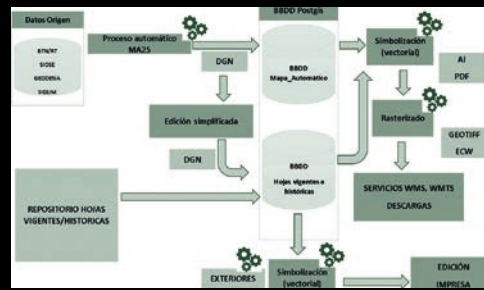
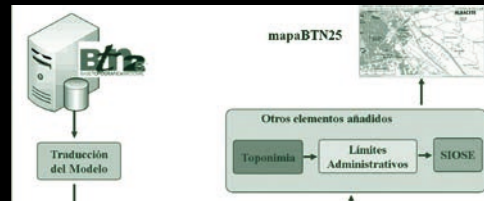


Innovación

■ Texto: ALFONSO BOLUDA SÁNCHEZ, JOSÉ ALFONSO DE TOMÁS GARGANTILLA, ALICIA GONZÁLEZ JIMÉNEZ, ANA MALDONADO IBÁÑEZ, M^a DE LA PAZ NAVAS LÓPEZ, ADOLFO PÉREZ HERAS, SANTIAGO PRIETO DEL CAÑO, FELISA QUESADA BUSTOS.
Subdirección General de Geodesia y Cartografía.

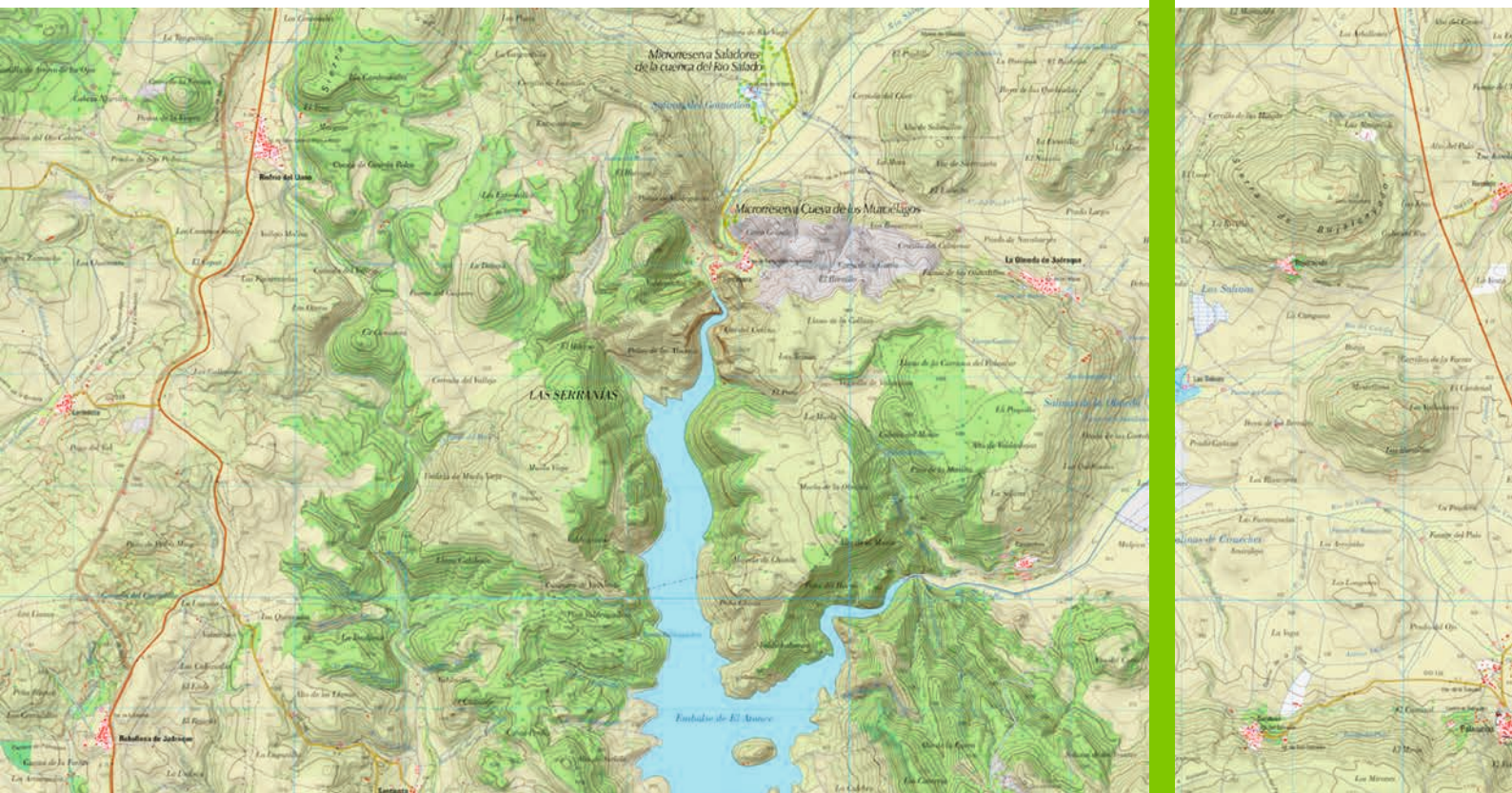


X	Cruz cementerio orientado correctamente	X	C	C
X	Reparo de solape de símbolo puntuales entre sí	X	C	C
Y	VIAS DE COMUNICACION (BTI como referencia)	X	C	5
Y	Geom. hasta Carr de 3ª Intermun. ó falta y sus enlaces, puentes, rotondas, accesos de cualquier otra vía de comunicación, puentes y Pks (coherencia de Pks) reparados.	X	C	C
Y	Geometrías de FF.OO. Interrumpidas, enlaces, puentes y Pks (coherencia de Pks) reparados.	X	C	C
Y	Cambiada la clasificación de Pistas o Carretera de 3ª cuando tiene Pks o normalizada.	X	C	C
W	CORTAFUEGOS (BTI como referencia)	X	C	6
W	Recuperar cortafuegos que faltan	X	C	C
W	HIDROGRAFIA (BTI como referencia)	X	C	C
W	Geometrías de Canal interrumpidas reparadas	X	C	C



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.

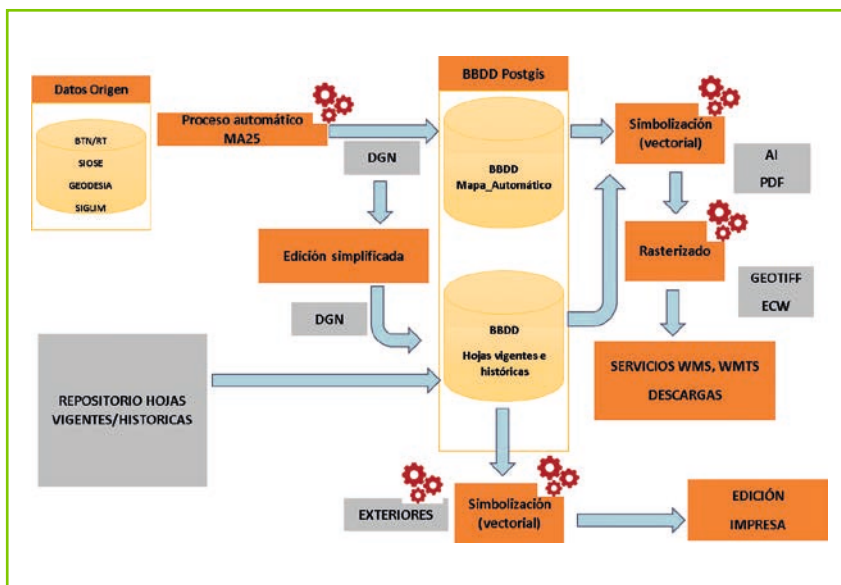
- **Métodos y flujos de producción**

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

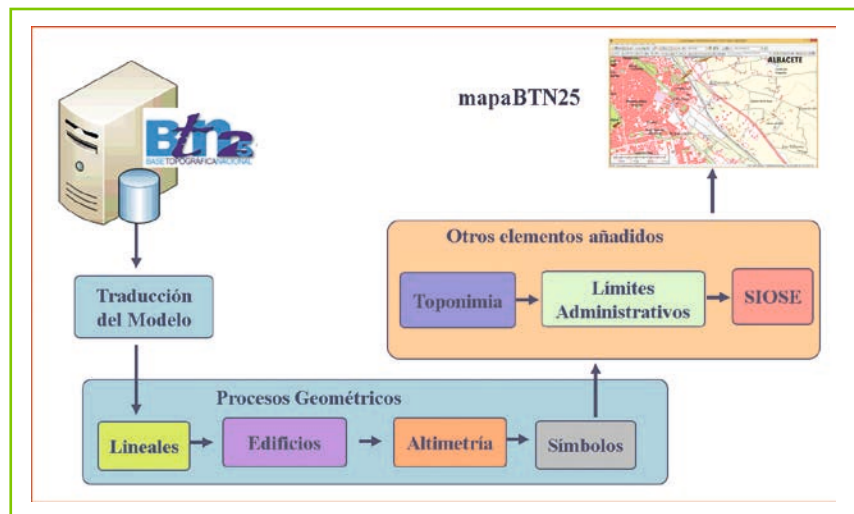


Gráfico de los módulos componentes del flujo.

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 cartográfica 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. ■