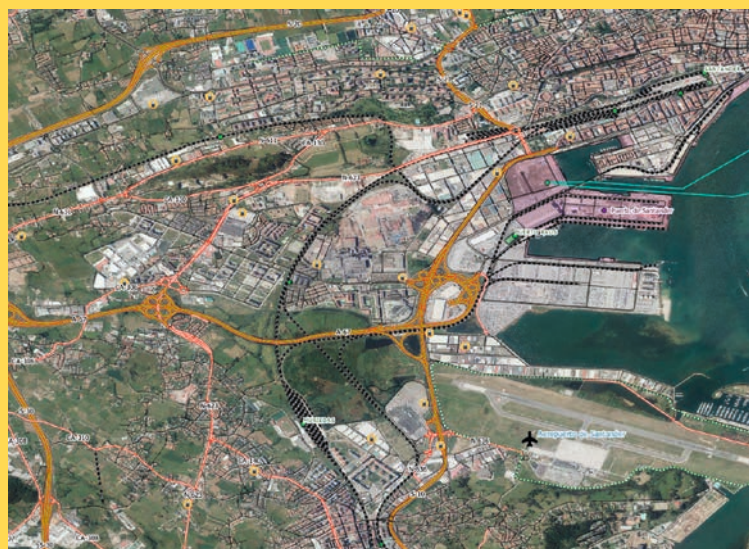
REVISIÓN AUTOMÁTICA
01



REVISIÓN VISUAL
02

Aspectos que se revisan sobre una muestra aleatoria y representativa de los elementos

- Omisión de elementos existentes
- Presencia de elementos que ya no existen.
- Exactitud posicional: se comprobará la distancia entre los puntos seleccionados por muestreo y su ubicación sobre ortofoto.



“Información geográfica necesaria para que cualquier usuario y aplicación pueda referenciar sus datos. Proporciona una localización precisa para la información, permite cruzar datos de distintas fuentes y sirve para interpretar datos situándolos en un ámbito geográfico.”

La Directivas Inspire y la Lisige establecían, entre otros aspectos, la obligatoriedad de poner a disposición del público los datos de una red de transportes continua y multimodal mediante diversos servicios web (descarga, visualización y localización) antes de noviembre de 2017. Para asegurar el cumplimiento de la Directiva, en 2014 el IGN llevó a cabo un cambio en la estrategia de producción de esta temática, que consistía en generar una base de datos que concentrase todos los esfuerzos de mantenimiento y actualización de la IGR-RT. Este conjunto de datos, con cobertura nacional y lo más actualizado y completo posible, en adelante sería la fuente de datos para otros productos del IGN que precisasen

incorporar información de esta temática.

En marzo de 2017 culminó la producción de la primera versión de la IGR-RT, a partir de la integración y armonización de productos existentes del IGN (fundamentalmente de la BTN25 y CartoCiudad) y de datos de otras fuentes oficiales.

Actualización de datos y verificación de su calidad: un reto big data

El acceso a información geográfica *online* facilitada por empresas o por plataformas de información geográfica voluntaria (Google Maps, OpenStreetMap) ha contribuido a que la sociedad demande una frecuencia de actualización cada vez mayor, especialmente en temas que, como los medios de transporte, repercuten directamente en diversos ámbitos de interés general. Sin embargo, tanto la frecuencia de actualización

como los procesos de control de calidad de los datos de IGR-RT vienen condicionados por la gran diversidad de la información que contiene, el amplio ámbito territorial que cubre y la resolución a la que lo hace.

Fuentes

La actualización de la IGR-RT se realiza fundamentalmente a partir de la integración de datos oficiales, facilitados por los titulares de las infraestructuras, completados con la ayuda de las imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de máxima actualidad.

Para que dicha integración sea viable, es fundamental:

- Mantener la trazabilidad con las distintas versiones de datos facilitados por los organismos oficiales, para lo cual es necesario identificar los elementos del mismo modo en que lo hacen ellos (es decir, conservando el nombre oficial o código con el que cada organismo denomina a la infraestructura en cuestión).
- Desarrollar capacidades y metodologías que permitan

estar al tanto de las actualizaciones de los datos. La comunicación con los titulares de las infraestructuras es esencial; en este sentido, cabe destacar la comunicación bidireccional directa con la Dirección General de Carreteras del Mitma, que nos permite conocer de forma inmediata los cambios de la Red de Carreteras del Estado (RCE): cesiones, inauguraciones, etc. Otros organismos (comunidades autónomas, diputaciones, etc.) publican información puntual o periódicamente en sus páginas web; en este caso, es preciso rastrear esas publicaciones y descargar la información para trasladarla a la IGR-RT, adaptando la metodología de integración en función de los distintos formatos y estructura de los datos que se han de importar.

Calidad

La calidad de los resultados de cualquier aplicación que utilice los datos de la IGR-RT depende en primera instancia de la calidad de estos últimos. La evaluación de la calidad de la IGR-RT se realiza con base en la norma ISO-19157, mediante procesos automáticos desarrollados con herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica), y revisiones visuales sobre muestras representativas de los elementos que componen la base de datos.

Metodología de actualización

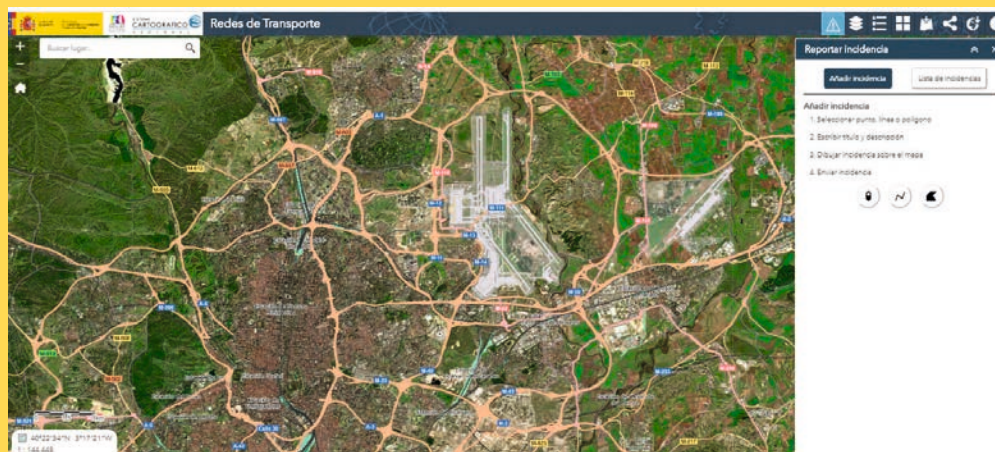
Desde la publicación de la primera versión de la IGR-RT en 2017, los trabajos de actualización se han centrado en la integración de los datos facilitados por los distintos organismos ofi-

ciales, en la actualización masiva de la IGR-RT a partir de esos datos y de las imágenes aéreas de PNOA, y en la incorporación de mecanismos que permitiesen lograr una trazabilidad con las distintas versiones de las fuentes de datos. Esta actualización se ha hecho por modos de transporte y por provincias, para todo el ámbito nacional. En algunos casos, como el de la Comunidad Valenciana y el del País Vasco, los organismos cartográficos autonómicos han asumido la actualización total o parcial de la IGR-RT en sus respectivos ámbitos territoriales. Una vez alcanzado un nivel que refleja con razonable completitud y exactitud la realidad de las infraestructuras existentes, se está trabajando en el desarrollo de metodologías que permitan agilizar la actualización de los datos, para que tanto la captura de los cambios asociados a infraestructuras como la puesta a disposición del público de los mismos sea mucho más rápida. Para ello, se encuentra ya en fase de pruebas un nuevo entorno de producción, la Base de Datos de Información Geoespacial (BDIG), que agrupa tanto

la información de transportes como la del resto de temáticas incluidas en la BTN25. Este entorno pretende, por un lado, realizar el seguimiento del flujo de trabajo que se desencadena cada vez que se comunica una incidencia que hace necesario un cambio en los datos; y por otro, facilitar la edición de los datos, para llevar a cabo los cambios necesarios y el control de calidad posterior en el menor tiempo posible.

Por otra parte, se están desarrollando técnicas de detección selectiva y automatizada de cambios, que, en su aplicación a los transportes, afecten a las infraestructuras físicas, ya sea a la geometría del elemento (por ejemplo, un puerto nuevo o un cambio de trazado) o a otras de sus características (por ejemplo, el cambio de una autopista de peaje a vía de acceso libre). Estas técnicas son principalmente tres:

- Implementación de procesos automáticos de comparación entre versiones de las fuentes de referencia y aplicación de las variaciones sobre los datos de la IGR-RT. Estos procesos se desarrollan



Visor de IGR-RT.

fundamentalmente respecto a fuentes oficiales (Catastro, INE, catálogos de carreteras, etc.), pero también respecto a otras fuentes relevantes por su completitud geométrica y grado de actualización (por ejemplo, plataformas como OpenStreetMap). En estos casos, no se incorporan los datos directamente, sino que se utilizan para detectar potenciales zonas de cambio que posteriormente se analizan respecto de las fuentes oficiales correspondientes.

- Bots: desarrollo de programas informáticos automáticos para tareas repetitivas, como por ejemplo el rastreo y estructuración de información en Internet, ejecutados sobre páginas web y redes sociales susceptibles de publicar información de referencia en materia de redes de transporte.
- *Deep learning*: basado en técnicas de inteligencia artificial, para la identificación automática de zonas de imágenes (ortofotos o satelitales) en las que aparezcan vías de comunicaciones (carreteras y caminos fundamentalmente).

Difusión de los datos: acceso libre y gratuito

A medida que se realizan revisiones de subconjuntos de los datos (por ejemplo, la red viaria interurbana de una provincia o los portales de un municipio) y periódicamente (cada dos meses aproximadamente o antes si el volumen de cambios realizado es significativo), se publica la última versión de los datos para que esté disponible gratuitamente a través del Centro de Descargas del CNIG

(formato *shapefile*), junto con los metadatos que describen las últimas actualizaciones realizadas.

La información se distribuye por unidades territoriales (mediante ficheros que contienen la información de los cinco modos de transporte para cada provincia) y por modos de transporte (capas de cobertura nacional). En relación con este último formato de distribución hay que matizar que, dado el gran volumen de datos que supone la red viaria completa en todo el territorio, la capa viaria de cobertura nacional se limita a la red de carreteras y puntos kilométricos junto con sus infraestructuras asociadas. De manera complementaria, también se publica el Catálogo de Carreteras de la IGR-RT, generado y actualizado a partir de la información oficial que publican los distintos titulares de las vías y que, dentro del proyecto, es el elemento que garantiza la descripción alfanumérica (literal) oficial de las carreteras catalogadas.

Además, dado que la IGR-RT es conforme a la Directiva Inspire, los datos también son accesibles a través de servicios web de visualización WMS (incorporados también en el servicio teselado de cartografía base del IGN) y de descarga WFS, donde se pueden realizar peticiones específicas a objetos geográficos concretos.

Por último, existe un visor específico a través del cual se puede consultar la información de la IGR-RT. En él se ha habilitado una funcionalidad que permite la comunicación directa con los usuarios que quieran notificar incidencias en los datos, señalando gráficamente la zona afectada e incorporando la in-

formación complementaria que consideren de interés.

Aplicaciones de IGR-RT en casos de uso del MITMA

El Grupo Mitma es uno de los principales proveedores de datos de la IGR-RT, sobre todo en lo relativo a la Red de Interés General del Estado en todos los modos de transporte, y a las Redes Transeuropeas de Transporte.

Al mismo tiempo, la IGR-RT, por la forma en que aborda la información relativa a transportes (desde un punto de vista de red, intermodal, incorporando información de otros titulares de transportes y conservando los identificadores oficiales de las infraestructuras), genera información de interés para el Mitma. Así, a medida que la calidad de los datos ha ido mejorando, el Mitma ha pasado de ser proveedor de datos para la IGR-RT a ser también usuario de los mismos. Esta colaboración bidireccional e iterativa proveedor-usuario se ha materializado en diferentes casos de uso y ha redundado en una mejora de la calidad de los datos de las dos partes.

Proyecto Hermes

Uno de los cometidos principales del Mitma es la propuesta y ejecución de las políticas del Gobierno en materia de infraestructuras de transporte terrestre, aéreo y marítimo de competencia estatal, con el fin de garantizar una movilidad justa y sostenible. Para todo ello, precisa nutrirse de la información reportada por las distintas unidades funcionales



BIG DATA
Volumen de datos
Velocidad de acceso a los datos y análisis
Variedad de formatos



REDUCCIÓN DE PLAZOS
Integración de información
Control de calidad
Puesta a disposición del público



FOCO EN USUARIO
Valor añadido
Usabilidad de los datos



A la izquierda, en azul, tramos de carretera disponibles en IGR-RT para una zona determinada; a la derecha, en rojo, generalización para Hermes.

Retos tecnológicos para la IGR-RT.

y organismos que forman parte del grupo.

En lo que se refiere a las redes de transporte, gran parte de esta información procede de bases de datos no espaciales, hojas de cálculo e informes que, por lo tanto, no está georreferenciada. En otros casos sí lo está, pero reside en sistemas de información descentralizados y no conectados entre sí. Por ello, el Mitma resolvió disponer de una plataforma tecnológica que permitiese la gestión conjunta de estos datos. Esta plataforma, denominada sistema Hermes en la iniciativa "Desarrollo de un Modelo Nacional de Transportes multimodal para viajeros y mercancías", dentro del Eje Estratégico 3 "Rutas Inteligentes" del Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras 2018-2020, busca dar soporte a un modelo de información corporativo

Desde el IGN se ha conseguido dotar de geometría lineal al Catálogo de Carreteras alfanúmerico que el Mitma publica anualmente

(Grupo Mitma), multimodal y transversal en relación con la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T), y en el marco de la Red de Transporte de Interés General de España (RIGE), que integre la información de manera completa, actualizada y accesible.

Hermes necesitaba una base geoespacial que sirviese de referencia geográfica a la información de los distintos modos de transporte y para ello se decidió utilizar la IGR-RT.

Tras evaluar la adecuación de los datos de la IGR-RT a las necesidades de Hermes, se llegó a la conclusión de que, mientras en los modos aéreo, marítimo y ferroviario no había dificultades para enlazar los datos suministrados por los distintos organismos a los datos geoespaciales de la IGR-RT, la red de carreteras requeriría un procesamiento previo de generalización para la adecuación de los datos a los requisitos definidos.

Esta generalización persiguió la obtención de un conjunto de geometrías sobre las que poder georreferenciar dinámicamente los parámetros y atributos que el Ministerio precisa para la gestión de información de las infraestructuras, mediante técnicas de segmentación dinámica. Para cumplir con los requisitos del Ministerio fue necesario simplificar el trazado, reduciéndolo a un eje por calzada y obteniendo geome-

trías lo más continuas posibles (únicamente interrumpidas en las intersecciones a nivel entre carreteras), así como desproveer a las geometrías de los atributos que en la IGR-RT generan cortes e incrementan su segmentación.

El IGN comenzó a desarrollar los procesos que permitieran obtener una salida de datos conforme los requisitos de Hermes en 2018 y los aplicó sobre la IGR-RT para que esta fuera utilizada como el soporte espacial sobre el que georreferenciar los datos específicos de la Subdirección General de Planificación, Red Transeuropea y Logística.

Los datos proporcionados por los distintos departamentos de la Dirección General de Carreteras del Mitma (puntos kilométricos e información de enlaces y ramales, Inventario y Catálogo de la Red de Carreteras del Estado, y comunicaciones de cesiones entre titulares) han resultado de gran valor, facilitando el análisis de los datos de la Red de Carreteras del Estado (RCE) existentes en la IGR-RT y su posterior depuración.

Actualmente, existen varias líneas de colaboración con el objetivo de completar y mejorar en la medida de lo posible la componente espacial de los datos de la Dirección General de Carreteras a partir de las geometrías de la IGR-RT.

En concreto, se está colaborando con la Subdirección General de Explotación para que las próximas versiones del Mapa de Tráfico se generen empleando la IGR-RT como soporte espacial sobre el que referir los datos de tráfico, garantizando que las denominaciones y titularidades de las secciones de las carreteras se correspondan con los valores oficiales facilitados por dicha subdirección.

Durante el desarrollo de esta colaboración, desde el Instituto Geográfico Nacional se ha conseguido dotar de geometría lineal al Catálogo de Carreteras alfanumérico que el Mitma publica anualmente, avanzando así hacia el objetivo de que toda la información geoespacial que precise la Dirección General de Carreteras sea facilitada por la IGR-RT del IGN. Por último, más recientemente han comenzado a realizarse pruebas para dotar de geometría lineal a la información puntual de enlaces, ramales y rotondas que gestiona la Subdirección General de Conservación.

Con referencia a otras colaboraciones, además de estos trabajos, la aportación del IGN en materia de información geográfica vinculada a los datos de transportes se orienta hacia los nuevos objetivos del Mitma. Así, se contribuyó al documento inicial de propuestas de líneas de innovación en materia de movilidad inteligente que el Ministerio debe promover dentro de la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada, eje 5: Movilidad inteligente y nuevas pautas de movilidad, y a través del grupo de trabajo interministerial para la coordinación de las acciones en materia de movilidad inteligente.

Igualmente, el IGN sigue con mucho detenimiento los avances que se realizan sobre el Vehículo Autónomo y Conectado (CAD), contribuyendo en la medida en que el Ministerio precisa, en el ámbito de los sistemas de posicionamiento en tiempo real a través de sus redes geodésicas, y en el de la cartografía para la provisión de datos geográficos, consciente de que la voluminosa información capturada por los múltiples sensores que conlleva esta tecnología podría emplearse para mejorar la calidad de los servicios y la cartografía del IGN y que, a su vez, el Ministerio utilizaría en otros muchos proyectos.

Futuras líneas de trabajo. Nuevos retos tecnológicos

En la actualidad, el mayor reto al que se enfrenta la IGR-RT reside en la gestión de grandes conjuntos de datos (*Big Data*). Este reto hace referencia, en primer lugar, a la capacidad de absorber las numerosas fuentes de datos existentes (imágenes de satélite, información desestructurada procedente de redes sociales, catálogos y listados de datos desprovistos de componente geométrica, etc.) manteniendo los niveles de calidad definidos previamente, aplicando análisis que permitan una mejora continua de los datos y estableciendo criterios que, ante información contradictoria (por ejemplo, fuentes de datos que describan una misma vía urbana con dos nombres distintos), sean capaces de identificar el dato más fidedigno.

El mayor reto al que se enfrenta la IGR-RT reside en la gestión de grandes conjuntos de datos (*Big Data*) para identificar el dato más fidedigno

Esta integración debe realizarse con la suficiente rapidez como para resultar útil a los usuarios y a las administraciones públicas. Dado el gran volumen y homogeneidad de datos que se manejan, para conseguirlo será fundamental:

- sustituir las formas de procesamiento tradicional por metodologías *Big Data*, que permitan así acelerar los análisis y consultas sobre bases de datos que (como en el caso de la IGR-RT) implican el acceso a millones de registros.
- prestar atención a los usuarios, para centrar los esfuerzos de actualización y adaptación del modelo de datos en función de los requisitos que más valor añadido puedan aportar para las aplicaciones de terceros y del propio IGN.

Finalmente, en los últimos años se ha visto la necesidad de almacenar información no solo alfanumérica y espacial, sino también de otros tipos (imágenes, documentos, etc.), que complete los datos tradicionales y contribuya a mejorar su calidad y facilitar su mantenimiento, así como a abrir el abanico de aplicaciones para las que pueda utilizarse. ■

Astronomía

■ Texto: RAFAEL BACHILLER. Observatorio Astronómico Nacional. Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales.



Conjugación histórico-artística con investigación de vanguardia

El Observatorio Astronómico Nacional

Los numerosos visitantes del Real Observatorio de Madrid suelen quedar asombrados por su impresionante patrimonio histórico-artístico. Pero pocos son conscientes de que, en este maravilloso enclave del Observatorio Astronómico Nacional, como también en otras infraestructuras de este, se desarrolla una labor de investigación en astrofísica de primera línea a nivel mundial. Con estudios que abarcan desde la formación de las estrellas y los planetas hasta las propiedades de los agujeros negros, en el Observatorio se conjuga hoy una fascinante tradición histórico-artística con la astrofísica más pionera.





01. El Real Observatorio de Madrid antes de la invasión napoleónica. | Dibujo de Isidro González Velázquez.

02. Observación del eclipse de 1905 en Burgos, poco después de la incorporación del Observatorio al Instituto Geográfico. | Foto: OAN.

03. El gran interferómetro milimétrico de Atacama ALMA es el telescopio terrestre más complejo jamás construido. Este radio-interferómetro fue construido por 16 países europeos (incluyendo España), EEUU/Canadá, y Japón/Corea/Taiwán. Está formado por 66 antenas de alta precisión. | Foto: ALMA/ESO/NRAO/NAOJ.

04. El radiotelescopio del IRAM sobre el Pico Veleta (Granada) tiene un diámetro de 30 metros. Fue construido por la Sociedad Max-Planck de Alemania, el CNRS francés y el IGN español. | Foto: IRAM.

Un observatorio ilustrado

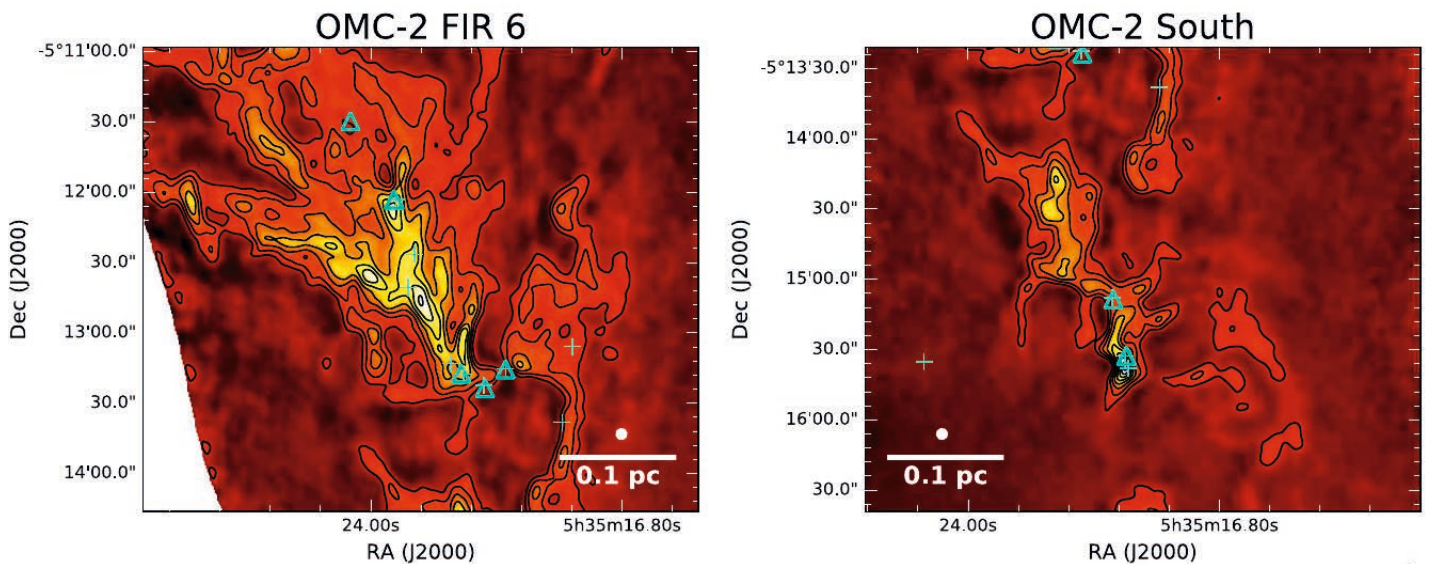
Los orígenes del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) se remontan al reinado de Carlos III quien, a propuesta del célebre marino y cosmógrafo, ilustre e ilustrado, Jorge Juan, ordenó su creación a finales del siglo XVIII (hacia 1785). Jorge Juan había participado en la gran expedición de la Real Academia de Ciencias de París que partió hacia el Ecuador en 1736 para medir la longitud de un grado del arco del meridiano. En aquella expedición que duró más de 8 años, se obtuvieron unas medidas clave para determinar que la Tierra era achatada por los polos consagrándose así la teoría de la gravitación universal de Newton. Al regresar de la expedición, Jorge Juan estaba plenamente convencido de la importancia de desarrollar la astronomía para mejorar las técnicas de navegación y, en 1753, impulsó la creación de un observatorio astronómico en Cádiz, al que debería seguir otro en Madrid similar a los que ya existían en otras capitales europeas. El proyecto del observatorio en Madrid no cristalizó hasta finales de los años 1780 cuando Salvador Jiménez Coronado fue pensionado para ir a París e inspirarse en el Observatorio que en aquella ciudad había creado Luis XIV casi un siglo antes. Así pues, si el Observatorio de Cádiz había seguido el ejemplo del de Greenwich cultivando la astronomía como herramienta para la navegación, el Observatorio de Madrid habría de seguir los pasos del de París: un centro consagrado al estudio del universo. Jiménez Coronado regresó a España en 1789, cuando ya se

encontraba reinando Carlos IV. Sería este monarca quien daría la orden al arquitecto de la corte, Juan de Villanueva, para que comenzase las obras del nuevo observatorio en una colina conocida como 'cerrillo de San Blas', en lo que entonces eran las afueras de Madrid y actualmente es el parque del Retiro. Las tareas encomendadas al Observatorio venían descritas en la Real Orden de constitución que fue dictada en 1790. La teoría y práctica de la astronomía, la geodesia, la geofísica y la cartografía, es decir, las propias de un observatorio de astronomía de aquella época, serían sus objetivos. Y para llevarlos a cabo se creó, en 1796, el Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos.

La astronomía española había tenido su momento de máximo esplendor en la Edad Media, y muy concretamente en Al-Andalus y en la corte de Alfonso X el Sabio. Pero la práctica de esta ciencia había ido perdiéndose poco a poco, de forma que en el siglo XVIII no se poseían en el país los conocimientos astronómicos necesarios. Debido a esta carencia, los primeros astrónomos del Observatorio debieron iniciar su aprendizaje en el extranjero, desarrollando sus conocimientos, prácticamente desde cero, tanto en la construcción de instrumentos como en la realización de observaciones.

El gran telescopio destruido por la invasión napoleónica

Los Borbones no quisieron escatimar los recursos para el nuevo Observatorio, y permitieron que sus astrónomos encargasen al célebre astrónomo William Herschel –el mejor



Imágenes de la gran nube de Orión obtenidas a partir de observaciones de emisión molecular por miembros del Observatorio Astronómico Nacional combinando datos del IRAM y de ALMA. Mapa a gran escala de la nube e imágenes que muestran en detalle algunas regiones y señalan la presencia de protoestrellas. | Foto: ALMA/IRAM/OAN.

constructor de telescopios de la época— la construcción de tres telescopios reflectores proyectados siguiendo el diseño realizado por el mismísimo Newton. Dos pequeños telescopios serían similares al utilizado por Herschel para descubrir el planeta Urano y un telescopio mayor, de 25 pies (7,6 metros) de distancia focal y espejo de 2 pies (61 centímetros) de diámetro, sería el buque insignia de los instrumentos del Observatorio. De hecho, este gran telescopio, uno de los tres mayores del mundo en su época, sería considerado por el propio Herschel como el mejor telescopio de cuantos construyó. Así comenzó un fructífero período de actividades científicas, de desarrollo de instrumentación y de enseñanza de la astronomía. De esta forma, el Observatorio de Madrid fue la primera escuela de astro-

nomía de la España moderna. Pero, desgraciadamente, vino la guerra y, como siempre sucede, arrasó con todo. La invasión napoleónica de comienzos del siglo XIX supuso la dispersión del personal del Observatorio y la destrucción de sus equipos, entre ellos, el magnífico telescopio de Herschel de 25 pies, la biblioteca y las edificaciones provisionales.

Recuperación y adscripción al IGN

Las actividades del Observatorio no pudieron reanudarse hasta 1845, finalizándose la construcción del edificio “Villanueva” al año siguiente. En 1854 instaló el meridiano Repsold y en 1858 el antejo ecuatorial Mertz, dando inicio, a una etapa de interesantes trabajos astronómicos, geodésicos y meteorológicos, así como a la participación en campañas

de cooperación internacional. Tras una primera etapa en la que el Observatorio dependió directamente del rey a través de un comisario regio y, posteriormente, del rector de la Universidad Central, en marzo de 1904 el Observatorio fue agregado al Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el que, desde entonces, se encuentra perfectamente integrado. España fue testigo privilegiado de una serie de eclipses solares que tuvieron lugar en 1860, 1870, 1900, 1905 y 1912 (los llamados eclipses españoles) y que fueron aprovechados por los astrónomos para relanzar la vida científica del Observatorio. Las actividades desarrolladas entonces por el Observatorio cubrían todos los campos de la astronomía y ciencias afines: desde la física solar y estelar a la mecánica celeste, el desarrollo de instrumentación, conservación

España fue testigo privilegiado de una serie de eclipses solares que tuvieron lugar en 1860, 1870, 1900, 1905 y 1912. Los llamados eclipses españoles

oficial de la hora y las aplicaciones en geodesia. El Observatorio de Madrid fue incluso encargado de realizar trabajos de meteorología (considerados entonces como un complemento de los estudios astronómicos), prolongándose la actividad en este campo hasta los primeros años del siglo XX, momento en el que se creó el Instituto Meteorológico Nacional para el desarrollo de estas funciones. A partir de ese momento, el Observatorio concentra sus esfuerzos en la investigación astronómica y en el desarrollo de instrumentación asociada. Tras el parón que supuso la Guerra Civil, el Observatorio conoce una nueva etapa de modernización y expansión. En la década 1970 se crean el Centro Astronómico de Yebes (Guadalajara) y la Estación de Observación de Calar Alto (Almería), en la que se instala un telescopio óptico de 1,52 metros de apertura. Con ello se potencian las líneas más tradicionales de la astronomía óptica que venían llevándose a cabo en el Observatorio de Madrid (astrometría, heliofísica y física estelar). También se inicia entonces una nueva línea de investigación y desarrollo instrumental, la radioastronomía, que

será el principal campo de investigación del OAN desde entonces hasta nuestros días.

Un centro nacional para la radioastronomía

Al concentrarse en las islas Canarias los mayores telescopios

ópticos e infrarrojos europeos en las décadas de los años 1970 y 1980, el Observatorio Astronómico Nacional reorientó su actividad hacia la radioastronomía. El OAN y el Observatorio de Yebes, tomados en conjunto, constituyen hoy el centro de referencia a nivel nacional para la radioastro-

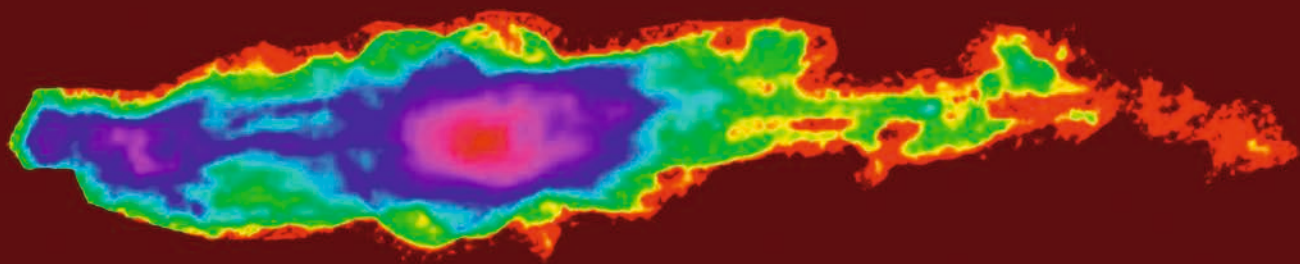
Visitas al Real Observatorio.....

Miles de visitantes acuden cada año al Real Observatorio de Madrid para conocer la evolución de la astronomía, y de otras ciencias afines, como la geodesia, la cartografía, y la geofísica. En la Sala de Ciencias de la Tierra y del Universo, el visitante puede admirar la valiosa colección de instrumentación científica del Observatorio acumulada a lo largo de sus 230 años de historia, así como muchos instrumentos del IGN. Se visita además la réplica del Gran Telescopio de Herschel, el Péndulo de

Foucault, y la joya arquitectónica: el edificio de Juan de Villanueva (arquitecto del Museo del Prado). Así, ciencia, historia y arte se interrelacionan en la narración de las visitas guiadas proporcionando una visión amplia y didáctica del Real Observatorio, desde la Ilustración hasta nuestros días. Las visitas guiadas al Real Observatorio están abiertas tanto al público general como a centros educativos. Información y venta de entradas en la web: <http://www.ign.es/rom/visitas/index.html>



El Ministro José Luis Ábalos frente a la réplica del telescopio de 60 cm de diámetro y 25 pies de distancia focal que William Herschel construyó en 1804 para el Real Observatorio Astronómico de Madrid. | Foto: OAN.



ALMA CO 3-2



HST

Imágenes de la nebulosa planetaria OH 231,8+4,2, estudiada en el OAN, obtenidas con el telescopio espacial Hubble (abajo) y ALMA (arriba). La imagen del Hubble muestra en tonos azulados el gas atómico ionizado por los choques debidos al movimiento muy rápido del gas molecular (trazado por ALMA) y de los granos en polvo (tonos amarillentos). La estrella central no se ve debido a la existencia de un disco central muy opaco | Foto: NASA/ESA/ALMA/OAN.

nomía, una disciplina que, gracias a técnicas innovadoras, como la interferometría, tiene un gran futuro por delante, tanto a nivel científico como técnico. Además, las técnicas de la radioastronomía no son solamente de interés para la astrofísica, sino que tienen aplicación en otras competencias y actividades esenciales del IGN en el ámbito de las ciencias de la Tierra.

Durante las tres últimas décadas, el Observatorio, a través del IGN, ha participado en la creación y funcionamiento de instituciones radioastronómicas de carácter internacional como el Instituto hispano-francoalemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) o el Consorcio Europeo para la Interferometría de Muy Larga Base (EVN/JIVE), en los que se llevan a cabo las investigaciones científicas y los desarrollos tecnológicos más punteros en el campo de la astronomía y en sus aplicaciones a la geodesia.

El equipo científico del OAN ha estado muy involucrado en el proyecto ALMA, el gran conjunto de 66 antenas ultraprecisas instalado en Atacama (Chile). Actualmente, está colaborando en los trabajos de preparación del Square Kilometer Array (SKA), un proyecto internacional en el que participan más de 20 países, cuyo objetivo es la construcción de un gran telescopio a longitudes de onda centimétricas. El SKA estará formado por miles de antenas parabólicas y por otras de tipo *aperture array* que simularán antenas gigantes. El objetivo final es conseguir con un área colectora de un kilómetro cuadrado, un millón de metros cuadrados.

Investigación puntera

El visitante que se acerca al Real Observatorio de Madrid disfruta contemplando su patrimonio y escuchando las explicaciones sobre su historia, pero quizás no sean muchos los visitantes que sean conscientes de que, en los despa-

chos de estos edificios venerables, los astrónomos y astrónomas del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) llevan a cabo en la actualidad trabajos de investigación en los temas más candentes de la astronomía moderna.

La investigación del OAN se basa hoy en observaciones con el radiotelescopio de 40 m del Observatorio de Yebes (IGN), los radiotelescopios del IRAM del Pico Veleta

El equipo del Observatorio Astronómico ha estado muy involucrado en el proyecto ALMA, un gran conjunto de 66 antenas ultraprecisas instalado en Atacama (Chile)



01. Disco proto-planetario de la estrella AB Auriga observado en distintas longitudes de onda de radio con el interferómetro NOEMA de IRAM por un equipo del OAN. Cada color traza la emisión de una molécula distinta. El agujero que se observa cerca de la estrella ha sido creado por un planeta recién formado. | Foto: OAN.
02. Recreación del anillo de gas que rodea al agujero negro que se encuentra en el centro de la galaxia activa NGC 1068 situada a 47 millones de años luz de la Tierra. Esta estructura tiene un diámetro de unos 60 años luz y ha sido estudiada con el interferómetro ALMA por un equipo del OAN. | Foto: OAN.
03. Esta es la primera imagen jamás obtenida de las inmediaciones de un agujero negro supermasivo. Se encuentra en el centro de la galaxia M87, pero se cree que tales agujeros negros deben de estar presentes en todas las galaxias masivas. Personal del OAN y del Observatorio de Yebes participó activamente en la obtención de esta imagen que supuso un hito en astrofísica. | Foto: EHT.

en Plateau de Bure (Alpes franceses), y el interferómetro ALMA en el desierto de Atacama (Chile). El nacimiento y la muerte de las estrellas, la formación de planetas similares a la Tierra, la detección de moléculas prebióticas, la estructura de las estrellas evolucionadas, el estudio de la estructura de las galaxias particularmente activas, etc., son algunos de los temas de estudio que se realizan hoy en el Observatorio. Por otra parte, en estrecha colaboración con los ingenieros e ingenieras del Observatorio de Yebes (IGN), se trabaja en importantes desarrollos técnicos de interés en astronomía y ciencias afines.

Nacimiento de estrellas y planetas

La radioastronomía es la técnica observacional principal utilizada en el Observatorio para la obtención de los datos y así estudiar las regiones donde nacen estrellas, y la interacción de estas con el medio interestelar. La comprensión

de las causas que llevan a que se forme una estrella en una región dada y no en otra, sigue siendo un reto para la astronomía actual. En el inicio de la formación de una estrella, se producen eyecciones de gas a gran velocidad que golpean el medio interestelar. Ya en la fase madura, las estrellas como nuestro Sol emiten una intensa radiación ultravioleta capaz de calentar el medio y destruir las moléculas. Es necesario comprender todos estos procesos para poder determinar el origen de las estrellas. La utilización de grandes interferómetros permite estudiar los pequeños discos de gas y polvo que rodean las estrellas jóvenes y en los que se forman los planetas. El gas de estos discos es la materia prima a partir de la cual se formarán las atmósferas planetarias y, en su caso, la vida. El conocimiento detallado de su composición química es una condición indispensable para de esa forma entender la formación

de nuestro sistema solar y la emergencia de la vida.

Así acabará sus días el Sol

En el OAN también se estudian las últimas fases de la vida de

El interior estelar se comprime y calienta enormemente (las temperaturas alcanzan allí varias decenas de millones de grados) y, como reacción a este proceso, las capas exteriores se expanden y enfrían y la estrella se convierte en una 'gigante roja'

las estrellas, como son las envolturas de las estrellas evolucionadas, las nebulosas protoplanetarias y las planetarias. Estos estudios nos aportan muchos detalles sobre cómo sucede la evolución tardía de las estrellas, y en particular sobre los procesos que el Sol y su sistema planetario experimentarán dentro de miles de millones de años. En la evolución estelar tardía, llega un momento en el que la energía desencadenada por las reacciones nucleares no es suficiente para contrarrestar el propio peso de la estrella. Entonces el equilibrio se rompe. El interior estelar se comprime y calienta enormemente (las temperaturas alcanzan allí varias decenas de millones de

grados) y, como reacción a este proceso, las capas exteriores se expanden y enfrían y la estrella se convierte en una 'gigante roja'. Las gigantes rojas son estrellas sumamente inestables que pulsan (aumentando y decreciendo de tamaño) con periodos del orden de cientos de días. Tales pulsaciones se acentúan y aceleran progresivamente ocasionando, al final, una gran explosión con la eyección al espacio de la mayoría de la masa estelar.

Galaxias y agujeros negros

Los equipos de investigación del OAN también dirigen los radio-telescopios más allá de nuestra galaxia. Se estudia así la distri-

El OAN estudia la distribución, condiciones físicas, cinemática, composición y cantidad del gas molecular en las galaxias, desde Andrómeda hasta las más lejanas

bución, las condiciones físicas, la cinemática, la composición y la cantidad del gas molecular en los diversos tipos de galaxias, desde las más cercanas, como Andrómeda, hasta grandes galaxias lejanas que se formaron en la infancia del universo. Los grandes interferómetros actuales nos permiten distinguir nebulosas de un tamaño parecido al de la nebulosa de Orión en otras galaxias.

El OAN participa muy activamente en el desarrollo, tanto técnico como científico, de la Interferometría de Líneas de Base muy Grandes (VLBI por sus siglas en inglés). En el primer aspecto destaca su participación en las redes mundiales de VLBI astronómico y geodésico mediante la antena de 40 m de Yebes, así como en institutos y consorcios, como el JIVE (Instituto Europeo de VLBI ERIC) y la EVN (Red Europea de VLBI), que coordinan la actividad VLBI a nivel internacional. En el aspecto científico, el personal del Observatorio es experto en la utilización de las técnicas del VLBI para el estudio de emisiones muy energéticas, como la asociada a los agujeros negros. ■

Astronomía para todos

El Observatorio Astronómico Nacional viene publicando, cada año desde 1860, un excelente Anuario Astronómico. Este libro contiene las efemérides de los astros del sistema solar, las explicaciones de cómo hacer uso de tales efemérides y



Portada de la edición del Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 2020.

catálogos sucintos de astros de interés para el observador aficionado. Completan esta información varios artículos de divulgación. Es un magnífico volumen que, en los últimos años, supera las 450 páginas de contenido.

Desde la publicación del primer Anuario, en 1860, tan solo dejó de publicarse de manera excepcional durante unos pocos años: en 1867, 1874, 1875 y desde 1881 hasta 1906. A partir de 1906 se ha publicado ininterrumpidamente, siendo la edición del año 2020 (año en que se cumplió el 160 aniversario de la publicación del primer ejemplar) la edición número 132.

Vigilancia

■ Texto: EMILIO CARREÑO HERRERO y ALFONSO VILLAMAYOR RODRIGUEZ. Red Sísmica Nacional.

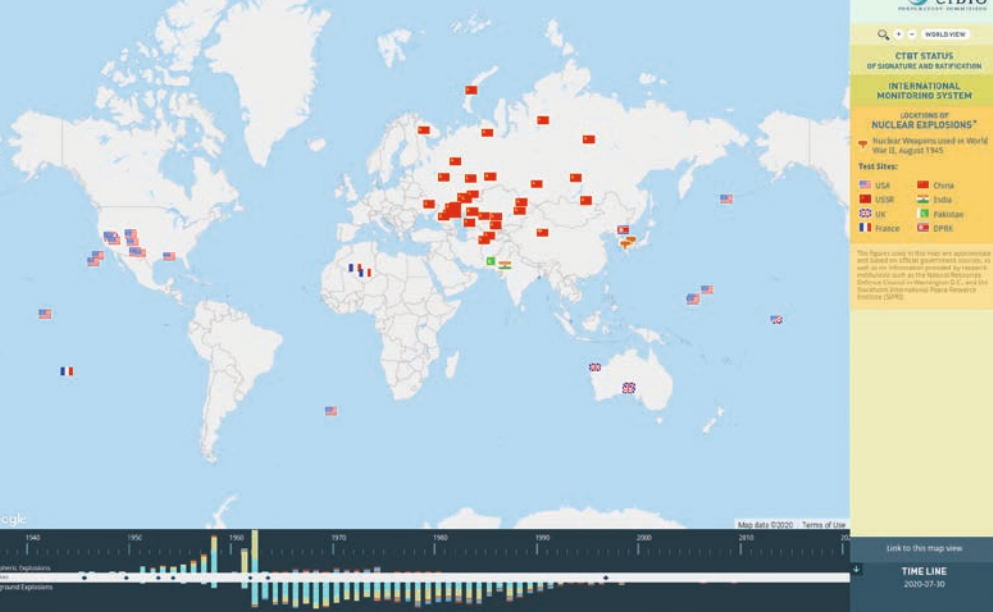


Aportación de España a través del Mitma:
el Centro Sismológico de Sonseca

La vigilancia de los ensayos nucleares

La aportación de España a la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO) se está realizando, en gran medida, a través del Centro Sismológico de Sonseca (Toledo), en la Estación Sísmica Primaria del Sistema Internacional de Vigilancia de dichas pruebas, perteneciente a la Red Sísmica Nacional (RSN), adscrita al Instituto Geográfico Nacional (IGN). Esta estación realiza el seguimiento en tiempo real de cualquier evento que se pudiera producir en la corteza terrestre.





Explosiones nucleares en el mundo desde 1945, según la CTBTO. <https://www.ctbto.org/specials/who-we-are/>

¿Qué es el Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares?

La Conferencia de Desarme, único foro negociador de acuerdos multilaterales de desarme, tras 24 años de existencia, aún no ha conseguido iniciar las negociaciones sobre un tratado para el cese de la producción de materiales fisibles para armas nucleares u otros artefactos explosivos nucleares.

A pesar de la oposición de alguno de los países de la comunidad internacional, ya en 1957, la Asamblea General de Naciones Unidas adoptó su primera resolución en la que se nombra de manera explícita un tratado para el cese de producción de material fisible. Pero no fue hasta 1963 cuando el Reino Unido, la antigua Unión Soviética y los EE. UU. acordaron el Tratado de Prohibición Parcial de Ensayos Nucleares para impedir la realización de ensayos nucleares en la atmósfera, sobre la superficie terrestre o sobre el lecho marino.

La localización de los ensayos nucleares ha sido muy diversa y se han producido tanto en la atmósfera, como bajo el agua y la tierra. La evolución de estos ensayos está muy relacionada con la situación geopolítica y

estratégica mundial, tanto del siglo pasado como en la de éste. En la actualidad se han confirmado la realización de al menos 2.058 pruebas nucleares.

El Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT) es un acuerdo internacional para prohibir todo tipo de explosiones nucleares (incluidas las armas nucleares) en cualquier entorno. Fue aprobado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 10 de septiembre de 1996, y quedó abierto a la firma de todos los Estados, el 24 de septiembre de 1996. Su entrada en vigor será 180 días después de la fecha en que hayan depositado todos los Estados enumerados en el anexo 2 del Tratado. En la actualidad ha sido firmado por 183 Estados, de los cuales 164 ya lo han ratificado, haciéndolo España en 1998.

Para su entrada en vigor, el tratado debe además ser firmado y ratificado por los 44 países que en 1996 poseían reactores nucleares en operación o experiencia reconocida en la tecnología nuclear. A día de hoy, 3 de estos países aún no lo han firmado (Irán, Pakistán y República Democrática de Corea) y otros 5 no lo han ratificado (EE. UU., Egipto, Israel, Irán y China).

El texto sobre el establecimiento de una Comisión Preparatoria (CP) de la CTBT fue aprobado el 19 de noviembre de 1996, en una reunión de los Estados signatarios convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas en su calidad de depositario del Tratado. La CP de la CTBTO es la organización que tiene como objetivo desarrollar los términos del Tratado hasta su entrada en vigor. Con sede en Viena (Austria), la CP cuenta con un plenario, compuesto por todos los Estados que han firmado el Tratado, y de una Secretaría Técnica Provisional (PTS) que ejecuta las decisiones de éste.

Uno de los objetivos principales de la CP es establecer un régimen de verificación global capaz de detectar explosiones nucleares subterráneas, submarinas o atmosféricas para conseguir la confianza mutua entre las naciones.

El régimen de verificación del CTBT posee unas capacidades técnicas y científicas sin precedentes. Se basa en un Sistema Internacional de Vigilancia (IMS) apoyado en cuatro tecnologías de detección (sísmica, hidroacústica, infrasónica y de radionucleidos). Los datos registrados en las estaciones son recogidos y enviados práctica-

mente en tiempo real al Centro Internacional de Datos (IDC) a través de la Infraestructura Global de Comunicaciones (GCI) que cuenta con cinco satélites geoestacionarios en uso exclusivo. El IDC también tiene su sede en Viena y su misión es recibir, procesar, analizar, informar y archivar los datos del IMS y los laboratorios asociados, proporcionando a los Estados miembros acceso a los datos y a los productos elaborados con ellos, como informes o boletines.

Participación del Instituto Geográfico Nacional en el IMS

El IMS es una red de detectores establecidos por la CP para que los Estados signatarios puedan verificar en todo momento el cumplimiento del CTBT en cualquier lugar del mundo. Compuesto por 321 estaciones con cuatro tecnologías distintas, el IMS proporciona una cobertura uniforme del planeta que permite detectar una explosión nuclear en cualquier ubicación de la Tierra, ya sea atmosférica, subterránea o submarina. Algunas estaciones están situadas en localizaciones remotas con acceso complicado que dificultan su mantenimiento, lo que es tenido en cuenta desde el diseño conceptual para extender en lo posible la vida útil de cada estación. Las estaciones son certificadas cuando se cumplen todas las especificaciones técnicas de detección, operación, autenticación y comunicación con el IDC. Las tecnologías, sísmica, infrasónica e hidroacústica (SIH) o de forma de onda, se usan para detectar la energía liberada en una explosión nuclear o en un suceso natural en la litosfera, atmósfera o hidrosfera:

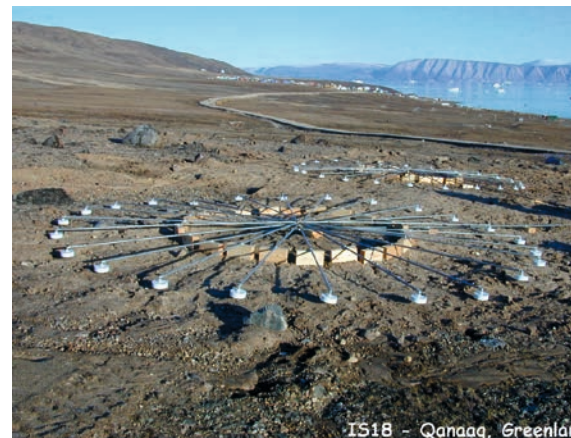
- La Red sísmica cuenta con 50 estaciones primarias que envían continuamente datos en tiempo real al IDC. Además, una red auxiliar de otras 120 estaciones, puede enviar su información a petición del IDC. Las estaciones sísmicas pueden ser de tres componentes o de malla. La estación sismológica de Sonseca (Toledo) es una de las estaciones primarias más importantes del sistema.
- La Red hidroacústica detecta las ondas sonoras producidas en los océanos. Debido a la elevada eficiencia de la propagación del sonido en el agua, bastan 11 estaciones para vigilar la hidrosfera, que supone el 70 % de la superficie terrestre. Seis de las estaciones son hidrofónicas (micrófonos submarinos) y cinco son de fase T, que en realidad son estaciones sísmicas que detectan la llegada de las ondas sonoras del mar a la costa y su conversión en evento sísmico.
- La Red infrasónica cuenta con 60 estaciones que emplean microbarómetros para detectar ondas de sonido de muy baja frecuencia. Las redes SIH son muy sensibles y proporcionan información casi inmediata al IDC. El problema es que también detectan fenómenos que no están relacionados con las explosiones nucleares y que pueden ser tanto naturales (terremotos, explosiones volcánicas o grandes movimientos migratorios de animales) como artificiales (explosiones no nucleares, accidentes aéreos, lanzamiento y reentrada de naves espaciales). En consecuencia, los datos de las redes SIH no constituyen



Estaciones sísmicas primarias del IMS.



Traslado de instrumentación hidroacústica para su instalación en Wake Island (Océano Pacífico Norte).



Estación infrasónica en Groenlandia.



Estación de detección de radionucléidos. RN15, Resolute (Canadá).

una prueba concluyente sobre el carácter nuclear de una explosión, siendo necesario utilizar los datos de las estaciones de radionucleidos para confirmar que ha habido una explosión nuclear.

Las capacidades de detección del IMS no tendrían valor en su objetivo, de verificar el cumplimiento del CTBT, si la información que se consigue en las estaciones no fuera debidamente transmitida lo antes posible a los estados signatarios. Esto se consigue mediante la Infraestructura Global de Comunicaciones (GCI), que cuenta con una red de cinco satélites geoestacionarios para la transmisión de datos desde las estaciones del IMS al IDC en Viena, desde donde se transmiten a los Estados signatarios los datos y productos elaborados por los expertos. Estos Estados signatarios pueden desarrollar Centros Nacionales de Datos (NDC) para la recepción sistemática de cualquier información del IMS y efectuar sus propios análisis independientes de la misma. En el caso de España el NDC reside en la sede central del IGN.

El análisis de los datos en el Centro Sismológico de Sonseca

El análisis de un evento se puede realizar mediante dos procesos que ofrecen información complementaria, uno de ellos basado en el dominio del tiempo y el otro en el dominio de la frecuencia. En general, la localización, profundidad, hora origen y la magnitud asimilada al evento, se determina a través del registro en tiempo real de las estaciones sísmicas que componen RSN y que en la actualidad son 117 estaciones. A estas y dependiendo de la situación del epicentro del evento, se le añaden estaciones de otras redes.

El estudio en el dominio de la frecuencia del espectro de potencia registrado da información, a través de los diagramas frecuencia-número de onda, sobre las diferentes velocidades y diferentes direcciones de llegada. La Estación Sismológica de Sonseca (Toledo) fue originalmente establecida en 1958 por las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos de América (Air Force Technical Application Center, AFTAC). Esta estación

Es una de las estaciones más interesantes de Europa por su situación y por su resolución en zonas de realización de pruebas nucleares

formaba parte de una red de estaciones sísmicas diseñadas a nivel mundial con el propósito de registrar y analizar señales que pudieran provenir tanto de terremotos como de fuentes no naturales, y así realizar una vigilancia y localización de la ocurrencia de explosiones nucleares. Su establecimiento en Sonseca fue posible gracias a un acuerdo clasificado entre el Reino de España y el Gobierno de los Estados Unidos, siendo su uso prácticamente desconocido en medios científicos de nuestro país hasta comienzo de los años 90.

Sonseca, por su situación geográfica, es una de las estaciones más interesantes de

Sala de control de la Estación Sismológica de Sonseca (a la izquierda) y Estación de campo situada a dos km del centro de recepción de datos de Sonseca (a la derecha).





Centro Nacional de Datos (NDC) en la sede del IGN en Madrid.

Europa, así como por sus resoluciones referentes a las zonas conocidas de realización pasada o presente de pruebas nucleares en: Nueva Zembla, Argelia, Nevada Test Site, Rajasthan y República Democrática de Corea.

Los elementos de control de la estación de Sonseca se encuentran ubicados en la proximidad del pueblo del mismo nombre, en la provincia de Toledo. El centro tiene una extensión aproximada de 5.000 m² y consta de un total de 5 edificios utilizados para hospedar el centro de recepción de datos, las salas de mantenimiento y el almacén de repuestos.

La estación de Sonseca respecto al diseño de su instrumentación puede clasificarse como un

array telesísmico. Está formada por 19 sensores sísmicos de corto periodo y componente vertical, distribuidos en un área de unos 80 km² con una apertura (distancia máxima entre ellos) de 10 km y un diseño en forma de hélice irregular. Además, posee una estación central de banda ancha de tres componentes. Siendo todas estas estaciones digitales. En la sede del IGN en Madrid, que es el NDC para España, se recibe en tiempo real la señal de todos los sensores de Sonseca. Allí se procede a su adquisición y procesamiento mediante un sistema de localización automático. Este sistema realiza las labores de detección de fase y extracción de parámetros (tiempo,

azimut, velocidad aparente, amplitud, periodo, frecuencia), que permite realizar asignación de fase, agrupamiento de fases y declaración de evento, y por último una localización automática. Es decir, en caso de registro de un sismo, únicamente con los datos de Sonseca, se obtienen un azimut y una distancia provisionales que facilitan el cálculo posterior preciso de los parámetros del sismo con el resto de la red en décimas de segundo. En la actualidad, la Estación Sismológica de Sonseca, está certificada como *Estación Primaria del IMS* de la CTBTO, desde noviembre de 2001. Desde 2015, la Estación Sismológica de Sonseca también constituye el Centro de Respaldo de

Ensayos nucleares reales y de preparación.....

Desde la creación de la CTBTO, se han venido realizando ejercicios a nivel mundial para probar la capacidad del sistema en la detección de pruebas nucleares. España ha participado activamente, consiguiendo resultados extraordinarios, situándose siempre entre los primeros lugares del mundo. En la actualidad se realizan los llamados *NDCs Preparedness Exercises*, *NPEs*, que son ejercicios de preparación de los Centros Nacionales de Datos, consistentes en la simulación de una violación ficticia del CTBT con objeto de incrementar la conciencia y preparación de las tareas que tienen encomendadas. Estos ejercicios están destinados a ayudar a evaluar la efectividad de los procedimientos aplicados en los NDCs, así como la calidad, integridad y utilidad de los productos del IDC. Los NPEs realizados en ediciones anteriores han demostrado ser una herramienta indicativa eficiente para probar el rendimiento del sistema de verificación y de sus elementos. A partir de los datos procedentes de las redes en forma de onda (sísmica, de infrasonidos e hidroacústica) del IMS, la CTBTO recibe información prácticamente en tiempo real de explosiones que pueden haber sido generadas por

el hombre pero que podrán ser solo clasificadas como nucleares una vez se hayan detectado los aerosoles radiactivos correspondientes. Como ejemplo se muestra el evento acaecido en la República Democrática de Corea en el año 2013. A partir de los datos sismológicos, se han localizado los lugares donde se realizaron los ensayos y definido la elipse con un error de $\pm 9,1$ km o 214 km².

Ensayo del 12 de febrero de 2013

Como indica la propia organización: *El 12 de febrero fue detectado inmediatamente un evento en Corea del Norte de manera fidedigna y precisa en 94 estaciones sísmicas y 2 estaciones de infrasonidos del sistema de vigilancia internacional de la CTBTO. Los primeros datos estuvieron a disposición de los Estados miembros de la CTBTO en menos de 1 h y antes del anuncio por parte de Corea del Norte de la realización de un ensayo nuclear.*

El 23 de abril de 2013 la CTBTO confirmó y publicó la detección de gases nobles en su red de estaciones de radionucleidos, indicando que dichos positivos podrían estar relacionados con la información comunicada por la República

Democrática de Corea que había realizado ensayos nucleares el 12 de febrero de 2013.

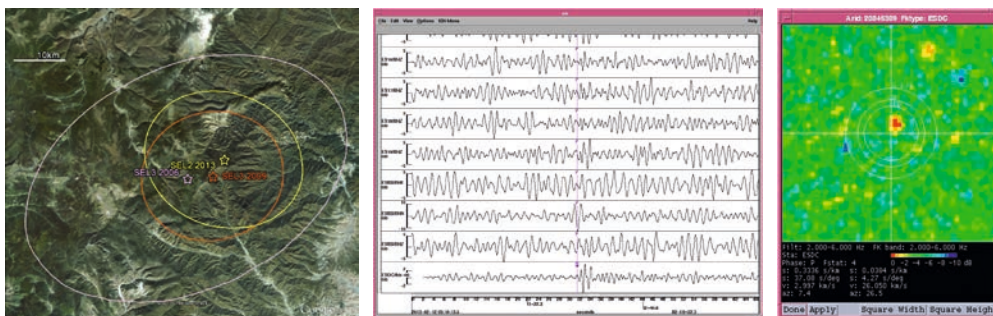
Los datos registrados que se muestran en la figura siguiente son los recogidos por las estaciones del *array* de Sonseca de la prueba nuclear de 12 de febrero de 2013.

Para esa prueba y en ese año, la localización era muy difícil por la debilidad de la señal. La explosión está prácticamente en la zona de sombra para el *array* de Sonseca. En relación con la señal obtenida de este suceso en la figura se muestra el análisis frecuencia-número de onda para este evento. A partir del análisis de las señales obtenidas es posible determinar los datos siguientes:

- Lentitud (inversa de la velocidad): 0.0384 s·km⁻¹
- Velocidad aparente: 26.05 km·s⁻¹
- Azimut: $26^{\circ}.5$

Es importante indicar que esta prueba se detectó en 94 estaciones sísmicas de CTBTO, determinándose que la hora origen: $02^{\text{h}} 57^{\text{m}} 51^{\text{s}}$ UTC y una magnitud de 5.0. La localización por el IMS se realizó finalmente con 25 estaciones y un error de ± 16.2 km, y fue la siguiente:

- Latitud: $41^{\circ}.313\text{N}$
- Longitud: $129^{\circ}.101\text{E}$



01. Zona de ensayos nucleares utilizada por la República Democrática de Corea. La figura muestra los epicentros de los ensayos de 2006, 2009 y 2013. **02.** Registro en la Estación Sismológica de Sonseca de la prueba nuclear de República Democrática de Corea de 12 de febrero de 2013. **03.** Diagrama frecuencia-número de onda para la prueba nuclear de 12 de febrero de 2013.



Visita del Secretario Ejecutivo de la CTBTO, Dr. Lassina Zerbo, al Centro Sismológico de Sonseca, junto al director de la Red Sísmica Nacional, Emilio Carreño, y el jefe del centro, Alfonso Villamayor, en noviembre de 2018.

efectividad en el cumplimiento del Tratado. Para tal cometido, cuenta con un amplio abanico de tecnologías de verificación del IMS, datos y productos del IDC. En consecuencia, ofrece un alto potencial a los Estados miembros, quienes pueden emplear dichos recursos para otras aplicaciones civiles o científicas, contribuyendo al desarrollo sostenible de la seguridad del ser humano y del medioambiente. Las aplicaciones civiles que se presentarían como beneficiosas para los Estados miembros pertenecientes al CTBT serían, por ejemplo, el empleo de las estaciones de vigilancia sísmica para monitorizar los posibles terremotos o eventos vulcanológicos. Lo mismo ocurriría con los tsunamis y la vigilancia hidroacústica, la vigilancia infrasónica y observación de meteoritos y de los desastres radiológicos por parte de las estaciones de vigilancia de radionucleidos. ■

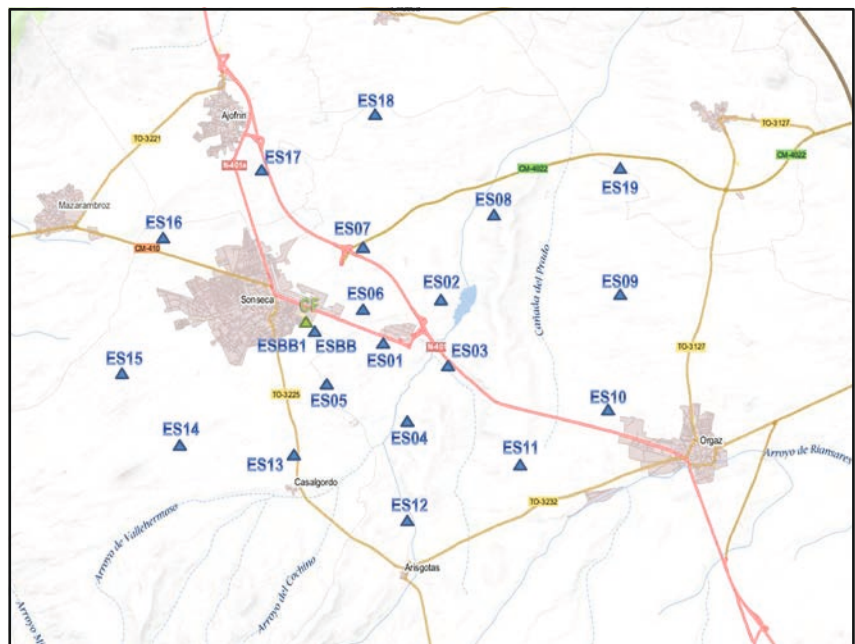
la RSN, de manera que, en caso de pérdida de las señales de vigilancia sísmica en España, la Estación funciona automáticamente para alertas sísmicas y del Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis.

El procedimiento analógico de análisis de las señales procedentes de explosiones, que se lleva a cabo a través de los datos registrados en la estación de Sonseca, se basa en que el valor del retardo temporal (la diferencia en tiempo con el que se registran la señal sísmica en los diferentes sensores) depende de la dirección del frente de onda (ángulo con el que se recibe la señal sísmica en los diferentes sensores). La idea consiste en la mejora de la relación señal-ruido mediante técnicas de análisis ya usadas en radioastronomía, radar, acústica o sonar. La estación debe estar formada por 3 o más sensores (1, o, 3 componentes), una apertura o distancia máxima entre estaciones no superior a los 100 km, instrumentación uniforme y tiempo común, un centro de

recepción de datos en tiempo real y un registro individual de los canales de datos para su posterior procesamiento.

Aprovechamiento del sistema de vigilancia en otros ámbitos

El propósito primario de la CTBTO es la verificación y la



Configuración del array de Sonseca.

Ingeniería

■ Texto: ANSELMO FERNÁNDEZ GARCÍA y RAFAEL ABELLA MELÉNDEZ. Observatorio Geofísico Central.
JOSÉ MANUEL SERNA PUENTE y JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PÉREZ. Centro de Desarrollos Tecnológicos. Subdirección
General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales.
ESTHER AZCUE INFANZÓN. Área de Geodesia. Subdirección General de Geodesia y Cartografía



El Mitma en las zonas polares

Ingeniería geográfica extrema

Las regiones polares albergan parte de los secretos indispensables para comprender la evolución de nuestro planeta. En ellas se originan importantes procesos que posteriormente afectan al resto de la Tierra y sólo un análisis profundo de las variaciones en sus condiciones geodésicas y geofísicas hará posible una detección temprana de los efectos de dichas variaciones y permitirá el establecimiento de estrategias de protección civil y medioambiental.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN),

con competencias en geodesia espacial y geodinámica y garante del Sistema Geodésico de Referencia Oficial, está aumentando de manera considerable su papel y actividad en los entornos polares, contribuyendo a una mejor monitorización del clima y a una georreferenciación cada vez más precisa. Las condiciones geofísicas de las zonas antárticas, por su gran actividad volcánica, han motivado también que la presencia del IGN sea necesaria adquiriendo mayores responsabilidades y por parte de las investigaciones en las regiones polares se centran en el estudio del clima (paleoclima) ya que las capas de hielo esconden información sobre sus cambios durante miles de años. Pero recientemente, los estudios polares también nos ofrecen una visión sobre nuestro futuro. La fusión del hielo afecta directamente a la altura del nivel medio de los océanos, a la circulación de corrientes oceánicas, a la temperatura global, a la migración de las especies, etc. Se prevén subidas de temperatura de hasta cinco grados y del nivel

del mar de hasta 70 cm para el fin de este siglo, según estimaciones conservadoras. El cambio climático en las regiones polares va a tener además un impacto socioeconómico importante. De continuar la fusión de los casquetes polares se producirá un aumento de la accesibilidad de las regiones árticas, surgiendo nuevas rutas entre Europa y Asia, facilitando oportunidades económicas para el turismo, el transporte y la pesca. Ya sea por razones estratégicas ante el cambio global o por intereses comerciales, la presencia de Europa en los polos y, por extensión, de España, está más que justificada.

La presencia de nuestro país en las regiones polares es especialmente importante en la Antártida puesto que disponemos de dos Bases Antárticas (BAE) en la isla Livingstone "BAE Juan Carlos I" y otra en la isla Decepción "BAE Gabriel de Castilla". El Comité Polar Español (CEP), que preside el Ministerio de Ciencia e Investigación, tiene a su cargo la gestión de las actividades en las zonas polares. El Instituto Geográfico Nacional, en base a sus competencias, ha iniciado actividades en la Antártida y en el entorno ártico, aumentando nuestra cobertura

global y llevando nuestros estudios y desarrollos a los extremos del mundo.

Estación GNSS en la Antártida

Durante los meses de febrero y marzo de 2020 se desarrollaron en la cima del monte Reina Sofía (isla Livingston, Antártida) los trabajos de instalación de una nueva estación permanente GNSS que formará parte de la Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) del Instituto Geográfico Nacional. Esta estación ayudará a mejorar el sistema de referencia geodésico global y sus datos podrán ser usados en distintas áreas de aplicación, como la geofísica, meteorología o glaciología, permitiendo el mejor conocimiento y estudio de la zona.

Los sistemas de navegación global por satélite (GNSS, Global Navigation Satellite System) están constituidos por un conjunto de satélites en órbitas medias que permiten la determinación de posiciones de puntos de la superficie terrestre y su entorno en cualquier tiempo y en cualesquiera condiciones meteorológicas. El GNSS se ha convertido en una herramienta esencial en el ámbito

Aurora boreal sobre el Observatorio de Ny-Ålesund.



de la geodesia, es decir, en el estudio de la forma y figura de la Tierra y sus variaciones en el tiempo. Redes de estaciones permanentes distribuidas por todo el mundo observan de forma continua y sus datos son clave en multitud de aplicaciones y en especial en la definición de los sistemas geodésicos de referencia. Ejemplos de redes GNSS son: la red internacional *International GNSS Service (IGS)*, con más de 500 estaciones distribuidas homogéneamente por todo el mundo y base para la materialización del sistema de referencia internacional; la red europea *European Permanent Network (EPN)* con más de 350 estaciones por toda Europa y base para la materialización del sistema de referencia europeo, o la red ERGNSS del IGN, base del Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real en España, que cuenta con 120 estaciones distribuidas por todo nuestro país, algunas de titularidad propia y otras compartidas con comunidades autónomas y Puertos del Estado.

La homogénea distribución de estas estaciones por todo el planeta es fundamental, pues sus datos son utilizados para la obtención de productos y servicios globales. Además de contribuir a la defini-

ción de los sistemas de referencia como se ha citado anteriormente, sus datos son usados para desarrollar, por ejemplo, modelos de la ionosfera o el cálculo de órbitas de satélites. Por ello, y dada la falta de densidad de estaciones en la región antártica, la instalación de la nueva estación será una contribución muy importante tanto para el estudio y control del entorno local de la estación como para la mejora de los modelos y productos globales.

Trabajos de instalación durante la campaña

Un equipo formado por personal del Instituto Geográfico Nacional, de la Escuela de Guerra del Ejército de Tierra y de la Universidad Politécnica de Madrid, ha trabajado conjuntamente durante la segunda fase de la campaña antártica para la instalación y puesta a punto de la estación. Los trabajos a realizar se dividieron en dos fases. En la primera, el trabajo se centró en la búsqueda del emplazamiento idóneo para la estación: con horizonte despejado, estable geológicamente, con visibilidad a puntos de interés y cercana a fuentes de alimentación eléctrica e Internet.

Durante la segunda fase, una vez elegido el emplazamiento, tuvieron lugar los trabajos de monumentación (anclaje del mástil que sostendrá la estación a la roca), nivelación e instalación de la estación.

Durante esta campaña se han efectuado observaciones de más de 15 días, posteriormente analizadas en postproceso, y se han medido los parámetros de consumo energético de la estación que permitirán en futuras campañas adaptarla para que esté operativa todo el invierno antártico, característica indispensable para las estaciones permanentes.

Aplicaciones e importancia de la estación

La nueva estación permitirá mejorar el sistema geodésico de referencia global y será una más entre las 120 estaciones GNSS de la ERGNSS, imprescindible como soporte a la navegación y posicionamiento terrestre. Se integrará además en la red internacional IGS. Con ella se podrá contar con datos continuos en un entorno de nieve permanente cercano al mar, permitiendo la investigación aplicada en condiciones que en España son muy poco frecuen-





Nivelación del clavo de referencia de la estación.

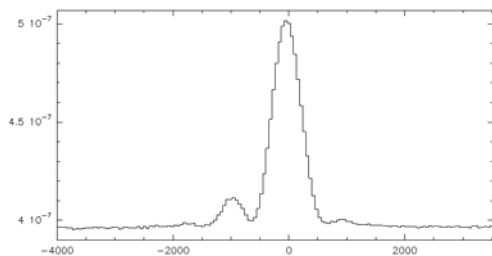


Estación permanente GNSS en la cima del Monte Reina Sofía, denominada BJCI.



Radiotelescopios gemelos tipo VGOS del Observatorio de NMA en Ny-Ålesund (Svalbard, Noruega).

```
43.2 CAS-A VLBIX N13M-POWR 0:21-NOV-2017 R:21-NOV-2017
RA: 23:23:24.72 DEC: 58:48:54.0 Eq 2000.0 Home 0.0° Offs: +0.0 +0.0
Unknown tou: 0.000 Tsys: -1. Time: 1.67E-02min Et: 69.2
N: 142 ID: 67.00 AO: 0.000 Da: -53.01
FG: 8400.00000 Df: 1.0000E+09 Pos. Ang.: 90.00 Eq
```



Observación de Casiopea-A en banda X con el receptor tribanda en el primer radiotelescopio de NMA en Ny-Ålesund.

tes y se registran en escasas y muy concretas ubicaciones. Estos datos se utilizarán además para la elaboración de series temporales que contribuyan al estudio de la geodinámica de la zona.

Entre otros objetivos también se pretende el empleo de técnicas como la reflectometría GNSS para medir tanto la variación de la capa de nieve como la del nivel del mar, aspectos críticos en la monitorización del cambio climático. Se trata de una nueva técnica de detección remota que utiliza las señales GNSS reflejadas en la superficie terrestre y que se puede utilizar para estudios científicos relacionados con la altura de la superficie del mar, el estudio de los vientos oceánicos, los estudios de la cobertura de hielo marino y de la superficie nival y los cambios en la vegetación y humedad del suelo, entre otros. Esta técnica se está empleando en diferentes estaciones de la península ibérica, pero no es posible generalizarla por la poca casuística de las condiciones climáticas extremas.

Sus datos serán de utilidad también en aplicaciones meteorológicas, campo en el que las medidas GNSS presentan gran sensibilidad en función al contenido de vapor de agua que está presente en la atmósfera. El cálculo del retraso que sufren las señales en su propagación, con suficiente celeridad y precisión, puede servir para la mejora de los modelos de predicción meteorológica. El IGN cuenta con experiencia en dicho campo, participando como centro de análisis del proyecto europeo *Eumetnet EIG GNSS Water Vapour Programme* (E-GVAP) estimando en intervalos horarios y a tiempo casi real el retraso troposférico de las señales GNSS, que posteriormente se utiliza para la mejora de los modelos matemáticos de predicción.

Finalmente, los datos de la estación también podrán utilizarse para testear el sistema de geoposicionamiento europeo Galileo en latitudes extremas. El sistema Galileo, en el que el Mitma participa activamente, tiene la intención de ofrecer posicionamiento fiable en latitudes cercanas a los $\pm 80^\circ$, y se da la circunstancia de que la red GNSS todavía no dispone de estaciones con una latitud similar a la señalada.

La tecnología del IGN de norte a sur. Del Ártico al Antártico.

En los polos norte y sur ya se dispone de tecnología desarrollada en el IGN para la observación de la Tierra. El 6 de enero de 2015 se firmó un acuerdo de cooperación entre el IGN y la Autoridad Cartográfica Noruega (*Norwegian Mapping Authority, NMA*) con el propósito de intercambiar información en los campos de la geodesia y la cartografía, puesto que ambos institutos tienen intereses comunes y participan en proyectos internacionales relacionados con estos campos, como VGOS (*VLBI Global Observing System*). Este acuerdo, y su posterior *Memorandum of Understanding* (MoU), que recoge los detalles del mismo, ha creado un perfecto modelo de sinergia entre ambas instituciones. De una parte, el IGN se comprometió a construir dos receptores de banda ancha tipo VGOS para los radiotelescopios gemelos que NMA ha construido en el Observatorio de Ny-Ålesund, en el archipiélago de las islas Svalbard, a $78,9^\circ$ de latitud norte, siendo éste el lugar habitado más cercano al polo norte. Además, el compromiso incluye el suministro del *software* de control de los radiotelescopios y de los receptores. De este modo, NMA suplía la carencia de



Radiotelescopio de 9 metros de la estación GARS en la Antártida.

un laboratorio con capacidades tecnológicas para el desarrollo de sus propios receptores.

De otra parte, NMA además de asumir los costes para la instalación y puesta en marcha de los receptores, proporciona las licencias necesarias para el uso del *software* "WHERE", desarrollado por la propia NMA, para el análisis de datos de VLBI y SLR (*Satellite Laser Ranging*), e imparte cursos de formación sobre dicho *software* al personal del IGN.

Mientras se construía en Yeves el primero de los receptores VGOS para NMA, se prestó un receptor tribanda (S/X/Ka) para las pruebas de verificación y calibración y para las primeras observaciones del primero de los radiotelescopios gemelos. Por este motivo, en abril de 2017, dos ingenieros del Observatorio de Yeves se desplazaron a Ny-Ålesund para la instalación y puesta en marcha de este receptor.

El receptor quedó correctamente instalado y funcionando, y se pudieron realizar la mayoría de las pruebas mencionadas. Sin embargo, fue necesario volver en junio y en noviembre de 2017 para sustituir los amplificadores de

banda X que, en ambas ocasiones, habían sido destruidos por los radares de los cruceros que transportan turistas en verano a través del fiordo en cuya costa se encuentra el observatorio.

Ya en marzo 2018, dos ingenieros del IGN viajaron nuevamente a Ny-Ålesund para trasladar el receptor tribanda al segundo radiotelescopio gemelo, y realizar sobre éste las pruebas análogas a las hechas sobre el primero. En septiembre de 2019, dos ingenieros y un técnico del IGN instalaron y pusieron en marcha satisfactoriamente el primero de los dos receptores de banda ancha tipo VGOS en el primer radiotelescopio gemelo.

La Agencia Federal de Cartografía y Geodesia de Alemania (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*, BKG) es la institución homóloga al Instituto Geográfico Nacional de España y, al igual que con NMA, se tienen intereses comunes y se participa en proyectos internacionales, como VGOS. El BKG opera la Estación Geodésica Fundamental de Wettzell, el Observatorio Geodésico Argentino-alemán (AGGO) y la estación de recepción antártica

alemana (German Antarctic Receiving Station, GARS) de la base O'Higgins, esta última fundada en 1991, en colaboración con el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), y situada en el islote Isabel Riquelme, frente al cabo Legoupil de la península antártica.

El instrumento más importante en la base O'Higgins es un radiotelescopio de 9 metros de diámetro diseñado para soportar las extremas condiciones ambientales de la Antártida. Es usado para la adquisición de datos de satélites y su telecomando, y para medidas geodésicas. Para esto último contaba con un antiguo receptor en bandas S (2.2 – 2.37 GHz) y X (8.1 – 8.5 GHz) de una sola polarización.

En el año 2015, el BKG decidió llevar a cabo una actualización completa de este receptor, y de ese modo dotarlo de mejores prestaciones y mayores capacidades. Para ello, contrató estos trabajos al Observatorio de Yeves (por medio del Centro Nacional de Información Geográfica) que asumió el desarrollo, supervisión, instalación y puesta en marcha de este receptor renovado en la Antártida.



01



02



03



04

01. Personal del IGN en Ny-Ålesund en septiembre de 2019. **02.** Receptor instalado en el interior del radiotelescopio de la estación GARS. **03.** Personal del IGN y la UGR descargando datos del sensor sísmico instalado en la Playa de Colatinas, Isla Decepción. Fuente: *Ejército de Tierra. Diario de Operaciones Campaña Antártica 2019-2020.* **04.** Imagen obtenida con un prototipo de cámara web de bajo coste para el seguimiento de la actividad volcánica desarrollada en el IGN.

La geofísica del IGN en la Antártida: vigilando los fueles de Neptuno

Durante la Campaña Antártica Española 2019-2020, el Observatorio Geofísico Central (OGC) del IGN, ha tenido una doble presencia, por una parte, con su participación en el proyecto de Vigilancia Volcánica en la isla Decepción y por otra participando en el proyecto Bravoseis, liderado por la Universidad de Granada.

Vigilancia Volcánica en isla Decepción

La vigilancia volcánica de la isla Decepción es imprescindible para la apertura de la Base Antártica Española Gabriel de Castilla y el desarrollo de la actividad científica y técnica (y turística) internacional en la isla, por tratarse un volcán activo. De hecho, su alto nivel de actividad le clasifica como uno de los volcanes más activos de la Antártida, con un registro de más de 20 erupciones explosivas en los últimos dos siglos, la última en 1970. Además de esta actividad eruptiva se han registrado numerosos episodios de "unrest" volcánico (desviación del comportamiento de fondo de un volcán, indicativo de actividad en su interior y que podría ser preludeo de una erupción) en 1992, 1999 y 2014-2015. El riesgo asociado a su actividad es evidente, más aún, si tenemos en cuenta que durante los últimos episodios eruptivos acaecidos entre los años 1967 y 1970, dos bases científicas pertenecientes a Chile y Reino Unido fueron seriamente dañadas.

La vigilancia volcánica del volcán de la isla Decepción ha venido siendo desarrollada desde la década de los noventa del siglo XX por la Universidad de Cádiz

(UCA), la Universidad de Granada (UGR) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), bajo la coordinación el Comité Polar Español (CPE). Esta vigilancia se lleva a cabo mediante distintas series de observaciones: geodésicas, sismológicas, termométricas y sobre las variaciones en el nivel del mar, constituyendo series históricas. La presencia de personal del IGN en la última campaña supone la incorporación de la institución a dichas labores de vigilancia y ha permitido, gracias a la colaboración de las instituciones anteriormente citadas, conocer de primera mano la instrumentación y metodologías que vienen siendo utilizadas, así como las dificultades del trabajo en el entorno antártico. Además, se han podido conocer las instalaciones y medios tanto materiales como personales que el Ejército de Tierra pone a disposición de los participantes en la campaña. En los próximos años, la actividad y la responsabilidad del IGN se verán acrecentadas, ya que se hará cargo de las labores de inspección, valoración de actividad y alerta volcánica en la isla Decepción mediante la suscripción del consiguiente acuerdo entre el Mitma y el Ministerio de Ciencia e Innovación, a través del cual, el Mitma pasará a formar parte del Comité Polar Español (CPE). El IGN garantizará el mantenimiento de las series temporales hasta ahora existentes y participará en las decisiones de establecimiento y comunicación de apertura de la base en las campañas presenciales del verano austral. Esta nueva responsabilidad, precisará incrementar la presencia de personal del IGN en la isla y el robustecimiento de la red de vigilancia. ■

Proyecto Bravoseis.....

El IGN también está participando en el proyecto antártico español Bravoseis liderado por Universidad de Granada, que cuenta con un gran respaldo internacional, con personal provenientes de distintos centros de investigación tanto nacionales (CSIC, IGME, UCM, Universidad de Jaén, entre otros) como internacionales GFZ, NOAA, NASA, Universidad de Washington, INGV, ...). El objetivo de este proyecto es comprender la estructura cortical y el régimen tectónico en la región de las Shetland del Sur (Antártida), representar la estructura de los reservorios magmáticos y sistemas de alimentación relacionados con las estructuras submarinas de la cuenca central del Bransfield, e investigar los procesos internos que ocurren en los volcanes submarinos, usando análisis de la actividad sísmo-volcánica. Por otra parte, va a permitir determinar el nivel de actividad volcánica que presentan los edificios submarinos del estrecho de Bransfield, lo cual, aparte del interés científico, supone un beneficio directo para la seguridad de las operaciones científicas y turísticas en la región donde se encuentran las dos Bases Antárticas Españolas.

El proyecto ya ha llevado a cabo tres campañas antárticas entre 2017 y 2020. Durante el primer año se llevó a cabo la instalación de 8 estaciones sísmicas terrestres de banda ancha con el apoyo logístico de los buques de investigación oceanográfica Sarmiento de Gamboa y Hespérides. Se instalaron una estación en las inmediaciones de la Base Antártica Española Gabriel de Castilla, dos estaciones en la isla Livingston, (cercañas del Campamento Byers y en la Base Juan Carlos I), y otra estación en la isla Rey Jorge, islas del archipiélago de las Shetland del Sur. Paralelamente se instalaron dos estaciones en la península antártica, una en las inmediaciones de la Base Antártica Argentina Primavera en la Caleta Cierva, y una segunda en la Base Antártica Chilena O'Higgins. En las cercanías de la península antártica se instalaron dos estaciones más en la isla Torre y en la isla Astrolabio.

Durante el segundo año se desplegó el resto de la instrumentación, que consistía en 7 estaciones sísmicas terrestre de banda ancha en las islas Snow, Media Luna, Robert, Gurruchaga,

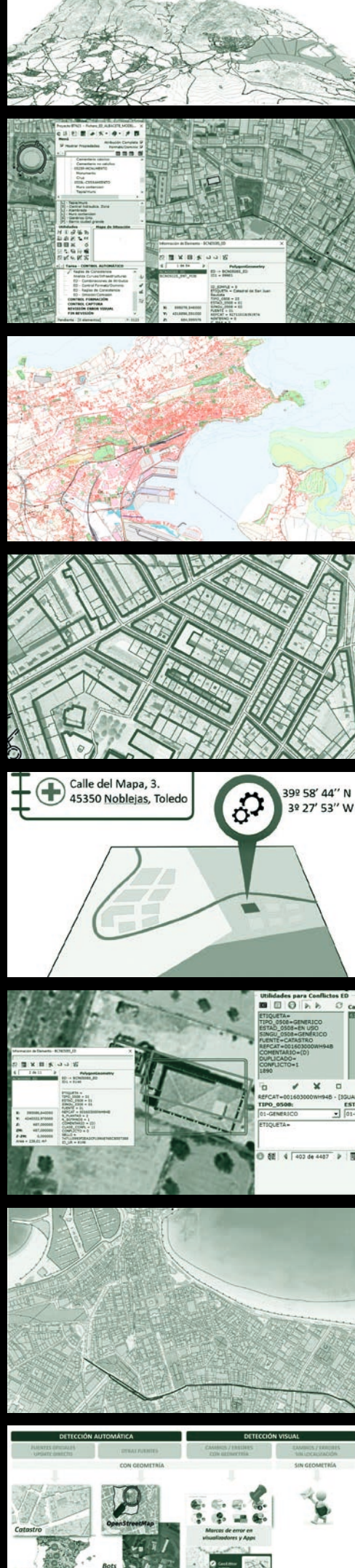
Pingüino y dos más en la isla de Rey Jorge. Con todas ellas se tenía una buena cobertura para estudiar la sismicidad regional. En paralelo a las estaciones sísmicas terrestres, se instalaron 6 hidrófonos, 20 OBS (Ocean Bottom Seismometers, estaciones sísmicas que se colocan en el fondo del océano) en la cuenca central del estrecho de Bransfield donde se encuentran los volcanes submarinos objeto de estudio de dicho proyecto. Una vez instalados todos los equipos, tanto terrestres como marinos, se dejaron registrando durante todo un año para tener una idea de la actividad sísmica natural de la región, habiéndose registrado una gran cantidad de terremotos.

Durante la tercera y última campaña hasta el momento, se realizó una campaña de sísmica activa, que consiste en la realización de una serie de explosiones controladas de aire comprimido. Estas explosiones se realizaron desde el buque Hespérides. Con el registro de dichas explosiones por las diferentes estaciones se podrá estimar la estructura cortical de la zona que es el objetivo final del proyecto.



Tecnología

■ Texto: GEMA MARTÍN-ASÍN, GONZALO MORENO VERGARA, LORENZO CAMÓN SOTERES.
 Área de Bases de Datos Topográficas de la Subdirección General de Geodesia y Cartografía.

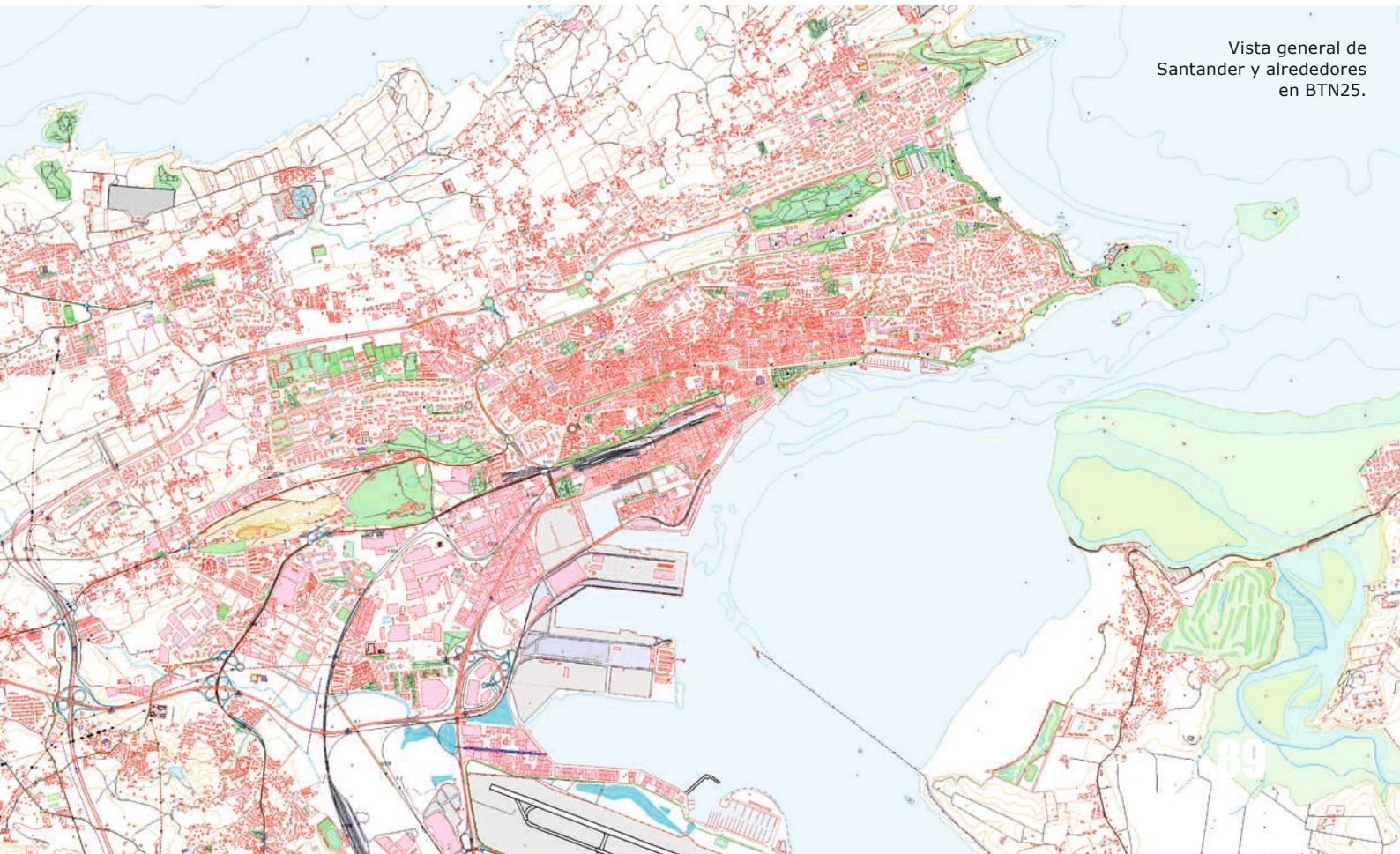


Valor añadido a través de las nuevas tecnologías

La transformación digital en las bases de datos topográficas

La implantación cada vez más generalizada del uso de bases de datos con componente geográfica, así como la paulatina impregnación de la cultura de la geolocalización, está suponiendo una transformación en el almacenamiento, gestión y explotación de la información geoespacial. Los elementos del mundo real pasan de modelarse como meras representaciones geométricas, cuyo único fin es cartográfico, a ser objetos geográficos con entidad propia. A estos se les asignan identificadores únicos y gestión de ciclo de vida, lo que permite la interacción de objetos de diferentes bases de datos y la multiplicación, por tanto, de las posibilidades de explotación; en definitiva, se facilita la transformación digital.

Vista general de Santander y alrededores en BTN25.



Introducción

Una base topográfica es una abstracción y modelización digital del territorio que recoge diversos elementos físicos como el relieve, las comunicaciones, la hidrografía, las entidades de población, etc., mediante estructuras de datos vectoriales (sucesión de coordenadas geográficas) que almacenan geometría bidimensional o tridimensional de tipo punto, línea y polígono. Las bases topográficas están especialmente diseñadas para la gestión y análisis de información geográfica mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), pero también permiten la derivación de multitud de productos cartográficos, así como la exportación a otros formatos de datos, por ejemplo, a los utilizados habitualmente por las ingenierías.

Así, la Base Topográfica Nacional (BTN25) constituye el Sistema de Información Geográfica de mayor resolución, tridimensional (es decir, incluyendo la altitud), que cubre de manera consistente y homogénea todo el ámbito del Estado con información topográfica de carácter general.

En un primer momento, es fruto de las evoluciones aplicadas a la información digital del Mapa Topográfico Nacional 1:25 000 (MTN25), las cuales tienen dos hitos principales:

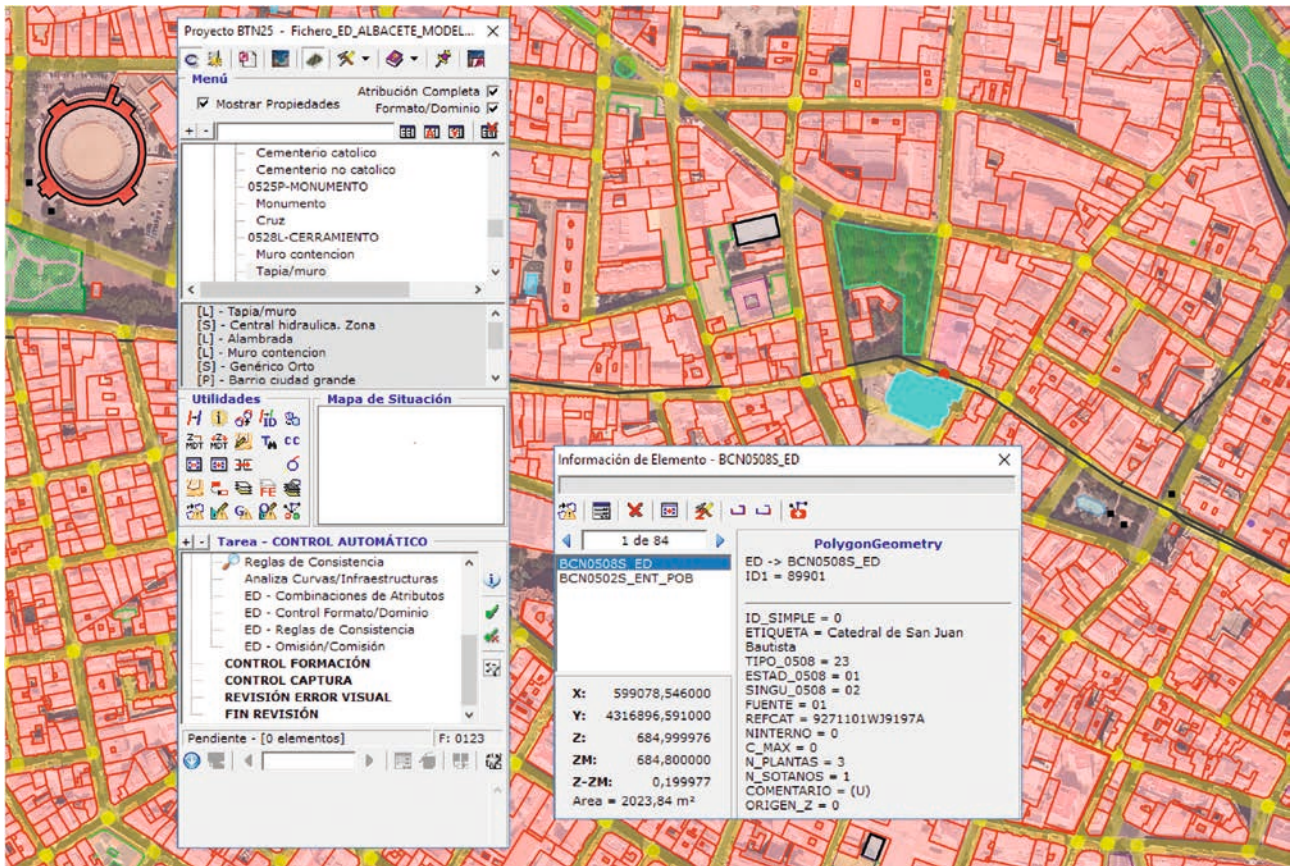
- La Base Cartográfica Numérica 1:25 000 (BCN25), base de datos geográfica que toma las geometrías del MTN25 y codifica sus elementos para su explotación mediante procesos informáticos. Carecía de tercera dimensión y heredaba la redacción cartográfica aplicada sobre el MTN25, por lo que parte de los elementos no estaban siempre en posición verdadera y, por tanto, complicaba mucho la explotación no orientada a la propia producción de cartografía.
- La creación de la BTN25, en 2005, tomando como base los ficheros de restitución fotogramétrica (captura de datos desde pares estereoscópicos de fotografías aéreas), de escala aproximada 1:12 000, sobre los que no se han aplicado procesos de redacción cartográfica, lo que permite conseguir una base de datos

de mayor resolución y con información tridimensional. Además, se asegura la continuidad topológica y semántica (continuidad analítica en coordenadas y de relaciones espaciales así como de sus atributos) de las entidades geográficas a lo largo de toda su extensión, y se va dotando cada vez de más información y de identificadores que permiten una explotación más inteligente y versátil.

Recientemente, se han abordado los trabajos para redefinir el modelo y la estructura de tablas de la Base Topográfica Nacional. El objetivo ha sido buscar una mayor coherencia con los modelos definidos, por un lado, por la Comisión Especializada de Normas Geográficas del Consejo Superior Geográfico (CSG), en la denominada Base Topográfica Armonizada (BTA), y, por otro lado, con las guías de implementación del Consejo Directivo de la Infraestructura de Información Geográfica de España (Codiige), órgano también del CSG. A su vez, se ha buscado una organización más lógica para la actualización y explotación como base de datos.



Detalle en perspectiva de la información tridimensional de la BTN25.



Entorno de trabajo de la BTN25.

Este nuevo modelo empieza a utilizarse en 2020 con la puesta en marcha de la Base de Datos de Información Geográfica (BDIG), que supone un cambio de paradigma en la forma de actualización de la información.

Modo de actualización de la BTN25

Desde que se consolida la primera versión de la BTN25, se abandona la captura mediante restitución fotogramétrica por otras fuentes de datos preexistentes, lo que permite abaratar costes de producción, al no requerir ningún *hardware* especializado ni operadores particularmente cualificados.

Además, se facilita la realización de los trabajos únicamente mediante *software* de SIG, lo que posibilita actualizar directamente sobre un modelo de base de datos e introducir un conjunto de reglas topológico-semánticas para formalizar el denominado «conocimiento tácito» en «conocimiento explícito», a semejanza de otros proyectos internacionales como el MGCP (Multinational Geospatial Cooperative Program) de la OTAN. En efecto, muchos de los controles de calidad que se realizaban manualmente pasan a hacerse en términos de análisis espacial, por ejemplo, una carretera no puede pasar por encima de un edificio, salvo que esté sobre un puente o en túnel. En definitiva, esto permitió

asegurar la integridad y coherencia espacial de la BTN25 de manera automática.

- Fuentes principales de datos

Descartada la restitución esteoscópica para la captura, el soporte geométrico y de compleción de elementos topográficos presentes en el territorio son las ortofotografías aéreas (imágenes tratadas para que se pueda medir directamente sobre ellas) y los modelos digitales de elevaciones generados a través del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), productos clave para realizar las actualizaciones, que garantizan una calidad métrica más que suficiente para los propósitos de la BTN25.

PNOA se enmarca, a su vez, dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT), que integra diversos productos y servicios en el ámbito de la Fotogrametría, la Teledetección y la Ocupación del Suelo. Tiene como objetivo la obtención de coberturas periódicas de todo el territorio nacional con vuelos fotogramétricos, logrando modelos digitales del terreno y ortofotos digitales en color. También se encuentra dentro de este plan el proyecto PNOA-LiDAR, cuyo objetivo es cubrir todo el territorio con nubes de puntos con coordenadas *x*, *y*, *z* obtenidas mediante sensores LiDAR aerotransportados, con una densidad mínima de 0,5 puntos por metro cuadrado. Estos datos constituyen una de las fuentes principales del proyecto.

Además, PNOT incluye otros planes nacionales: el Plan Nacional de Teledetección (PNT), que se ocupa de la obtención y el tratamiento de imágenes de satélite sobre el territorio nacional de alta, media y baja resolución, y el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (Siose), que consta de una base de datos vectorial sobre ocupación del suelo.

A su vez, la BTN25 utiliza otras muchas fuentes de datos para dotar a sus objetos geográficos de la información semántica requerida (atributos) y para garantizar su compleción. Entre ellas, cabe mencionar el Nomenclátor Geográfico Básico de España (NGBE), base de datos de topónimos producida en el IGN; los itinerarios (camino, vías verdes, pistas forestales etc.) que se recopilan en el visualizador Naturaleza, Cultura y Ocio (NCO), también del IGN; así como fuentes proporciona-

das por otras AA. PP. como los Espacios Naturales Protegidos en España; el Inventario de Presas y Embalses; las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR); la Guía de playas; el Registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica; el Registro de Bienes de Interés Cultural; el Registro de Ayuntamientos; el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT); el Registro Estatal de Centros Docentes no Universitarios (RCD); el Catálogo Nacional de Hospitales; edificios y construcciones de los catastros nacionales, y un largo etcétera.

Así, en su protocolo de trabajo, la BTN25 explicita toda la serie de tareas con indicación de las fuentes de información que se han de consultar y los procesos a realizar para asegurar la correcta ejecución de los trabajos.

• Estrategia de actualización

En cuanto a la estrategia para abordar las actualizaciones, hasta no hace mucho se continuaba con la realización de las tareas por hojas o por bloques de hojas del MTN25 (por ejemplo, las que componen una provincia) hasta conseguir cobertura completa de toda España; metodología que ha demostrado ser muy productiva para la ejecución de tareas masivas en todo el territorio. Sin embargo, una vez que se tiene un producto con un grado alto de actualización, el trabajo por bloques deja de ser tan ventajoso, ya que se pueden haber producido cambios importantes en una zona del territorio mientras se está trabajando en otra. Surge aquí la necesidad de cambiar de estrategia y pasar a un modo de actualización por cambios.

Actualización orientada a cambios

Así pues, se debe utilizar otra aproximación que aproveche todo el ecosistema digital existente para deducir cambios sobre el territorio de la forma más continua posible sin limitaciones de tiempos de apertura y cierre de otros proyectos. Se puede decir que el objetivo es que «el reloj de la base de datos esté lo más próximo posible al reloj del territorio». Para ello se crea en 2017 el programa BDIG, articulado en tres proyectos:

- Detección de cambios
- Gestión de órdenes de trabajo.
- Entorno de actualización BDIG.

Es decir, lo primero que hay que saber es qué cambios se producen en el territorio. Aquí se abre un amplio abanico de posibilidades y entran en juego los denominados motores generadores de cambios, entre los que se pueden señalar los siguientes:

- *Motor de detección de redes sociales.* Es más que notorio que si se construye, por ejemplo, una carretera, existe un anteproyecto, una mínima información pública ofrecida en un canal RSS oficial, un anuncio en un boletín oficial, un grupo de interés que puede estar en desacuerdo o de acuerdo con el proyecto, etc. Esto se denomina "rastreo digital" y a este respecto se están desarrollando, junto con la Universidad Politécnica de Madrid, una serie de pequeños programas informáticos que efectúan automáticamente tareas repetitivas (*bots*) para rastrear multitud de fuentes en Internet para después filtrar y clasificar qué ha cam-

biado, qué está cambiando, qué cambiará y dónde.

- *Motor de detección de cambios en imágenes.* La detección de cambios entre imágenes sucesivas en el tiempo de una misma área (por ejemplo, del PNOA o de las imágenes de satélite del PNT) era un gran reto que únicamente ha podido resolverse con garantías empleando inteligencia artificial. En una primera prueba realizada en 2017 se consiguió una fiabilidad de un 96 % en la detección de cambios en construcciones y comunicaciones.

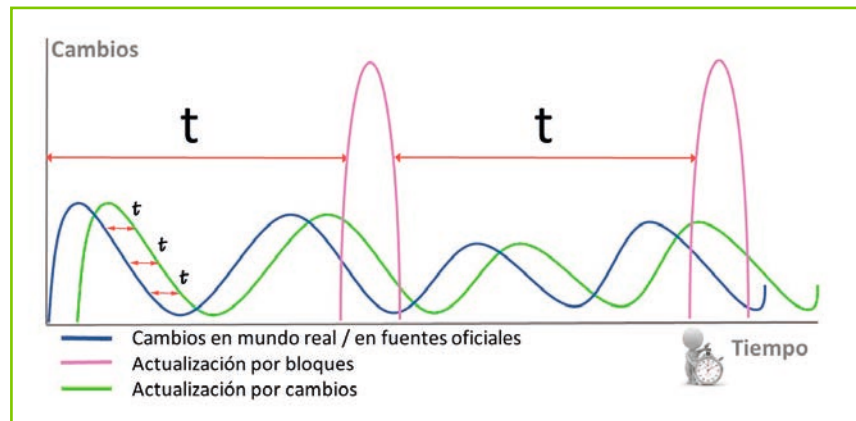
- *Motor de detección de cambios entre información geográfica existente.* La enorme disponibilidad de datos, tanto públicos como privados, hace posible determinar cambios respecto a los datos existentes en nuestras bases topográficas. Es un claro ejemplo de lo que supone el término transformación digital, especialmente cuando la información gestionada por las distintas organizaciones se encuentra debidamente organizada en bases de datos, utiliza identificadores únicos para sus elementos, incorpora información sobre su ciclo de vida y es accesible mediante protocolos estandarizados, ya que permite relacionar objetos geográficos de unas bases de datos con los de otra, y determinar cuándo se producen altas, bajas y modificaciones.

No obstante, cada uno de estos abordajes requiere trabajos considerables de investigación y desarrollo hasta su implantación de forma productiva.

La segunda pieza clave en la actualización orientada a cambios es la gestión de órdenes de trabajo. Cuando las actualizaciones se hacen por hojas o por

bloques de hojas, las unidades de trabajo son relativamente grandes y están ya predefinidas, por lo que su organización es bastante sencilla. Sin embargo, los cambios en la realidad suceden de forma más o menos aleatoria y afectan a porciones del territorio variables, por lo que es necesario empaquetar las actualizaciones en órdenes de trabajo, así como gestionar de forma ágil y controlada la asignación, ejecución, recepción, validación y distribución de estos paquetes de trabajo. Por último, la tercera parte del programa BDIG, el entorno de actualización BDIG, viene motivada por la importancia de trabajar sobre un entorno controlado que permita actuali-

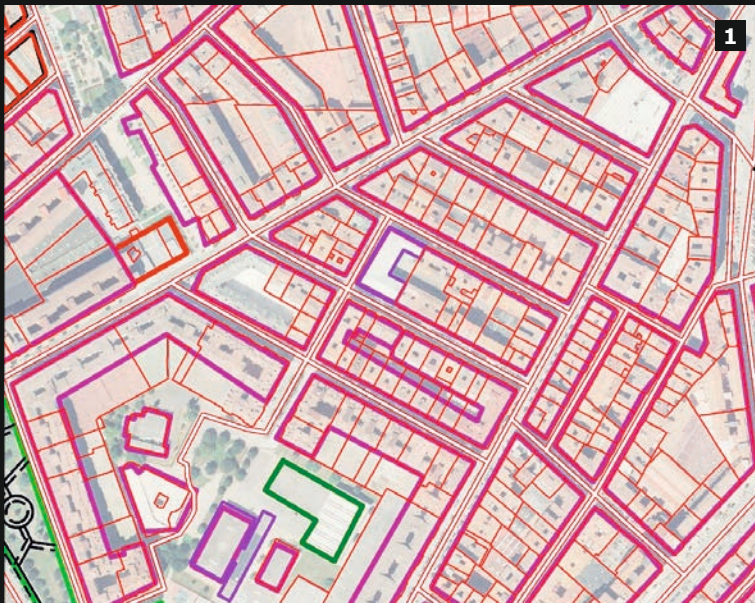
zar de forma conjunta todas las temáticas abarcadas por la BTN y también por determinadas IGR (Información Geográfica de Referencia). Si bien determinadas temáticas presentan un mayor dinamismo de cambios, como pueden ser los transportes y las edificaciones, en la mayoría de las ocasiones afectan a objetos de otros ámbitos. Por ejemplo, la construcción de una variante o de una urbanización a buen seguro afectará a vías de transportes, edificaciones, hidrografía, relieve, etc. La estrategia, entonces, pasa por aprovechar el mayor dinamismo e impacto que producen determinados objetos geográficos para desencadenar la actualización en el resto de las temáticas.



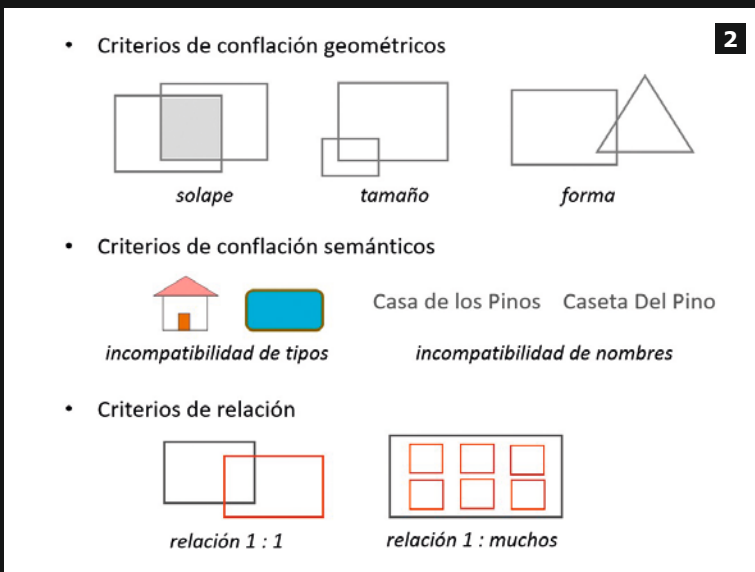
Actualización por cambios vs bloques.



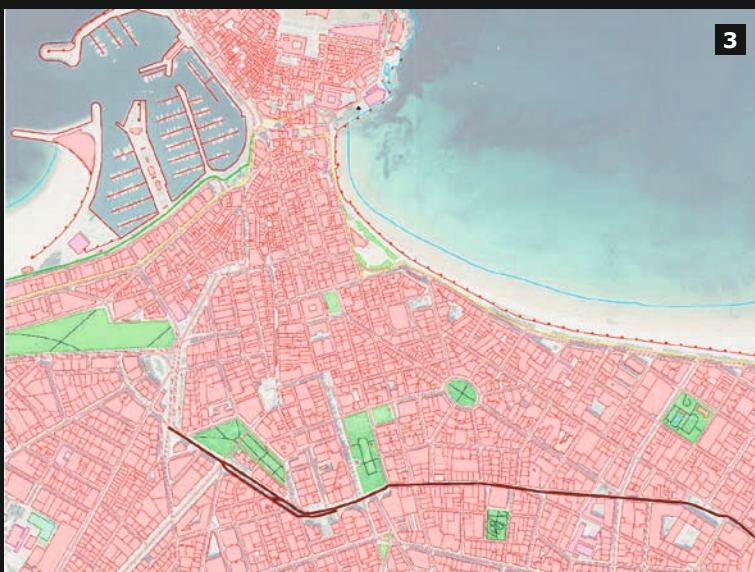
Detección de cambios por múltiples vías.



1



2



3

1. BTN25 versión inicial (rosa) vs Catastro (rojo).
2. Criterios de confluencia en la primera fase.
3. Detalle del núcleo urbano de Gijón en la BTN25 tras la primera fase.

Además, la actualización conjunta permite asegurar la integridad entre las bases de datos de información geoespacial del IGN. Esta coherencia entre diferentes temáticas cobra especial relevancia en la generación automática del Mapa Topográfico Nacional (aspecto que se desarrolla en otro artículo de esta publicación), que continúa siendo el principal referente del IGN.

Procesos ya existentes en la BTN25

Paralelamente al desarrollo del programa BDIG, en la BTN25 se han realizado importantes avances para la puesta en práctica del tercer motor de cambios señalado en el apartado anterior, es decir, apoyándose en otra información geográfica. Aquí es clave tanto el conocimiento de la información oficial de referencia existente en las AA.PP. (previamente identificada, clasificada y jerarquizada) como el de otros conjuntos de fuentes no oficiales que también resultan muy útiles. Basándose en estas fuentes de información, se han implementado procesos que permiten la detección y, en ocasiones, la automatización en la actualización, algunos de los cuales se muestran a continuación.

• Conexión con la información catastral: la BTN25 y el Catastro conectados

El objetivo es conectar la información topográfica y catastral del Estado y reutilizar los esfuerzos que se realizan en la actualización de un conjunto de datos para aprovecharlos en el otro. El proceso se ha dividido en dos fases, una primera (de 2016 a

2019) en la que se prepara la información de edificaciones y construcciones de la BTN25 y se establece la conexión con el Catastro a través de la referencia catastral, y una segunda en la que se aprovecha el ciclo de vida definido en los objetos de la base de datos del Catastro para actuar sobre los elementos relacionados en la BTN25. Se debe tener en cuenta que las edificaciones y construcciones producidas por la Dirección General del Catastro (DGC) cubren todo el territorio nacional a excepción de Navarra y el País Vasco, que cuentan con sistemas propios para la gestión catastral, con los que se están abordando trabajos de integración similares.

En la primera fase, tras el análisis de los datos catastrales de la DGC y la adaptación del modelo de la BTN25, se diseñó un conjunto de procesos mediante herramientas ETL (Extract, Transform and Load) que permiten la identificación de objetos geográficos comunes entre los datos catastrales y la BTN25.

En esa primera integración, las dos fuentes de entrada son conceptualmente diferentes: los elementos procedentes de la BTN25 son agrupaciones de edificios o manzanas, mientras que los del Catastro están divididos por referencia catastral, formando edificios individuales, aunque adyacentes.

Así, las reglas de la confluencia (identificación de objetos geográficos homólogos de diferentes fuentes de datos) juegan con relaciones basadas en superficies de solape, formas y semejanza de áreas, relaciones de multiplicidad (1:1, 1:n) y compatibilidad de tipos, conformando una matriz de parámetros de decisión. El proceso asigna auto-

máticamente una geometría y un conjunto de atributos. En el caso de no cumplirse unos valores mínimos en la matriz de parámetros de decisión, se devuelve un conflicto que debe revisar un operador basándose en ortofoto PNOA, siendo el porcentaje de éxito en la asignación automática del orden del 70 %.

Como complemento a todo este proceso, se realizó una revisión exhaustiva del territorio con ortofoto PNOA para corregir omisiones, comisiones, problemas de clasificación y errores posicionales. Todos los conflictos encontrados, del orden de tres millones, se reportaron al Catastro para que los integrara en su sistema de gestión de incidencias.

El resultado en esta primera fase del proyecto permitió conseguir los siguientes objetivos estratégicos:

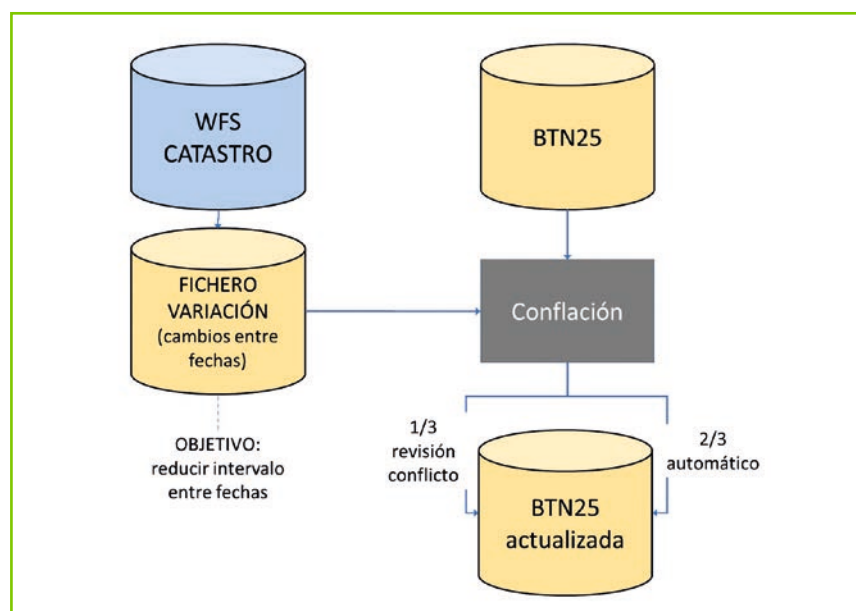
- La actualización semiautomática de las edificaciones de la BTN25, obteniendo como resultado la geometría catastral

junto con la semántica (atribución) de la BTN25.

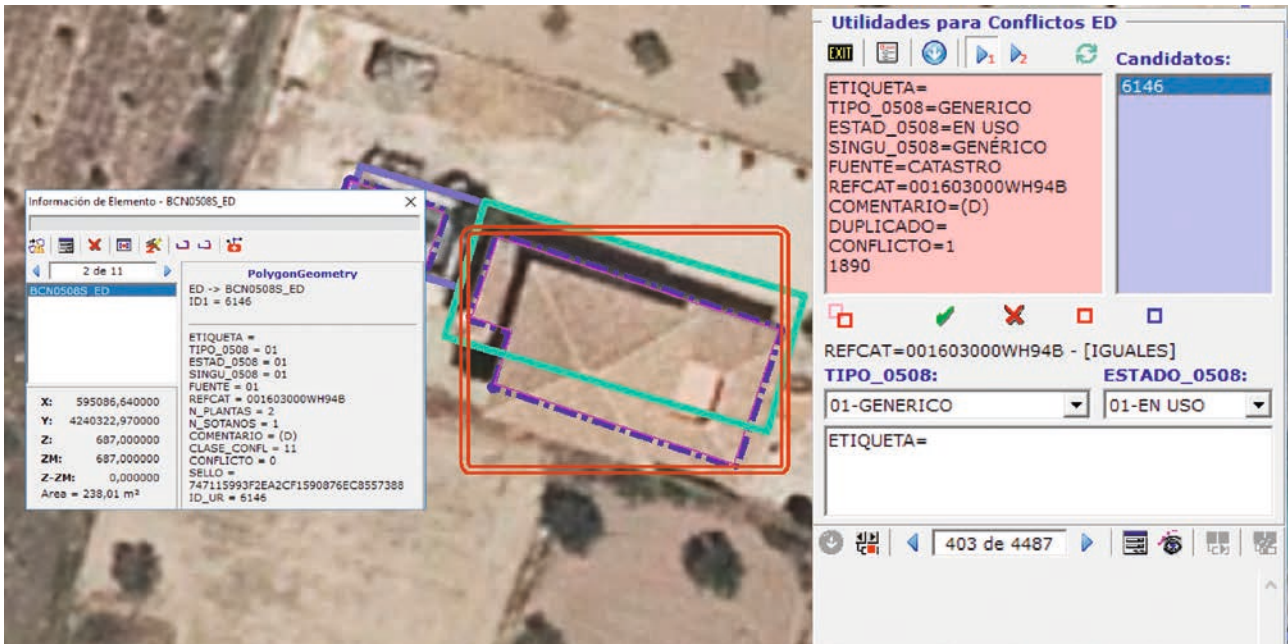
- La vinculación analítica de los objetos definidos en los dos conjuntos de datos, a través de la referencia catastral.
- El establecimiento de un marco de interoperabilidad y cooperación entre el IGN y la DGC.

En la segunda fase, que consiste en el establecimiento de los mecanismos para la actualización incremental de edificaciones y construcciones de la BTN25, el flujo general de trabajo es el siguiente:

- A partir del servicio WFS (Web Feature Service) del Catastro, se obtienen las variaciones de edificaciones ocurridas desde la última actualización (aprovechando el ciclo de vida que define el Catastro).
- Estas variaciones entre dos fechas se someten a un nuevo proceso de confluencia con nuevos criterios basados en la traslación, la segregación y



Esquema general de la segunda fase.



Funcionalidad para la resolución de conflictos de las variaciones de Catastro.

la agrupación de edificios (las geometrías de los dos conjuntos de entrada son ya conceptualmente iguales después de la primera fase).

- Revisión visual, con ortofoto PNOA, de los casos conflictivos en los que no se consigue una asignación automática. Actualmente se deben revisar del orden de 1/3 de las variaciones, para lo cual se ha integrado en el entorno de trabajo una funcionalidad específica que facilita el análisis y la resolución de los conflictos.

El resultado de esta segunda fase del proyecto permite conseguir los siguientes objetivos estratégicos:

- La reutilización de datos oficiales de la Administración servidos a través de servicios estándar de la IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España).
- El aprovechamiento del alto grado de actualización de los datos catastrales para mejorar

de modo continuo e incremental las edificaciones de la BTN25 minimizando la intervención humana.

- La retroalimentación para el Catastro, aportando una fuente continua de verificación de la geometría catastral.

Así pues, este proyecto es un ejemplo claro de colaboración entre organismos públicos que sin duda fortalece la necesaria cooperación entre administraciones con el objetivo de servicio al interés general, cumpliendo así con lo establecido en el artículo 143, de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público.

• Procesos de geolocalización de servicios e instalaciones

Los procesos de geolocalización desarrollados permiten extraer la ubicación de servicios o instalaciones a partir de listados

de direcciones proporcionadas por fuentes oficiales y asignarlos a objetos geográficos de la BTN25, dotándolos de los atributos más significativos como pueden ser el nombre, el código (con el identificador original del servicio o la instalación) y el tipo.

Los pasos del proceso se pueden resumir en:

- Descarga de los listados de direcciones de las fuentes oficiales, componiendo a continuación la dirección correcta y corrigiendo faltas de ortografía.
- Uso de diferentes geocodificadores (Cartocidad, WFS Adresses de Catastro, etc.) para así obtener puntos por cada geocodificador y dirección.
- Determinación del uso mayoritario al que se destinan las edificaciones. Este uso se extrae de la información alfanumérica del Catastro (formato CAT) y se asigna a los edificios de la BTN25 a través de la referencia catastral.



Ilustración del proceso de geolocalización.

- Cruce de estos puntos obtenidos de los geocodificadores con los edificios de la BTN25.

En este cruce hay definidos unos parámetros y prioridades en función del geocodificador utilizado, distancia de los puntos a los edificios, concurrencia de varios puntos, uso mayoritario del edificio (esto da robustez al proceso, por ejemplo, impide asignar de forma automática un ayuntamiento a un edificio de uso residencial), etc. Se obtiene un valor indicativo de la seguridad de asignar el servicio o la instalación al edificio y en función de este valor, se realiza una asignación automática o se envía a una lista de revisión para que un operador resuelva el conflicto. Actualmente, se están aplicando estos procesos para actualizar

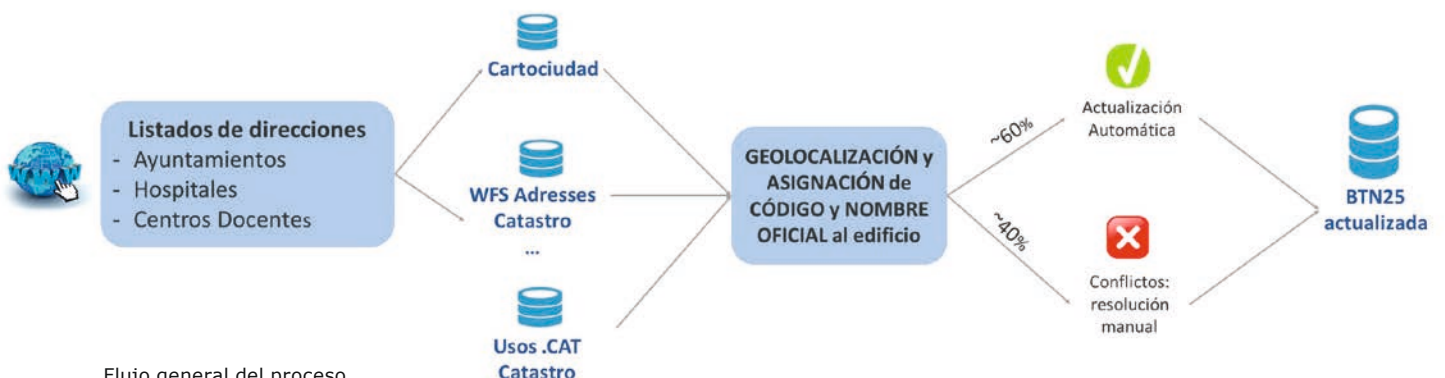
ayuntamientos, hospitales y centros educativos universitarios y no universitarios de la BTN25.

Conclusiones

Las Bases de Datos Topográficas del IGN albergan información del territorio del Estado de forma continua, íntegra y consistente de manera que pueden ser utilizadas tanto para realizar cualquier tipo de análisis temático y espacial a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como para generar productos cartográficos o de ingeniería. No en vano, la BTN25 se distribuye en formatos ampliamente utilizados en el mundo de la Información Geográfica y la Ingeniería, como el SHP, DWG y KMZ. Las ventajas de la utilización de bases de datos para almacenar, gestionar y explotar la información geográfica son innumerables. Este hecho no es nuevo y se pone de manifiesto con los ejemplos que se han mostrado en este artículo, pero aún hoy, conviene remarcarlo por las confusiones que a veces se producen entre los términos cartografía, bases de datos con información geográfica y visualizadores de estos datos. Los elementos de la base de datos no son meras geometrías de dibujo, sino abstracciones de elementos del mundo real que pueden ser explotadas y expresadas por múltiples vías. Por ejem-

plo, cabe reseñar las posibilidades de generación de cartografía automática gracias a la versatilidad de poder explotar las relaciones espaciales entre elementos para explicitar (y automatizar) los criterios de selección, agregación, simplificación, desplazamiento, etc., que tradicionalmente ha aplicado el cartógrafo de manera tácita para conseguir una representación concreta y expresiva de la realidad. De esta forma se ha desarrollado el proceso de generación automática del Mapa Topográfico Nacional.

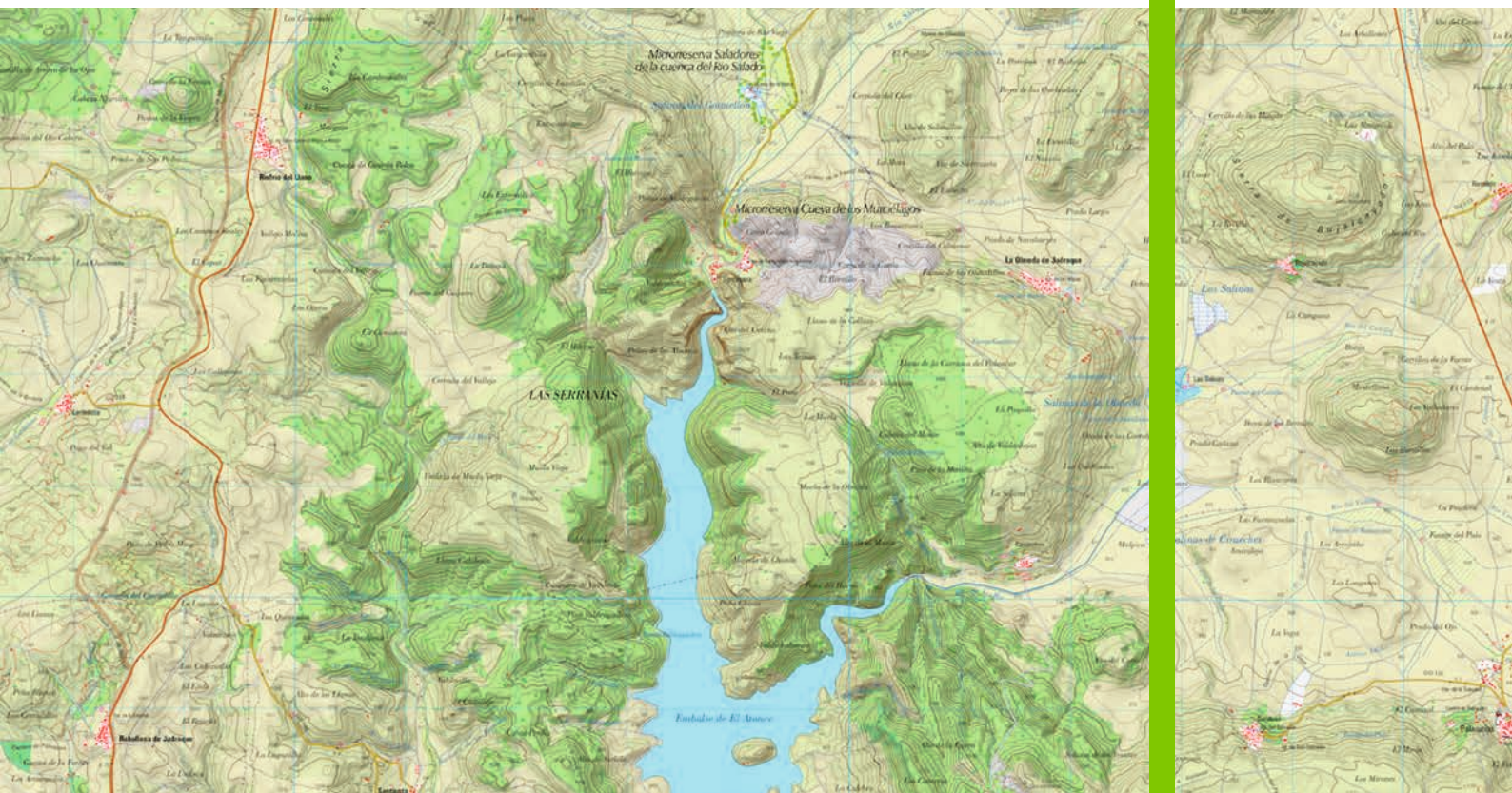
En cuanto a la utilización de fuentes de datos externas, se ha de destacar la disparidad existente en la forma de acceder a las mismas. Por ejemplo, en unos casos existen esas bases de datos con identificadores únicos, gestión de ciclo de vida y con acceso mediante protocolo estandarizado. Pero en otros casos lo que se proporcionan son visualizadores web que no permiten acceso automatizado; listados alfanuméricos de elementos, o mapas en formato imagen que solo se pueden explotar de forma visual. Así pues, se deben continuar realizando avances en todas las organizaciones para permitir una explotación más inteligente de la información y, en definitiva, seguir ahondando en la transformación digital. ■



Flujo general del proceso geolocalización.

Innovación en la producción del mapa topográfico nacional

Son diversos los motivos que han impulsado al Instituto Geográfico Nacional (IGN) a implementar un proceso de generación automática del Mapa Topográfico Nacional (MTN), tanto a escala 1:25.000 como a 1:50.000, frente a la vía manual tradicional de las últimas décadas, siendo los principales, la limitación de recursos y la búsqueda de una rápida respuesta a la demanda de geoinformación actualizada de una sociedad cada vez más exigente. Con este nuevo proceso automático se pueden obtener anualmente los ficheros de las 4.019 hojas del mapa, disponibles a través del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y de los servicios WMS y WMTS de cartografía ráster (de imagen) del IGN. Esta metodología también se aplica en la generación de las hojas para la publicación impresa, cuya salida final sí requiere de un proceso de edición simplificada realizada de forma mucho más eficiente que con anteriores procedimientos.



¿Por qué mapa automático?

La producción de cartografía ha experimentado una fuerte evolución gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, tanto en la captura directa o indirecta de los objetos geográficos a representar, como en la edición y redacción cartográficas y en la difusión de los productos. Este contexto tecnológico permite automatizar procesos que hasta hace una década habrían sido imposibles o muy costosos de realizar para una cartografía tan emblemática que, como no puede ser de otra forma, requiere unos estándares de calidad muy elevados. Los principales componentes de este nuevo desarrollo se explican a continuación.

- **Herramientas y métodos de captura**

De la toma directa de datos en campo con instrumentos y métodos de topografía clásica

se pasó, hace ya casi medio siglo, a la toma de fotogramas y posterior restitución fotogramétrica, primero analógica, después digital, terminando en la actualidad con la ortorectificación de los fotogramas para la generación de ortofotos (imágenes georreferenciadas sobre las que es posible realizar medidas de forma directa, es decir, se eliminan los efectos de la toma fotográfica y el relieve principalmente), modelos digitales del terreno, y datos LiDAR, todo ello cada vez con mayor resolución espacial y frecuencia temporal. En consecuencia, es imperativo acompañar la producción del MTN a los cambios que acontecen sobre el territorio aprovechando la gran disponibilidad de datos propios o de terceros.

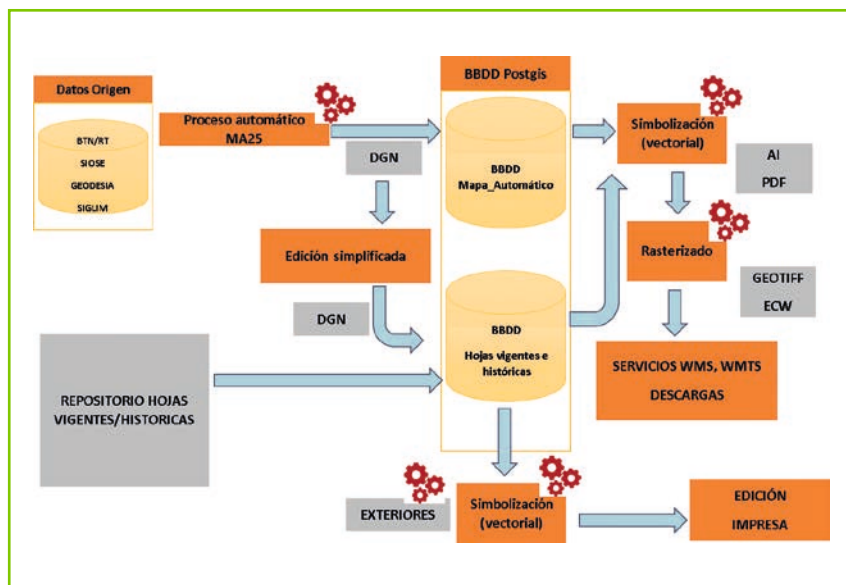
- **Métodos y flujos de producción**

El MTN constituye uno de los mandatos legales fundacionales del IGN y, a semejanza del resto

de instituciones del mundo, conforma la imagen pública del territorio y, de hecho, la cartografía de un Estado ha sido y sigue siendo una tarea pública de carácter estratégico. Además, este importante producto constituye la base sobre la que se construyen otros, denominados cartografía derivada, así como diferentes aplicaciones en ordenación del territorio, proyectos de ingeniería, geomorfología en el terreno, etc. La captura, formación (categorización o clasificación de los objetos geográficos que no puede realizarse únicamente mediante la captura) y edición de los elementos de las hojas se realizaba para la obtención directa del MTN y era este el que marcaba el ritmo de producción, que ahora, sin embargo, debe ajustarse lo más posible a la planificación de actualizaciones integradas en la Base Topográfica Nacional (BTN25), como su fuente de datos principal o, podríamos decir, asociada al MTN formando un tándem.

- **Entornos de producción y ámbitos de actuación**

La captura, formación y edición de los datos ha pasado de realizarse con herramientas CAD (Diseño Asistido por Ordenador) a su actualización con herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica). Este hecho es motivado por la propia naturaleza de la BTN25, más semejante a una base de datos común, pero con contenido geográfico que permite implementar sobre esta multitud de reglas que aseguren la coherencia e integridad de la misma y, de esta forma, facilitar la derivación de productos cartográficos.



Flujo para la generación de los distintos productos que se obtienen a partir de la producción automática del Mapa.

La versatilidad que proporciona el conjunto BTN25-MTN permite superar el concepto tradicional de "hoja del mapa" tanto como unidad de producción como de distribución, sin embargo, la retícula de hojas del territorio constituye una herramienta muy utilizada e intuitiva a los usuarios para orientarse y distribuirse de forma impresa; aspecto todavía hoy muy relevante en términos de experiencia de usuario. Por ello, aunque la unidad de "acabado" para la publicación impresa del MTN siga siendo la hoja, es posible adaptar la publicación a cualquier ámbito geográfico. En el caso de la BTN25, los ámbitos de actuación son diversos: desde la provincia hasta el conjunto del territorio nacional en algunas temáticas.

• Difusión de los datos

En poco tiempo se ha pasado de publicar únicamente ediciones impresas del Mapa a difundir grandes volúmenes de datos geográficos en servicios web de visualización WMS/WMTS y descargas. El MTN también se encuentra disponible en todos estos canales y puede visualizarse fácilmente junto con otros conjuntos de datos, como bases de datos geográficas, imágenes aéreas e imágenes espaciales; razón por la que es muy importante que el tiempo de actualización sea lo más sincronizado posible con estas.

• Disminución de recursos frente a la creciente demanda de información actualizada

La edición y redacción cartográfica es un proceso muy costoso que requiere de personal altamente especializado

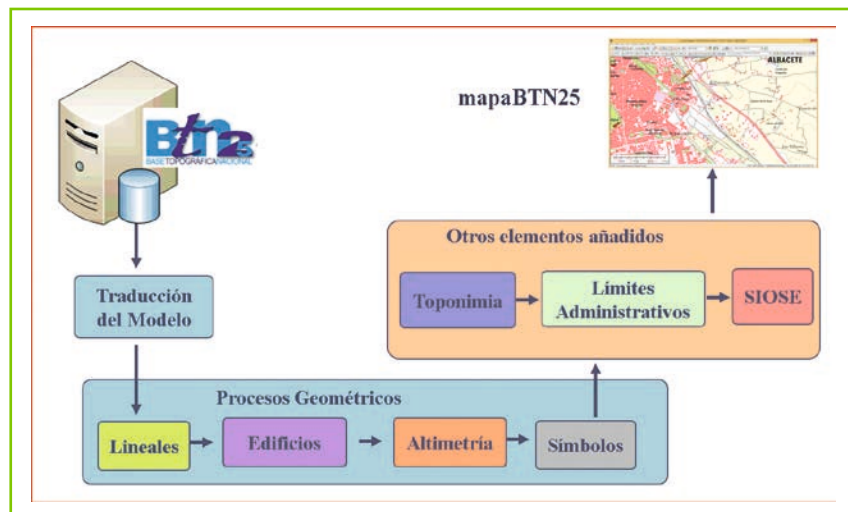


Gráfico de los módulos componentes del flujo.

porque tiene una marcada componente estética, aspecto muy complicado de automatizar. El IGN ha contado en su historia con una gran plantilla de delineantes y especialistas cartográficos que han realizado esta labor, primero con métodos analógicos y más tarde con procesos digitales, pero esta plantilla se ha ido reduciendo progresivamente, al igual que ha sucedido en otros muchos ámbitos de la administración. El reto es conseguir hacer más con menos, mayorar la relación entre hojas publicadas y recursos disponibles para acompañar la creciente demanda de los usuarios pues estos requieren cada vez una mayor y más frecuente actualización de los datos. Es necesario un método de producción más rápido y eficaz.

• Necesidad de visibilizar las bases de datos geográficas del IGN

El MTN es un producto muy demandado y conocido por toda la comunidad de usuarios de información geográfica. Su obtención

a partir de otros conjuntos de datos producidos en el IGN le convierte en una ventana muy importante para visualizar las actualizaciones producidas en sus fuentes de datos de origen. Por tanto, los productores de esos datos también necesitan, a su vez, que sus actualizaciones queden reflejadas lo antes posible en el Mapa.

Toda esta evolución, en múltiples aspectos de los procesos productivos del IGN, hace casi imperativo un profundo cambio en el modelo de producción del MTN. Los avances tecnológicos ofrecen una gran oportunidad de llevar a cabo esa transformación, orientada en gran medida a la automatización de los procesos de edición, redacción y publicación cartográficos, y que, asumiendo las inevitables diferencias con un producto de muy alta calidad estética realizado mediante procesos interactivos, intente compensarlas con la ventaja de obtener, de manera casi inmediata, la actualización de información en sincronía con las bases de datos geográficas del IGN.

25	Revisar la falta de toponimia comprobando con la edición anterior y recuperarla	X	C	C	C
5	INCONSISTENCIAS				
34	Inconsistencias de láminas de agua, ríos, embalses y lagunas con vías de comunicación y aritmética.	X	C	C	C
6	SIMBOLOGÍAS				
35	Cruz cementerio orientado correctamente	X	C	C	C
36	Reparo de solape de símbolo puntuales entre sí	X	C	C	C
7	VÍAS DE COMUNICACIÓN (BTI como referencia)	X	C	C	C
37	Geom. hasta Carr de 3ª Interrum. ó falta y sus enlaces, nudos, rotondas, accesos de cualquier otra vía de comunicación, puentes y Pks (coherencia de Pks) reparados.	X	C	C	C
38	Geometrias de FF.CC. Interrumpidas, enlaces, puentes y Pks (coherencia de Pks) reparados.	X	C	C	C
39	Cambiada la clasificación de Pistas a Carretera de 3ª cuando tiene Pks o nomenclatura	X	C	C	C
8	CORTAFUEGOS (BTI como referencia)				
40	Recuperar cortafuegos que faltan	X	C	C	C
9	HIDROGRAFÍA (BTI como referencia)				
41	Geometrias de Canal interrumpidas reparadas	X	C	C	C
42	En hojas con Mar, Isla o Nación lmitrofe: Texto incluido (aunque en el fichero "b" de referencia no se encuentre)	X	C	C	C

Extracto de ítems a revisar en el proceso de edición simplificada.

Descripción del flujo de procesos para la generación del mapa automático

El Mapa Automático se obtiene mediante la ejecución de un flujo de procesos automáticos que tratan de emular los procedimientos tradicionales que se suceden en la elaboración de un mapa tradicional. Se compone de dos fases: una primera en la que se aplican procesos de generalización y edición cartográficas hasta obtener una primera salida en formato vectorial, y una segunda donde se aplican las técnicas de simbolización y rasterización hasta obtener la salida final del mapa en formato ráster.¹

1. Vectorial y ráster hacen referencia a estructuras de almacenamiento de información geográfica. En el primero de los casos la información se almacena en forma de secuencia de coordenadas (vectores) y, en el segundo se organiza de manera similar a la de un archivo de una imagen, esto es, con las coordenadas de uno de los extremos y un tamaño de celda (píxel en el símil de la imagen) junto con el número de filas y columnas de la misma.

• Procesos vectoriales generalización y edición

Estos procesos automáticos aplican técnicas de redacción cartográfica a los objetos geográficos provenientes de las fuentes de origen para conseguir una representación cartográfica legible de los mismos:

- Generalización a la escala de visualización.
- Clasificación y simbolización según una leyenda.
- Edición de elementos para asegurar la legibilidad.
- Rotulación de los nombres de los objetos geográficos con un rótulo de estilo determinado y colocado de manera que identifique al elemento rotulado sin ambigüedad.
- Calidad estética, dentro de lo posible, del mapa resultante, siendo este punto uno de los más críticos del Mapa Automático.

Estas reglas de actuación se han formalizado mediante una serie

de operaciones de generalización y edición automática sincronizadas dentro de un flujo que integra dichas operaciones. La generalización automática presenta grandes dificultades bien conocidas, entre otras razones por la elección de los parámetros de generalización ajustados a cada escenario, los cuales asumiría de manera natural un cartógrafo cuando generaliza "a mano" a la vista de cada zona del mapa. Por ello, a lo largo de todo el flujo automático aparecen diversos algoritmos que analizan el contexto de cada elemento para decidir las estrategias en el tratamiento de los diferentes fenómenos geográficos. Así, por ejemplo, la densidad de edificación será determinante en la elección del tipo de tratamiento en los edificios. Otra de las dificultades de la generalización automática es la alta interdependencia de los elementos del Mapa, que puede desencadenar repercusiones en cascada al actuar sobre un elemento y desarreglar elementos tratados en pasos anteriores. Para dar respuesta a este problema y evitar procesos iterativos, el flujo está basado en la ejecución de una secuencia de procesos ordenados en función de las restricciones a la alteración de los elementos que modifican. De esta manera, en primer lugar se llevarán a cabo actuaciones sobre los elementos con mayor restricción de modificación, a partir de las cuales se irán sucediendo las siguientes actuaciones sobre elementos con menor restricción. Por último, una dificultad más de la generalización automática es que los procesos actúan sobre grandes conjuntos de datos que presentan una gran variabilidad, imposible de determinar *a priori*.

En cierta manera, este hecho se puede comprobar si mentalmente pensamos en la diferencia entre cómo se estructura el territorio a lo largo del Estado: no es lo mismo una estructura diseminada como sucede en el norte de la península que un casco de población en la zona de Castilla-La Mancha, por poner dos ejemplos simples.

Esto hace necesario conocer los modelos de todos los conjuntos de datos, y lo que es más crítico, las relaciones espaciales que pueden darse entre ellos (adyacencia, contigüidad, orientación, etc., denominado habitualmente topología). Además, pone de manifiesto la importancia de la consistencia e integridad de las fuentes de datos de partida. Por tanto, la automatización de este proceso requiere partir de fuentes de datos armonizadas, con relaciones semánticas y topológicas conocidas y aseguradas. Por poner un ejemplo, una vía de comunicación deberá, generalmente, tener una secuencia de coordenadas de forma que mantenga su continuidad en el espacio (topología) y, a su vez, deberá mantener gran parte de sus atributos, como su nombre, tipología, etc. (semántica).

La implementación de este flujo es una sucesión de procesos sincronizados entre sí implementados principalmente en *Feature Manipulation Engine* (FME) y algunos *scripts* de Python de la librería Arcpy.

El flujo está orquestado por una herramienta principal que ejecuta secuencialmente cada uno de los siguientes procesos o módulos sobre el listado de hojas del MTN que se deban procesar:

1. Extracción de datos origen de las diversas fuentes, recor-

tadas con el marco de cada hoja:

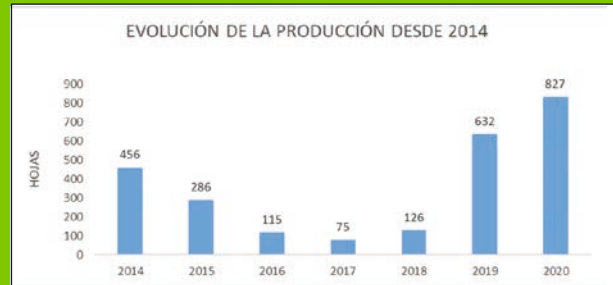
- * La BTN25 (con las Redes de Transporte integradas).
 - * Delimitaciones Territoriales (Sistema de Información Geográfica de Líneas Límite, Siglim).
 - * Red Geodésica Nacional.
 - * Coberturas de ocupación de suelo (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, Siose).
 - * Información catastral.
2. Tratamiento preliminar de los fenómenos extraídos mediante *scripts* de Python utilizando librerías de Arcpy:
 - * Regularización del contorno de edificios mediante la eliminación de detalles menores a una tolerancia superficial, ya que la capa de edificaciones proveniente de la información posee demasiado detalle para la escala de visualización del mapa.

Hay que conocer los modelos de todos los conjuntos de datos, y lo que es más crítico, las relaciones espaciales que pueden darse entre ellos

- * Unificación de calzadas de autopistas y autovías.
 - * Desplazamiento progresivo de elementos lineales, partiendo desde los más fijos, como hidrografía o vías de ferrocarril, hasta los menos estables, como caminos o sendas.
 - * Generalización del entramado de viales urbanos.
3. Cambio de modelo de la información: se parte de los elementos en el modelo de



Flujo de trabajo en edición simplificada.



A la izquierda, impresión en papel del resultado del proceso de edición simplificada de una hoja del MTN25. Arriba, gráfico de la evolución de la producción del MTN25.

datos de la BTN25 y se obtiene un modelo que asociará, en el proceso de simbolización y rasterización, las cualidades visuales de dichos elementos en el mapa: colores, grosores, estilos, fuentes...

4. Tratamiento de elementos lineales buscando una mayor legibilidad en el mapa:
 - * Generación de elementos representativos de túneles y puentes en vías de comunicación.
 - * Generalización de cerramientos (tapias) según su densidad y disposición sobre el mapa.
5. Tratamiento de elementos de construcción. Es un módulo con una gran carga de proceso, ya que los edificios sufren numerosas actuaciones para conseguir una representación legible a la escala de salida, pero conservando la estructura de la zona. Al simbolizar edificios y vías de comunicación mediante símbolos puntuales y

líneas con tamaños y anchos perceptibles a escala, se generan solapes entre dichos elementos que en la realidad no se producen. Las estrategias de actuación parten de un análisis preliminar de densidad:

- * Edificios en baja densidad, como los diseminados o edificios aislados: en esta partición se procura separar elementos puntuales y lineales para mejorar la legibilidad.
- * Edificios en media densidad, como urbanizaciones de casas: se realiza un filtrado que elimina solapes entre símbolos manteniendo el patrón de densidad de la zona.
- * Edificios en alta densidad, como cascos de población: en esta partición se realiza una generalización procurando mantener el esqueleto urbano que caracteriza el núcleo. Aquí se suceden operaciones de agrupaciones de edificios, recortes con el entramado urbano o sustituciones de

grandes bloques por sus manzanas.

6. Altimetría. Se seleccionan los puntos de cota más representativos del terreno.
7. Simbología puntual. Se llevan a cabo una serie de actuaciones para mejorar la legibilidad y la estética del mapa:
 - * Recolocación de algunos símbolos puntuales respecto a elementos lineales asociados, por ejemplo, hitos en carreteras.
 - * Simbolización de áreas mediante patrones de símbolos puntuales: por ejemplo, las centrales solares se rellenan con símbolos de placas solares o las explotaciones mineras con el símbolo de mina.
8. Etiquetado. Se generan etiquetas para los elementos con un estilo definido en función de la clasificación del elemento rotulado. Este módulo está en constante proceso de mejora para

solventar las dificultades de implementación, debidas en parte a la gran cantidad de rótulos provenientes de la BTN25 y a la ausencia de jerarquía de rótulos para una misma clase.

9. Por último, la integración de la capa de coberturas de ocupación del suelo procedente de Siose: traducción del modelo de datos Siose a la leyenda del MTN y correcciones geométricas de fenómenos coincidentes, como contorno de láminas de agua o reservas planimétricas.
10. Almacenamiento de las salidas del proceso en una base de datos PostGIS: se almacenan las geometrías procedentes de los archivos, organizando la información en tablas por temas (red viaria, hidrografía, edificaciones, etc.) con atributos que facilitan la posterior simbolización.

- **Disponibilidad del Mapa Automático en formato ráster**

Como se ha comentado anteriormente, gran parte del consumo del MTN se realiza a través de visualizadores web. Este tipo de visualizadores en el mundo de la información geográfica son generalmente estándar e interoperables, es decir, permiten conectar diferentes fuentes de datos en una única visualización sin importar donde se alberguen los datos y quien sea el proveedor. Por otra parte, disponer del MTN en formato ráster, utilizable de forma muy parecida a la de una imagen común, permite el acceso a este producto por parte de usuarios no especiali-

zados en información geográfica. Así pues, los formatos PDF o TIFF son dos de los habituales en el centro de descargas del IGN.

No obstante, el uso profesional es también un aspecto a cuidar y por ello los ficheros anteriores en realidad se denominan GeoTIFF y GeoPDF, los cuales están georreferenciados y, por tanto, pueden ser explotados por profesionales, pero también se comportan como simples ficheros PDF o TIFF para usuarios no especializados.

Además, dentro del mundo profesional se genera también el formato ECW (*Enhanced Compression Wavelet*) que permite grandes niveles de compresión y, por tanto, disminuir el ancho de banda necesario a la hora de consumir en línea el MTN a través de visores web, como pueden ser los servicios estándar WMS o WMTS.

Proceso del mapa automático MTN25 para edición impresa. Edición simplificada

El objetivo y alcance de la edición simplificada es generar ediciones del MTN25 mediante un proceso optimizado en tiempo y recursos. Para ello se utilizan los siguientes datos: el contenido de la hoja que se obtiene automáticamente con procesos FME desde la BTN25 y los exteriores de la hoja del mapa, que son metadatos obtenidos y representados mediante procesos automáticos.

Es un proceso de acabado final, es decir, consiste en editar el contenido y exteriores de una hoja, ajustándose rigurosamen-

También se genera el formato ECW, que permite grandes niveles de compresión y así disminuir el ancho de banda a la hora de consumir en línea el MTN

te a lo establecido en una lista de control (*checklist*), para asegurar que el resultado final es acorde a las especificaciones del producto y a la calidad necesaria para ser impreso a la escala de publicación.

Las diferencias principales con el proceso tradicional son las siguientes:

- Únicamente se realizan trabajos de edición, es decir, no se llevan a cabo tareas de actualización, pues se asume que la información de origen está actualizada.
- Implica menor carga de edición porque:
 - Se parte de un producto en el que se ha llevado a cabo ya una edición y generalización automática descrita en la parte de Mapa Automático.
 - Los criterios de edición únicamente atienden a cuestiones de legibilidad y a la corrección de resultados de los procesos de edición automáticos que no han ofrecido una solución deseable, pero no a las especificaciones del MTN25 tradicional.

- Control de tiempos de proceso y resultados (registro de calidad).
- Posibilidad de mejora continua (indicadores de calidad).

No obstante, no hay que olvidar que todas esas ventajas tienen un coste materializado en la calidad de la edición cartográfica respecto de la que se obtendría con procedimientos tradicionales y en el riesgo de que la información contenga algunos errores no detectados. Por ello, es un proceso en mejora continua.

Mapa de alta resolución

Actualmente se está desarrollando un nuevo producto cartográfico de mayor resolución para su publicación en servicios web. Este contendrá la información de las mismas fuentes que el Mapa Automático y tendrá la simbología adaptada a la resolución propia de cada fuente, obteniéndose un resultado similar al Mapa Automático a escala 1:25.000, pero con las geometrías originales sin apenas generalizar ni manipular. Este mapa de alta resolución está adaptado a la visualización en visores web, donde el *zoom* hace desaparecer la restricción del límite visual del papel, pudiendo interpretarse los símbolos y los textos con pictogramas de menor tamaño. Estas simbologías de menor tamaño evitan aplicar procesos de generalización y edición automáticas a las geometrías para ajustarse al espacio disponible. En el caso, por ejemplo, de las vías de comunicación, estas van a tener un grosor menor al ancho que le correspondería a escala, por

lo que no se necesitará aplicar procesos de desplazamientos para evitar solapes como se hace en el Mapa Automático 1:25.000.

Este empleo de simbologías más reducidas favorece en gran medida a la rotulación automática, ya que al ser los textos más pequeños caben muchos más rótulos, evitando solapes. En definitiva, este producto conlleva las siguientes ventajas frente al Mapa Automático 1:25.000:

- Al no hacerse necesaria la generalización, no perdemos el detalle geométrico de las fuentes de origen, obteniéndose un resultado más próximo a la realidad. Lo que nos lleva a un producto de mayor resolución (mayor detalle en formato vectorial y menor tamaño de píxel en formato ráster).
- La rotulación mejora considerablemente al poder rotular más entidades.
- La implementación se simplifica al no tener que introducir procesos automáticos de generalización y edición, por lo que se facilita también el mantenimiento y se reduce el número de incidencias por automatismos.

Como desventaja se produce un mayor peso en los archivos ráster obtenidos, lo que nos plantea sopesar el uso de otros formatos más ligeros como el Cloud Optimized Geotiff (COG).

Conclusiones

Con este esfuerzo de innovación para la producción y actualización del producto más emblemático del Instituto Geográfico

Con la automatización del proceso de generación del Mapa Topográfico Nacional, el IGN da respuesta a la demanda de geoinformación por parte de la sociedad

Nacional, el MTN, se pretende dar respuesta a la elevada demanda de geoinformación por parte de la sociedad, en la que mayoritariamente prima la velocidad de disponibilidad y publicación de los datos. Sin duda, haber conseguido generar el mapa automáticamente mediante procesos que simulan la toma de decisión de operadores cartográficos, supone un hito en la historia de la producción cartográfica de la institución y el estímulo para seguir evolucionando. El siguiente objetivo será conseguir que la calidad cartográfica del producto final se acerque más a la obtenida por métodos clásicos, en los que se generaban mapas de excepcional calidad.

La optimización de la representación cartográfica en combinación con las ventajas que aporta la automatización de procesos, tanto en el grado de actualización de la información como en el incremento de la frecuencia de publicación, convierte al MTN en un producto que atiende a los principales requisitos de los usuarios del siglo XXI. ■



[http://www2.ign.es/MapasAbsysJPG/13-F-1\(a\)_01.jpg](http://www2.ign.es/MapasAbsysJPG/13-F-1(a)_01.jpg)

Secvnda Evrope Tabvla

Claudio Ptolomeo; Nicolaus Germanus (1478)

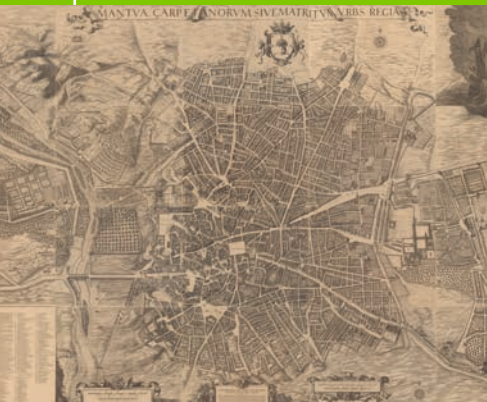
El mapa segundo de Europa (Secvnda Evrope Tabvla) incluido en la edición de la Geographia de Claudio Ptolomeo, publicada en Roma en 1478, es el más antiguo de los existentes en los fondos del IGN. Se trata, además, del segundo mapa impreso más antiguo de España, solo precedido por el publicado en Bolonia un año antes, en 1477, en la primera edición impresa de este tratado ptolemaico. Estrictamente, el mapa representa la Hispania romana, es decir la península Ibérica en tiempos de Ptolomeo (alrededor del 150 d.C.), dividida en sus tres provincias: Bética, Lusitania y Tarraconense. Los mapas de esta edición romana fueron impresos a partir de planchas de cobre grabadas con buril (calcografía) y, a pesar de su antigüedad, destacan por la calidad de su grabado, de tal forma que algunos consideran esta edición de la Geographia como la mejor ejecutada hasta la que publicó Mercator en 1578. De los 39 códices completos que se conocen de esta edición, solo hay otro en España, propiedad de la Real Academia de la Historia, lo que da idea de la rareza y el valor de este mapa, aunque el del IGN se encuentre separado de sus otros mapas "hermanos".

Orbis Typvs Vniversalis Laurentius Phrisius (1522)

El mapa del mundo incluido en la edición de la Geographia de Ptolomeo, de 1522, con mapas del cartógrafo Lorenz Fries (latinizado como Laurentius Phrisius, según la costumbre de la época) destaca por ser una obra fundamental en la consolidación del nombre de "América" dado al Nuevo Mundo descubierto por Colón en 1492. Se trata del tercer mapa del mundo impreso que incluye la palabra América, después del célebre mapa de Waldseemüller, de 1507, cuyo único ejemplar superviviente se encuentra en la Library of Congress en Washington (EE.UU.), y del raro mapa basado en éste realizado por Petrus Apianus y publicado en 1520. El nombre de América, acuñado por Martin Waldseemüller y su colega Mathias Ringmann en honor a Américo Vespucio, al que erróneamente asignaron el descubrimiento del cuarto continente, fue adoptado posteriormente por otros cartógrafos como Phrisius, que popularizaron en sus mapas esta denominación que ha perdurado hasta nuestros días. Así, este mapa de Phrisius alcanzó una difusión considerable al publicarse en cuatro ediciones (en los años 1522, 1525, 1535 y 1541). En el IGN se conservan dos ejemplares de este mapa correspondientes a las ediciones de 1525 y 1535.



http://www2.ign.es/MapasAbsysJPG/13-D-2_01.jpg



http://www2.ign.es/MapasAbsysJPG/41-A-17_Mosaico.jpg

Topographia de la Villa de Madrid

Pedro Texeira (1881)

El cartógrafo portugués Pedro Texeira elaboró, en 1656, el más detallado plano urbano conocido en el mundo hasta la época. Se trata del plano de Madrid, compuesto por 20 hojas grabadas en cobre que una vez ensambladas alcanzan enormes dimensiones (280 x 180 cm), del que sobreviven siete ejemplares conocidos en todo el mundo. Sin embargo, la enorme difusión que tiene esta obra en la actualidad se debe a que, en 1881, el entonces Instituto Geográfico y Estadístico, publicó una reedición del plano, precisamente para preservarlo como legado para el futuro debido al escaso número de ejemplares conservados, algunos de ellos en mal estado. Para ello se volvieron a grabar unas nuevas planchas de cobre con tal maestría que ambos planos, el de 1656 y el de 1881, son prácticamente indistinguibles, incluso a los ojos de un experto, y más de una institución ha creído poseer el original de Texeira de 1656 cuando en realidad se trataba de la edición del Instituto. El IGN conserva dos ejemplares de su propia edición de 1881 montados y expuestos de manera permanente en sus instalaciones de Madrid.

Cronología del IGN.....



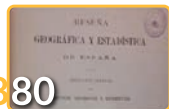
1870

Se crea el Instituto Geográfico (12 de septiembre) en la Dirección General de Estadística, dentro del Ministerio de Fomento, como establecimiento científico con competencias en Geodesia, Nivelaciones, Cartografía, Topografía, Catastro y Pesas y Medidas.



1875

Se publica la primera hoja del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50 000, (nº 559-Madrid)



1880

Inicio de la «Primera Reseña Geográfica y Estadística de España» (precursora del Atlas Nacional de España), que se finalizaría en 1888.



1909

Se instala la primera estación sísmica internacional en el Observatorio Geofísico de Toledo.



1910

Creación de la Imprenta Oficial del Instituto Geográfico.



1922

Se coloca la primera piedra de la tercera y actual sede del Instituto Geográfico en la calle General Ibáñez de Ibero 3 de Madrid, en un acto presidido por S. M. el Rey Alfonso XIII (7 de julio).



1956

Implantación de la Estación Sismológica de Sonseca, una red sísmica especial para detección y verificación de ensayos nucleares (hoy Estación Primaria del Sistema Internacional de Vigilancia del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares, CTBTO, de Naciones Unidas).



1973

Creación de los centros de observación astronómica de Yeves (Guadalajara) y Calar Alto (Almería).



2004

Se presenta la primera versión del geoportales de la Infraestructura de Datos Espaciales de España, IDEE, gestionada y coordinada por el CNIG. El IGN asume competencias en vigilancia y alerta volcánicas.



2003

Finalización del Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1:25 000, MTN25, completándose la publicación de sus 4 123 hojas.



2001

Finalización del proyecto de la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE.



1997

Inicio de la implantación de la Red Geodésica Nacional de Estaciones Permanentes GNSS. Al año siguiente constituirá el soporte para desarrollar el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real del IGN.



1993

Se finaliza la observación, cálculo y compensación de la Red Geodésica de Orden Inferior, ROI, que pasa a constituir el marco de referencia geodésico ED50 (anterior al actual ETRS89).



1988

Creación del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) como organismo autónomo de carácter comercial, adscrito al Ministerio de Obras Públicas y Transportes a través de la Dirección General del IGN (Ley 37/1988 de PGE 1989, artículo 122).



1986

Se publica la Ley 7/1986 de Ordenación de la Cartografía, que atribuye al Instituto Geográfico Nacional la formación y conservación de la cartografía básica y derivada terrestre. El Consejo de Ministros encomienda al IGN realizar el Atlas Nacional de España.



2005

Inicio de la Base Topográfica Nacional 1:25 000, BTN25. Los Ministros de Defensa, Fomento y Medio Ambiente firman en el IGN un Protocolo para la obtención de coberturas periódicas del territorio español con imágenes de satélite, en el marco del Plan Nacional de Observación del Territorio. Los Príncipes de Asturias inauguran el radiotelescopio de 40 metros del Observatorio de Yeves (Guadalajara).



2007

Se publican Reales Decretos por los que se aprueban los Estatutos del CNIG y se regulan el Sistema Geodésico de Referencia Oficial en España, y el Sistema Cartográfico Nacional como nuevo modelo de cooperación entre todas las administraciones del Estado en materia cartográfica y de información geográfica.



2010

Se publica la Ley 14/2010 sobre las Infraestructuras y los Servicios de Información Geográfica en España (LISIGE), que atribuye al IGN la presidencia de las comisiones permanente y territorial del Consejo Superior Geográfico, así como su secretaría técnica.



2013

Aprobación por el Consejo de Ministros del Primer Plan Cartográfico Nacional 2013-2017 coordinado por el IGN. Inauguración del primer radiotelescopio de 13,2 m «Jorge Juan» del proyecto hispano-portugués Red Atlántica de Estaciones Geodinámicas y Espaciales (RAEGE) en el Observatorio de Yeves (Guadalajara).



2014

El IGN asume la coordinación en España del Servicio de Territorio del programa europeo Copernicus (Copernicus Land).



2018

El IGN publica el Atlas Nacional de España del Siglo XXI, ANEXI, en colaboración con 38 instituciones científicas y académicas (Red ANEXI), premiado con el Premio de Comunicación de la Sociedad Geográfica Española que fue entregado en 2019 por S. M. el Rey Felipe VI.



2019

El IGN participa en la obtención de la primera imagen de la sombra de un agujero negro. Exposición cartográfica en la sede central del IGN sobre el V centenario de la primera circunnavegación de la Tierra.

Instituto Geográfico Nacional

Tu mundo, nuestra referencia



www.cnig.es



@IGNSpain



@IGNSpain



IGNSpain



IGNSpain



IGNSpain

Tus mapas en papel en nuestra tienda CNIG

Instituto Geográfico Nacional
Centro Nacional de Información Geográfica

General Ibáñez de Ibero 3. Madrid, 28003
91 597 95 14, fax: 91 597 97 73
consulta@cnig.es
www.ign.es



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA



Instituto Geográfico Nacional 1876-2026