

RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS VISUALES ENTRE CURVAS DE NIVEL EN LOS PROCESOS DE GENERALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

J. PALOMAR VÁZQUEZ
J. E. PARDO PASCUAL *

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

* jepardo@cgf.upv.es

RESUMEN

En la generación de cartografía un proceso muy común es la generalización cartográfica, consistente normalmente en reducir la escala de un mapa base y adaptar sus elementos a la nueva escala y/u objetivos del mapa. Tras la reducción de escala, el espacio que deben compartir las curvas de nivel es menor, y por lo tanto, se producen aglomeraciones visuales, lo que lleva al menos a dos efectos negativos: (1) una alta densidad de curvas que genera un efecto de apelotonamiento impidiendo su correcta lectura, y por tanto, su función métrica; (2) una indefinición cualitativa referente a la comprensión del fenómeno representado, ya que no se es capaz de distinguir si se trata de una ladera, o de una pendiente acusada o zona escarpada (con claras diferencias en cuanto a estructura y accesibilidad).

El presente artículo centra su atención en la detección automatizada de estas zonas de conflicto basándose para ello en la explotación de modelos digitales de pendientes y en la aplicación de técnicas de morfología matemática, como son los operadores de cierre y apertura, todo ello bajo el entorno de gestión de un sistema de información geográfica. El método se complementa con la aplicación de tres posibles líneas de solución sobre las zonas en las que se da el problema, consistentes en (1) el incremento de la equidistancia entre las curvas de nivel, (2) la introducción de símbolos lineales y (3) la introducción de simbología superficial. Se presenta una herramienta específica mediante la que se pueden resolver la mayoría de las acciones de forma automatizada.

Palabras clave: generalización cartográfica, modelos digitales del terreno, curvas de nivel, SIG, conflicto visual

ABSTRACT

Cartographic generalization is a process very used in map production. This process lets to adapt the cartographic elements to a new scale (usually smaller) and a new goal. Because the new

scale is smaller, the density of map contour lines is larger. This fact produces several visual conflicts. This has two negative effects: (1) the loss of both, metric function and a correct reading of map contour lines; (2) non-definition of qualitative characteristics, reason why, there are problems of identification between concepts like hillside (accessible place) and escarpment (inaccessible).

We present an automated method for searching visual conflicts between map contour lines. To this end, we use GIS software and a combination of digital terrain model analysis (slope) and mathematical morphology techniques (dilation and erosion operators). The next step is to solve cartographic representation problems. So, we have designed a specific tool that allows the application of three traditional cartographic solutions: (1) the increment of contours interval, (2) the use of linear symbols or (3), the use of area symbols.

Key words: cartographic generalization, digital terrain models, contour lines, GIS, visual conflict

1. Introducción y objetivos

En los trabajos de producción cartográfica resulta necesario, en muchas ocasiones, encarar los procesos de generalización. Las más de las veces el mapa base que se pretende utilizar presenta una escala mayor que el que queremos generar (Buttenfield y McMaster, 1991), en otros casos, se produce simplemente un cambio de objetivo que obliga a que se reduzca de forma coherente la densidad de determinados elementos gráficos. La generalización cartográfica ha sido definida por la Asociación Cartográfica Internacional (ICA) como la selección y representación simplificada de los detalles apropiados para la escala y/o el propósito del mapa (Vázquez y Martín, 1995). El objetivo principal de la generalización, por tanto, es producir un mapa claramente legible e interpretable a partir de una información base que se considera excesivamente abundante y densa para la escala de representación o el propósito del mapa.

Los procesos de generalización no siempre resultan sencillos de llevar a cabo ya que en ellos se ha de mantener un difícil equilibrio entre la necesidad de conservar la información requerida para no devaluar la utilidad del mapa, con la obligación de reducir la densidad de información gráfica para impedir los efectos de colapso visual que pueden limitar o impedir la lectura y comprensión del mapa.

Las principales operaciones que se tienen en cuenta en la generalización cartográfica convencional son las siguientes (Iribas, 2000, Palomar, 2003):

- Armonización. Que consiste en evitar que se rompa el equilibrio natural del mapa, haciendo que los elementos que sean similares entre sí sufran transformaciones similares y respetando las relaciones existentes entre elementos de diferente naturaleza.
- Simbolización: A medida que disminuye la escala aumenta el número de elementos que no pueden ser representados en sus dimensiones reales y han de ser sustituidos por símbolos lo más evocadores posibles. Con la disminución de la escala, la precisión de la ubicación de los elementos representados pasa a ser menos importante, adquiriendo mayor relevancia la información sobre la ocurrencia de un determinado fenómeno y su relación con los demás.

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

- Selección: Es decir, la elección de qué elementos cartográficos han de mantenerse y qué otros han de ser eliminados. Dicha elección debe estar basada tanto en criterios cualitativos como cuantitativos.
- Esquematación: Durante la generalización cartográfica la información original ha de ser esquematizada, simplificándose las formas para mantener aquellos rasgos más significativos. Este trabajo de esquematización incluye múltiples operaciones como la de colapso (un río representado originalmente con sus dos márgenes es sustituido por su eje central), agregación (dos o más polígonos son agrupados en una única forma) o la simplificación (eliminación de las sinuosidades menos representativas de una forma lineal, como por ejemplo una carretera).

La elección del procedimiento más adecuado y su aplicación específica siempre conlleva riesgos ya que la alteración de una de las partes del mapa puede crear nuevos conflictos con el resto de los elementos. Esta es una de las razones por la que la praxis de la generalización difícilmente puede automatizarse de forma absoluta siendo fundamental, en todos los casos, la supervisión del cartógrafo. Esta aseveración, sin embargo, no implica que sea posible —e incluso muy conveniente— automatizar buena parte de los trabajos involucrados en el proceso de generalización cartográfica ya que ello permite objetivar y potenciar la creación de mapas más legibles y equilibrados. De hecho, hoy por hoy, empiezan a proliferar paquetes de herramientas específicas que están siendo comercializadas por distintas empresas ⁱ pero, al mismo tiempo, dadas las variadísimas posibilidades de combinación de fenómenos o problemas que pueden surgir durante el proceso de generalización no hay una única herramienta para generalizar de forma global, sino múltiples herramientas que tratan de realizar una o parte de las operaciones habituales en este proceso.

Es dentro de esta perspectiva desde la que debe entenderse nuestra aportación que pretende establecer un método objetivable y una herramienta flexible para resolver un problema específico que surge durante el proceso de generalización de mapas topográficos. En concreto nos preocupa establecer un método y una herramienta que ayude a resolver el problema de amalgamación de curvas de nivel que se produce en zonas con fuertes pendientes como consecuencia de una reducción de la escala del mapa.

De entre las soluciones más utilizadas para volver a dotar de limpieza al mapa, descargando las zonas de alta densidad y restaurando el nivel de legibilidad, se encuentran las siguientes (Imhof, 1982; Iribas, 2000):

- a) Soluciones globales: son aquellas que se aplican al conjunto del mapa. Ejemplo de ello sería variar la equidistancia, eliminando una curva de cada dos ([figura 1c](#)) o la obtención de un nuevo curvado, lo que no resulta demasiado difícil, a partir de un MDE menos detallado.
- b) Soluciones de tipo local: se trataría de aplicar procesos de generalización únicamente en aquella parte del mapa en que se produce un conflicto. Las soluciones pasarían por simplificar o suavizar su contorno, separar las curvas dejando un mayor espacio entre ellas ([figura 1d](#)), o sustituirlas por una línea en la zona de solape ([figura 1b](#)). Se ha de ser consciente de que, con cualquiera de estas soluciones, si bien se mejora la legibilidad del mapa, se falsea el posicionamiento de las curvas de nivel, por lo que obviamente se empeora su precisión métrica. Si ello se considera que puede ser un problema grave se

deberá introducir simbología específica que advierta al usuario de la existencia de un escarpe o pendiente abrupta aunque no le aporte la totalidad de la información métrica que había en el mapa fuente.

Las soluciones globales pueden resultar útiles sólo si el mapa que se va a generalizar no requiere que se mantenga el grueso de la información altimétrica disponible en el mapa fuente. Ello sucede en múltiples casos ya sea porque el salto de rango de escala es muy elevado o porque hay un cambio de objetivo. De hecho, en algunos mapas, la información altimétrica no es una información central sino suplementaria del mapa base. En dichas circunstancias, soluciones como la ampliación de la equidistancia entre las curvas de nivel son perfectamente asumibles.

Ahora bien, si el salto escalar no es demasiado exagerado y el uso potencial del mapa requiere representar, en tanto como sea posible la información altimétrica disponible, en ese caso, las soluciones globales parecen poco aconsejables. Un ejemplo paradigmático de ello se plantea en los mapas excursionistas, pensados para que el usuario diseñe rutas, descubra paisajes y los emplee como guía fundamental en el campo. Es posible que el nuevo mapa sea incluso más exigente en la caracterización altimétrica que el mapa topográfico fuente del que se parte. En el caso de los mapas excursionistas puede ser conveniente distinguir simbólicamente aquellos lugares tan escarpados que imposibilitan su paso sin la preparación y el instrumental adecuados de aquellos otros muy inclinados pero accesibles. En estos casos, las soluciones de carácter local son las únicas posibles. Con todo, en ninguna de las soluciones vistas ([figura 1](#)), se ataja el problema de la identificación del tipo de fenómeno que se está produciendo en una determinada zona. Es por ello, que la solución más adecuada, desde el punto de vista cualitativo y, a sabiendas de la pérdida de la función métrica de las curvas en dicha área, es la sustitución de las curvas de nivel por un símbolo adecuado que exprese con claridad la naturaleza de lo que está sucediendo. En este sentido, se ha diseñado una herramienta que ayude al operador a localizar las zonas en las que puede haber conflicto visual por el apilamiento de curvas en el nuevo mapa y aplicar la solución simbólica más adecuada.

En el presente trabajo se pretende, por tanto, establecer un método y presentar las herramientas que permiten desarrollarlo para conseguir los siguientes objetivos:

- Localizar los segmentos de curvas de nivel que pueden quedar colapsadas visualmente como consecuencia de la reducción de la escala del mapa fuente.
- Aportar distintas soluciones posibles para corregir el problema del apilamiento. Se entiende que la solución específica en cada caso ha de ser elegida por el cartógrafo y, por ello, se plantean dos líneas de solución: la que se orienta a disminuir la densidad de las curvas en la zona concreta de conflicto y la que sustituye dichas curvas por un símbolo adecuado.

2. Metodología

El método diseñado se organiza en dos fases: en la primera se trata de localizar las áreas donde puede haber conflicto visual, lo que obligará a que el cartógrafo adopte determinadas decisiones referidas a los umbrales en que se puede considerar que puede haber solape visual. En el cuarto apartado de este artículo se analizarán y discutirán con detalle los criterios que se han de tomar en consideración para resolver este dilema de la forma más correcta posible. La segunda fase

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

se desarrolla una vez ya se hayan establecido los polígonos que definen las zonas conflicto y, presenta distintas posibilidades de soluciones cartográficas.

2.1. Fase 1ª: Localización automática de las áreas en que se producen conflictos visuales entre curvas de nivel

En esta fase, se persigue que el operador que maneje la herramienta localice de forma automática las zonas que pueden crear problemas por contacto visual de las curvas de nivel (véase [figura 2](#)).

El proceso de búsqueda automatizada parte de la premisa de que las zonas de conflicto visual surgirán en aquellas áreas donde las curvas de nivel están más cerca unas de otras, es decir, donde más pendiente haya. En primera instancia, todas las zonas seleccionadas representan áreas de conflicto, aunque será en un posterior proceso donde se identifique qué es cada una de estas zonas (pendiente pronunciada o escarpe) y qué solución se le aplica.

2.1.1. Clasificación del mapa de pendientes

Si se dispone del modelo digital de elevaciones (MDE) ráster, se puede generar un mapa de pendientes, el cual nos indica el valor de la pendiente (0° - 90°) para cada píxel de la imagen. La metodología y formulación para su obtención ha sido ampliamente tratada en la bibliografía (Felicísimo, 1994; Wilson y Gallant 2000; Pardo *et al.*, 2002) y su extracción resulta sencilla mediante los comandos habitualmente disponibles en la mayoría de los SIG. A partir de este mapa de pendientes, podemos suponer que aquellas zonas con valores elevados presentan una mayor densidad de curvas de nivel ([figura 3](#)).

A nivel práctico la extracción del modelo digital de pendientes es simple pero la elección de los umbrales adecuados no necesariamente es tan fácil dado que se tendrá que tener en consideración al menos dos grupos de cuestiones. La primera es establecer a partir de qué umbral de pendiente –calculado sobre las curvas de nivel que aporta el mapa origen—se producirá un colapso visual en el mapa resultante tras el cambio de escala. Para ello se tendrá que tomar en consideración tanto la equidistancia entre curvas de nivel que existe en el mapa origen como la equidistancia que se pretende introducir en el mapa resultado, así como la resolución gráfica máxima que se puede esperar del dispositivo de salida con que se imprimirá el mapa final.

El segundo grupo de cuestiones se centra en la elección del paso de malla óptimo para el modelo digital de pendientes que se pretende utilizar. Se ha de tener en consideración que la variable pendiente, y de forma muy particular la variable pendiente máxima, es extraordinariamente sensible a la dimensión de la celda (Pardo *et al.*, 2002; Wilson y Gallant, 2000). En el apartado sobre la discusión de los resultados se retoma de nuevo este tema y se analiza la significación de estas cuestiones, estableciéndose criterios y patrones a seguir para extraer de forma óptima esta información.

2.1.2. Cierre de las zonas seleccionadas

Una vez realizado el modelo digital de pendientes —con el tamaño de celda adecuado— y establecido el umbral que se ha de emplear para localizar las zonas conflicto, normalmente aparecerá un problema relacionado con las discontinuidades en las agrupaciones de los píxeles que quedan clasificados por encima del umbral establecido. Esto se produce porque grupos de píxeles no clasificados (por debajo de la tolerancia), se interponen entre grupos cercanos de píxeles clasificados, rompiendo su linealidad ([figura 4](#)). Si bien ello puede ser admisible para un estudio analítico de las formas del terreno no lo es para actuar en la aplicación automatizada de soluciones cartográficas ya que puede crear multitud de microespacios donde aplicar las soluciones que, en realidad, desde la perspectiva de la lectura visual del mapa presentan una clara continuidad.

Para solucionar este inconveniente, se podría optar por bajar el valor del umbral, pero el resultado no sería el deseado, ya que se incluirían muchas más zonas de las que realmente tienen interés, abarcándose áreas más allá de las amalgamaciones visuales reales. Además, si bien se eliminarían algunas de las discontinuidades definidas con el primer umbral, aparecerían otras nuevas.

Por lo tanto, se ha diseñado un mecanismo que corrige estas discontinuidades, añadiendo a los píxeles clasificados aquellos intermedios que quedaron fuera de la clasificación. Para llevar a cabo esta tarea se ha recurrido a aplicar una de las operaciones básicas de morfología matemática conocida como cierre, también utilizada en generalización ráster (Ureña y Ariza, 2000), que incluye los procesos de erosión y dilatación, y está ampliamente explicada en la bibliografía de tratamiento digital de imágenes (Giardina y Dougherty, 1988, Pratt, 1991; Haralick y Shapiro, 1992; De la Escalera, 2001).

Si se aplica la operación de cierre sobre las áreas seleccionadas a partir del mapa de pendientes, se consiguen rellenar los huecos que quedan entre los conjuntos cercanos de píxeles seleccionados ([figura 5](#)). Este parámetro de cercanía puede alterarse si se modifica el tamaño de la expansión lo que se puede conseguir mediante el empleo de un elemento estructurante o matriz de píxeles de distintas dimensiones (3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, etc.), con lo que se cerrarán huecos entre conjuntos más lejanos. Conviene que se utilice el mismo tamaño para la expansión que para la erosión, ya que de esta forma, cerramos los huecos sin alterar los contornos de las áreas originales.

2.1.3. Vectorización

Una vez clasificadas las áreas de pendiente deseadas mediante la aplicación del valor umbral y corregidas sus discontinuidades se puede decir que las zonas conflicto ya han sido localizadas. Sin embargo, para facilitar la selección de las curvas de nivel que han de ser generalizadas —que evidentemente se encuentran en formato vectorial— conviene disponer del área clasificada como zona conflicto como un polígono cerrado, lo que se conseguirá mediante el procedimiento de vectorización (Jones, 1997).

Tras el proceso de vectorización el área definida en formato ráster presenta límites que muestran el pixelado lo que, las más de las veces, no resulta adecuado para los usos que se pretenden, dado que si visualmente se llega a percibir la forma de los píxeles, se produciría una

sensación artificial que redundaría negativamente en la calidad estética del mapa final. Para resolver esta situación, se puede aplicar una simplificación del borde del polígono utilizando un algoritmo de simplificación de líneas (Lang, 1969; Douglas y Peucker, 1973; Visvalingam y Whyatt, 1993) de forma que dicho borde quede más regularizado. En cualquier caso, es importante señalar que la tolerancia que se aplique en el proceso de simplificación no sea demasiado grande ya que ello puede desvirtuar la selección realizada. En la aplicación específica realizada, se ha utilizado el algoritmo de Douglas y Peucker (1973). Un ejemplo del resultado de la vectorización con la simplificación de la línea del borde del polígono puede observarse en la comparación entre las [figuras 5\(b\)](#) y [6](#).

Una vez se dispone de las zonas seleccionadas como polígonos se puede todavía mejorar o refinar el proceso de selección de las zonas donde se han de generalizar las curvas de nivel eliminando polígonos de pequeña área. Ello puede hacerse de dos maneras, o bien simplemente eliminando los polígonos de superficie menor al umbral establecido o bien uniendo esos polígonos excesivamente pequeños a otros polígonos situados a una distancia inferior a un umbral dado. En realidad, este proceso simplemente trata de refinar y mejorar el proceso de cierre aplicado sobre el modelo ráster. Tras la obtención de los polígonos definitivos simplemente resta seleccionar todos aquellos segmentos de curvas de nivel que quedan dentro de los mismos y que serán los tramos a generalizar.

Por tanto, como resumen de esta fase, se puede decir que utilizando el método propuesto el operador puede detectar, de forma automatizada, las zonas de conflicto visual entre las curvas de nivel. Además, mediante la variación del umbral de pendiente, se pueden categorizar zonas para designar soluciones homogéneas en cada una de estas categorías.

2.2. Fase 2ª: Aplicación de soluciones para resolver los conflictos visuales entre curvas de nivel

El abanico de posibilidades para automatizar soluciones al problema planteado es amplio y la elección de la solución óptima la deberá dar el cartógrafo atendiendo a las circunstancias específicas de cada mapa (objetivos, limitaciones gráficas, usuarios posibles, utilidades previstas, etc.). Desde nuestra perspectiva, sin embargo, las múltiples soluciones posibles se pueden clasificar en dos líneas principales: (a) las orientadas fundamentalmente a reducir la densidad de las curvas de nivel, ya sea mediante la separación de las mismas, ya sea mediante una eliminación selectiva de algunos tramos de curva de nivel, y (b) las que sustituyen la aglomeración de curvas que se definen como problema por un símbolo ya sea lineal o superficial.

Sea cual sea la solución que se pretenda adoptar, si se desea automatizar el proceso de generalización deberá seleccionarse la zona en la que se va a actuar y definir el entorno específico donde se va a aplicar la solución requerida. Para ello, obviamente, se utilizarán los polígonos creados en la forma hasta ahora indicada que envuelven el sector problema: ésta es la solución más sencilla y, en muchos casos, se demuestra perfectamente viable. En algunos casos, sin embargo, el área seleccionada puede presentar una forma muy irregular y angulosa, lo que generará que aparezcan demasiadas curvas entrecortadas al quedar seccionadas por el polígono que define las áreas en que hay conflicto, lo que puede dificultar su lectura y correcta interpretación. Para tratar de mejorar este problema se ha propuesto sustituir el contorno del polígono extraído con la

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

metodología explicada por un contorno más regular que se ajuste al máximo al deducido. Para ello, de entre las curvas seleccionadas, se toma aquella que queda más centrada en el polígono y presenta mayor longitud. A partir de ésta, se establece un área de influencia (*buffer*) que actuará como polígono de recorte.

Se sugieren, por tanto, tres tipos de soluciones de representación posibles con dos tipos de variantes cada una ([tabla 1](#)).

Respecto a las tres soluciones propuestas son las siguientes:

- a) Ampliar la equidistancia entre las curvas en estos lugares en los que se puede producir conflicto visual.
- b) Empleo de símbolos lineales más o menos complejos para representar la existencia de un escarpe. En estos casos, se mantendría el eje central y sobre este eje se aplicaría la solución que se considerase más adecuada: los SIG actuales disponen de bibliotecas suficientemente amplias como para que el usuario pueda adaptar el símbolo de escarpe que considere más expresivo.
- c) Empleo de simbología superficial. En otros trabajos (Palomar, 2003) se indican distintas técnicas para extraer fondos que sugieran paisajes rocosos o escarpados, siempre con el ánimo de emular las configuraciones naturales del terreno ([figura 7](#)). En ellas valdría la pena destacar (7.a) la obtención de una textura rocosa creada a partir de la manipulación de distintos filtros disponibles en software de diseño gráfico –como Photoshop®–; (7.b) la utilización de un fragmento de la ortofoto correspondiente a las zonas problema manipulado para endurecer el contraste; (7.c) la utilización del fondo de un mapa de sombras al que se le aplican una serie de filtros de distorsión para dar mayor sensación de escarpe, o (7.d) la utilización de estructuras de apariencia rocosa de cualquier lugar tomados a partir de imágenes cenitales, como por ejemplo una imagen TM de Landsat, siempre y cuando dé la sensación de mostrar un escarpe.

En cuanto a las variantes antes comentadas harían referencia al tipo de entorno elegido para seleccionar las curvas antes de su posterior tratamiento de representación. Tendríamos pues dos posibilidades para cada tipo de solución: (1) utilizar como entorno el polígono original extraído de la forma comentada en el apartado anterior, y (2) emplear un polígono definido a partir de establecer un área de influencia (*buffer*) alrededor del eje del polígono original.

3. Implementación de la metodología propuesta

Tal como ha quedado explicitado en la introducción, el objetivo del presente estudio no queda circunscrito a establecer un método sino también a desarrollar las herramientas que permitan su aplicación de forma rápida y eficiente. Se busca, por tanto, una aplicación sencilla, de rápido manejo y de amplia versatilidad en cuanto a la salida de resultados. Para ello se trabajó dentro del entorno de ArcView 3.2®, un software de funcionalidades SIG que permite la manipulación y relación de la información cartográfica, muy útil en automatización de procesos de generalización (Müller y Lagrange, 1995; Palomar, 2000, Palomar y Pardo, 2002), disponiendo también de un

potente lenguaje de programación (Avenue™) sobre el que se ha implementado toda la herramienta.

La aplicación diseñada necesita tener como datos de entrada un modelo digital de pendientes (en formato ráster) y las curvas de nivel (en formato vectorial). A partir de estos datos iniciales, el operador introduce el umbral de tolerancia de pendiente para aislar las zonas de contacto visual entre las curvas. A continuación se clasifica el mapa de pendientes y se toma la clase superior al umbral. Sobre dicha clase (en ráster) se corrigen las pequeñas discontinuidades, por aplicación de la operación de cierre y se vectoriza, obteniendo unas superficies poligonales (en vectorial), en su caso, agrupadas y simplificadas mediante un procedimiento de agrupación de polígonos. Acto seguido se eliminan aquellos polígonos de área menor a una dada. Como último paso, se selecciona el modo de representación. En el caso de seleccionar la superficie de corte como *buffer*, se obtiene previamente el eje central, definido en el epígrafe anterior, y sobre él se aplica un *buffer* de determinada anchura.

El proceso puede seguirse en el diagrama de flujo expuesto en la [figura 8](#). En la [figura 9](#) se muestra el *interface* específico creado para que el usuario introduzca los datos demandados.

4. Discusión de los resultados

La metodología propuesta, así como la herramienta creada, ha sido utilizada en distintos proyectos de generalización con la finalidad de comprobar su potencialidad y sus limitaciones. Sus resultados son sumamente satisfactorios en cuanto a velocidad de cálculo y calidad de los productos obtenidos si bien la bondad del producto final es muy dependiente de las características del MDE con que se trabaje así como de las decisiones que el usuario tome en cuanto al umbral de pendiente que ha de utilizarse y en la aplicación de la solución gráfica específica para generalizar la zona problema.

Para valorar adecuadamente el significado de estas decisiones se han realizado distintas pruebas concretas en la que se ha pretendido resolver el conflicto visual que se crearía si se pretendiese transformar la cartografía topográfica a escala 1:10.000 a un mapa excursionista a escala 1:20.000. Se ha tomado como material de base las hojas de la serie CV10 del Instituto Cartográfico Valenciano 82133, 82134, 82143 y 82144 (Cabezudo *et al.*, 2000) que se corresponden a una zona montañosa del interior de la provincia de Alicante (Serra de la Serrella). En este caso, el mapa original presenta una equidistancia entre curvas de nivel de 10 m que se desea mantener en el mapa final, dada la importancia que la información altimétrica tiene para cualquier excursionista. Se analizarán en primer lugar los criterios a tener en consideración para definir tanto los umbrales óptimos de pendiente que habrían de utilizarse y el paso de malla que debería tener el MDE que se emplee y, en segundo lugar, las soluciones cartográficas concretas que se han ido empleado.

4.1. Propuesta de valores umbral en la pendiente

La primera de las tareas realizadas ha sido determinar una propuesta de valores de umbral de pendiente para la detección de conflictos y su relación con la escala de salida del mapa. Para ello se utiliza la tolerancia gráfica en un mapa impreso determinada según la expresión [1] que es la que la bibliografía general acepta como la más adecuada (Keates J., 1973, Robinson A., 1987, Bernabé M., 1995)

$$Tg \text{ (m)} = [0,2 \text{ (mm)} * D] / 1000 \quad [1]$$

donde Tg es la tolerancia gráfica (expresada en metros) y D es el denominador de la escala del mapa de salida. En principio se ha utilizado esta relación estandarizada que está fundamentada en los límites de la resolución visual máxima que el usuario puede tener y que presupone una impresión de alta calidad, aunque en el caso de que se utilice un sistema de impresión gráfica de escasa calidad el factor debería aumentar. Como se puede deducir de lo dicho hasta ahora, se está utilizando la pendiente como parámetro para detectar cuán separadas deberían teóricamente estar las curvas de nivel para no entrar visualmente en contacto.

Así, si se toma un mapa con curvas de nivel con equidistancia de 10 metros, como sucede con los mapas de la serie CV10, y se quiere obtener una impresión de dicho mapa a escala 1/20.000, la mínima separación que podríamos tolerar entre las curvas de nivel para que no ofreciesen un efecto de contacto visual sería de 4 metros ($0,2 \text{ mm} * 20.000 / 1000$). Como la equidistancia es de 10 metros, despejando de la relación entre la pendiente (α), el desnivel (dz) y la longitud (dl) entre dos puntos ([figura 10](#)), tenemos que el umbral aconsejado será de 78° .

De esta manera, se pueden confeccionar unas gráficas ([figura 11](#)), donde se muestre el umbral sugerido para la detección de conflictos según la escala de salida y según el factor de tolerancia gráfica que se tome en consideración.

Ahora bien, no necesariamente todas las zonas de conflicto visual se han de corresponder con la existencia de escarpes. La gráfica, ha de entenderse que simplemente refleja las pendientes máximas que podrán ser representadas sin que haya solape visual pero no necesariamente la existencia de un escarpe morfológico en el terreno. De hecho, puede observarse ([figura 11](#)) que si el mapa que se desea construir ha de ser a escala 1:40.000 y se utiliza un sistema de impresión de escasa calidad por lo que se aplica una tolerancia gráfica de 0,4 mm el solape entre curvas con una equidistancia de 10 m se produciría prácticamente con 30° lo que, obviamente, no implica la existencia de ningún escarpe. Si para la finalidad del mapa que se pretende crear —por ejemplo un mapa excursionista— se desea distinguir las zonas de escarpe de las zonas de fuerte pendiente ello deberá ser tomado en consideración por parte del cartógrafo.

4.2. Grado de ajuste del umbral en relación a la resolución del modelo digital de elevaciones

Tras la aplicación del operador de cierre a la clasificación del mapa de pendientes y en función de una pendiente umbral establecida según la regla señalada en el apartado anterior, se obtiene un mapa ráster que posteriormente es vectorizado. El grado de ajuste de la figura o polígono extraído respecto a la zona real donde se dará el conflicto será extraordinariamente dependiente del

paso de malla del MDE utilizado para la realización del mapa de pendientes. Para tratar de calibrar esta significación y de fijar criterios lógicos de elección del paso de malla que se debería utilizar se ha diseñado un test para medir el grado de ajuste de las figuras definidas por las agrupaciones de píxeles a las zonas de conflicto reales entre curvas de nivel.

Como zona de pruebas, se ha seleccionado un área de curvas determinada, sobre la que se ha aplicado un procedimiento para obtener aquellas que quedan a una distancia menor a un valor dado que estaría establecido según la escala de salida y de la tolerancia gráfica tal como queda explicitado en la regla vista en el apartado anterior ([figura 11](#)). En concreto, se han obtenido las curvas que, para la zona de muestras ([figura 12](#)), tendrían problemas de contacto si su distancia fuese menor a 4 metros, esto es, la equidistancia de las curvas es de 10 metros, la escala final es 1:20.000 y el factor de tolerancia gráfica es 0,2 mm ([figura 13](#)).

A continuación, se han calculado varios MDE ráster con diversas resoluciones espaciales, que han servido de base para obtener otros tantos mapas de pendientes. Tras esto, se han realizado diversas clasificaciones por pendiente y se ha visto cuáles de ellas se ajusta más a las curvas situadas en las áreas de contacto. En concreto, se han realizado tres MDE con resoluciones de 10, 8 y 5 metros, con un rango de clasificaciones de 75° a 30°, espaciadas un intervalo de 5°, lo que nos da un total de 30 combinaciones. En cada modelo se ha obtenido el mejor umbral de ajuste y luego se han comparado entre sí.

El cálculo del ajuste se ha hecho siguiendo el siguiente proceso: se ha obtenido la superficie real de conflicto dibujando sobre el mapa el polígono que englobaría las zonas donde el cartógrafo observa que hay solape (lo que en este caso ha supuesto una superficie de 8.820 m²) y se ha comparado con la superficie obtenida por cada clasificación extraída automáticamente una vez vectorizada. A continuación, se hace una unión topológica entre la superficie real y la clasificada para obtener el área real cubierta por la clasificación y el área que, estando clasificada, no pertenece a la superficie de conflicto, esto es, se calculan las zonas de la superficie clasificada que quedan "dentro" y "fuera" del área de conflicto ([figura 14](#)). De esta forma, el umbral que producirá un mejor ajuste será aquel que incluya más superficie de conflicto y menos superficie fuera de ella.

Los resultados numéricos se muestran en las siguientes tablas, en las que se expresa la relación de ajuste para un MDE de 10 x 10 m ([tabla 2](#)), 8 x 8 m ([tabla 3](#)) y 5 x 5 m ([tabla 4](#)). Las columnas de las tablas siguientes muestran el umbral de pendiente en grados sexagesimales, el área clasificada dentro (superficie incluida, SI) y fuera (superficie excluida, SE) de la superficie real según el umbral, el porcentaje de área clasificada dentro de la superficie real (proporción de superficie incluida, PSI), el porcentaje de área clasificada fuera respecto del total de área clasificada (proporción de superficie excluida, PSE) y finalmente el ratio de ajuste (RA) que se deduce por la relación de los dos últimos, es decir $RA = SI / PSE$ y que se puede utilizar para estimar el grado de ajuste.

El umbral que produce mayor ajuste es el que tiene el ratio de ajuste más cercano a 0, lo que significa que se escogerá el umbral cuya superficie interior se parezca más a la superficie de conflicto y la superficie exterior sea la más pequeña posible. En los casos analizados, se puede ver que para el tamaño de píxel de 10 metros, el umbral que mejor se ajusta es el de 60°, prácticamente con el mismo ratio que el de 55°. En el caso de la resolución de 8 metros, el umbral se sitúa

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

claramente en 60° y finalmente, para una resolución de 5 metros, el umbral que ofrece mejor ajuste sube a 65°.

Si nos fijamos ahora en la [figura 15](#), donde se muestra la gráfica comparativa entre los ratios de ajuste en los tres casos mostrados anteriormente, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- El grado de ajuste mejora cuanto mayor es la resolución del modelo inicial de pendientes. En la zona final de la gráfica, las tres líneas tienen a igualarse, formando una cola. Esto es debido a la gran diferencia entre la superficie interior y exterior al área de conflicto.
- Conforme vamos aumentando la resolución del modelo, el umbral de mejor ajuste se produce antes, es decir, tiene un valor mayor (55°-60°, 60° y 65°). De esto se deduce que cuanto mayor sea la resolución, más nos acercaremos al umbral teórico sugerido por la gráfica de la [figura 11](#), para un nivel de tolerancia gráfica dado (en este caso el umbral sugerido es de 68°, para una escala de 1:20.000, una tolerancia gráfica de 0,2 mm. y una equidistancia de 10 metros).

Como es bien sabido no siempre es posible utilizar razonablemente un MDE con un máximo de resolución ya que ello depende de la calidad métrica de los datos originales utilizados en su confección y, además, una mayor resolución implica, a su vez, un incremento exponencial de la carga informática y, por tanto, de la capacidad de manejo. Es por ello que el usuario debería ser cauto a la hora de utilizar las herramientas diseñadas y, en el caso de no disponer de un MDE de muy alta resolución, convendría que utilizase como umbral un valor ligeramente inferior al que se deduciría teóricamente a partir de la regla expresada en la [figura 11](#).

En la [figura 16](#) se muestran gráficamente algunos de los ajustes obtenidos. Cada una de ellas muestra las curvas en conflicto (en rojo) y el conjunto de píxeles clasificados por encima del umbral a partir del mapa de pendientes (en amarillo).

4.3. Soluciones cartográficas empleadas para simbolizar la zona de conflicto

Con las consideraciones anteriores, se han realizado diversas pruebas para determinar en cada método de representación propuesto (ver apartado 2.2.) los mejores resultados en función de los parámetros adecuados de entrada (figuras 17, 18 y 19). El primer grupo de pruebas corresponde a la ampliación de la equidistancia entre las curvas de nivel en la zona de conflicto. En la [figura 17](#) se muestra la aplicación al caso real comentado anteriormente visto a la escala del mapa fuente (1:10.000) y del de salida (1:20.000), indicándose en el pie de figura los parámetros específicos empleados en este caso. La figura permite apreciar como se resuelve el conflicto de amalgamamiento de las curvas de nivel. En el ejemplo mostrado, se aprecia una clara descarga del volumen de densidad de curvas en esa zona, y por tanto, un "alivio" visual que genera un aumento de la legibilidad de los elementos adyacentes a esta zona.

Respecto al empleo como superficie de recorte del polígono extraído mediante el procedimiento señalado en el artículo y que envuelve la zona problema o del *buffer* determinado a partir del eje del polígono se puede observar que las principales diferencias se asocian al mayor

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

recorte producido en el caso de la aplicación del polígono original (figura derecha), debido a su mayor irregularidad.

La segunda de las soluciones adoptadas ([figura 18](#)) ha sido la de introducir un símbolo lineal que marca el escarpado. Se ha utilizado un símbolo clásico, muy parecido a las soluciones que se proponen en el ámbito de la geomorfología para mostrar los cantiles o escarpes (Peña Monné *et al.*, 1997). Entendemos que es importante que los símbolos que se empleen presenten el mayor grado de universalidad posible dado que, con ello, se facilita la lectura. En todo caso, se ha de tener en consideración que la dimensión del símbolo, en ningún momento, puede llegar a superponerse sobre el resto de las curvas de nivel situadas fuera de la zona problema dado que, entonces, crearía una fuerte confusión.

Las diferencias entre el empleo del *buffer* y del polígono original provienen otra vez de la mayor irregularidad en el extremo de las curvas cortadas en aquellos casos en que se ha aplicado el polígono original, El empleo del *buffer*, como se puede apreciar, hará que se produzcan menos cortes con las curvas de nivel adyacentes lo que proporciona mayor claridad al resultado final.

Como última modalidad de solución de la representación de la zona conflicto se presenta un caso en el que sobre el polígono problema se ha introducido un fondo que emula una escarpa rocosa visto cenitalmente utilizando el método propuesto por Palomar (2003). Como se puede observar en el [figura 19](#) la solución, en este caso, se ha aplicado sobre un mapa en el que, además de tratar la zona problema se ha introducido un sombreado que permite interpretar con facilidad la forma del terreno. Con ello, el conjunto de la representación gana en realismo y, por tanto, en la facilidad de ser interpretado por cualquier clase de usuario.

Una vez observadas las distintas soluciones adoptadas sería razonable preguntarse sobre cuál es la mejor de las opciones: la respuesta, como siempre, no es simple. Desde nuestra perspectiva la segunda y tercera solución son más fácilmente apreciables por cualquier usuario, ello de entrada es un valor positivo que la primera solución presenta con menor contundencia. Sin embargo, tanto la segunda como la tercera solución entendemos que sólo tiene sentido utilizarla si sobre el terreno, de hecho, existe un cantil o escarpe. De manera que, podría ser razonable utilizar la ampliación de la equidistancia para aquellos lugares con suficiente pendiente como para que en el mapa exista conflicto visual pero, en la realidad, no haya un escarpe. La segunda y tercera soluciones se aplicarían para este último caso. ¿Cuál de las dos es más conveniente? De entrada sería razonable utilizar la tercera solución si sobre el resto del mapa también se incluye un sombreado del relieve: en ese caso, la solución resulta sumamente realista y atractiva. Ello, sin embargo, no siempre es adecuado –por ejemplo, porque se desea mostrar mediante símbolos superficiales cualquier otra clase de información—y en esos casos, cuando el relieve se desea mostrar sólo mediante símbolos lineales, es más razonable representar los escarpes mediante la segunda solución.

5. Conclusiones

Tal como ha quedado evidenciado a lo largo del conjunto del trabajo se ha desarrollado una metodología específica –acompañada de una herramienta informática—con la que se pueden

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", GeoFocus (Artículos), n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

resolver con un elevado grado de automatismo los conflictos visuales que se producen entre curvas de nivel durante los procesos de generalización cartográfica. Si hablamos de un elevado grado de automatismo y no de un método automático es porque las vías de solución propuestas pretenden, a propósito, permitir al cartógrafo operador tomar decisiones fundamentales en los procesos que se van desarrollando, ya que cada producto cartográfico tiene unos objetivos específicos y unos condicionantes técnicos que el cartógrafo deberá, necesariamente, tomar en consideración. Se ha desarrollado, por tanto, un método y una herramienta, suficientemente flexible para que el usuario lo aplique según las conveniencias de cada mapa que se pretenda generalizar.

Las distintas soluciones aportadas se han fundamentado, principalmente, en análisis realizados desde un entorno propio de los Sistemas de Información Geográfica y la explotación de los Modelos Digitales de Elevación. Desde esa perspectiva valdría la pena concluir que:

- La calidad de los datos originales que constituyen el MDE inicial, condicionará el resultado final de la representación, independientemente de la solución empleada.
- La explotación del modelo derivado de pendientes y la utilización de operadores de morfología matemática, se revelan de gran utilidad en las tareas de selección de áreas cartográficamente significativas resolviendo los problemas de atomización de las áreas seleccionadas. El empleo de operadores de cierre, combinando expansión y erosión, han permitido confeccionar unidades cartográficamente lógicas con las que se ha podido establecer el polígono de las zonas de conflicto.

A lo largo del artículo se han analizado los condicionantes que el cartógrafo deberá tomar en consideración y, en base a ello, entendemos que vale la pena destacar lo siguiente:

- El cartógrafo ha de buscar sobre el MDE que trabaje el umbral de pendiente que le permita localizar las zonas problema. Para hacerlo deberá atender a la escala y la equidistancia de las curvas de nivel en el mapa de salida y a las características del dispositivo de impresión que vaya a emplearse. Utilizando la regla expuesta en la [figura 11](#) se podrá establecer el umbral teórico a partir del cual se puede suponer que existirá solapamiento visual entre las curvas, pero posteriormente deberá tomar en consideración el paso de malla del MDE que utilice.
- El umbral más adecuado será siempre inferior al teórico y se desviará tanto más cuanto más amplio sea el paso de malla del mapa de pendientes utilizado.

En referencia a las soluciones cartográficas que habrán de aplicarse en las zonas de conflicto, de los resultados presentados se podría señalar que:

- El aumento de la equidistancia entre las curvas de nivel en la zona de conflicto puede ser una buena solución que tiene lógica que se aplique en zonas conflictivas pero en las que no hay un escarpe. Será fundamental, en todo caso, que la interrupción de las curvas afecte no sólo a curvas normales sino también a las maestras para que visualmente resalte más la modificación local que se está aplicando.
- El empleo de símbolos lineales es especialmente recomendable en zonas con escarpe cuando el relieve, en el resto del mapa, se describe sólo mediante el empleo de isohipsas.

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

Conviene, en todo caso, que el símbolo lineal que se emplee presente un elevado grado de universalidad.

- La utilización de texturas o simbología superficial como la propuesta para representar escarpes resulta extraordinariamente realista, pero ello exige, para que el mapa en su conjunto tenga coherencia, que el relieve, aparte de quedar expresado por curvas de nivel quede también manifestado por un fondo de sombreado.

Referencias bibliográficas

- Bernabé Poveda, M. A. e Iturrioz Aguirre, T. (1995): *Elementos del diseño cartográfico*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- Buttenfield, B. y McMaster, R. (1991): *Map generalization: making rules for knowledge representation*. England, Longman Scientific & Technical.
- Cabezudo, L., Porres, M. J. y Rubio, M. M. (2000): "La serie CV-10 del Instituto Cartográfico Valenciano", *Actas del VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía (TOPCAR 2000)*, pp. 52-57.
- De la Escalera, A. (2001): *Visión por computador. Fundamentos y métodos*. Madrid, Prentice Hall.
- Douglas, D. H. y Peucker, T. (1973): "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", *The Canadian Cartographer*, 10, 2, pp. 112-122.
- Felicísimo, A. M. (1994): *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo, Pentalfa Ediciones.
- Giardina, C. R.; Dougherty, E. R. (1988): *Morphological methods in image and signal processing*. New Jersey, Prentice-Hall.
- Haralick, R. M. y Shapiro, L.G. (1992): *Computer and robot vision*. New York, Addison-Wesley Publishing Co., Vol. 1.
- Imhof, E. (1982): *Cartographic relief presentation*. Berlin, Walter de Gruyter.
- Iribas, J. (2000): *Diseño y elaboración de un procedimiento interactivo de obtención del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 por generalización cartográfica del MTN25*. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria.
- Jones, C. (1997): *Geographical information systems and computer cartography*. England, Prentice-Hall.
- Keates, J.S. (1989): *Cartographic design and production*. Longman Scientific & Technical.
- Lang, T. (1969): "Rules for robot draughtsmen", *Geographical Magazine*, 42, pp. 50-51.
- Müller, J. C. y Lagrange, J. P. (1995): *GIS and generalization. Methodology and practice*. Londres, Taylor & Francis.
- Palomar Vázquez, J. (2001): "Los SIG como herramientas de ayuda a la generalización cartográfica bajo demanda", *VI Jornadas de Ingeniería de Software y Bases de Datos, Almagro*, pp. 157-165
- Palomar Vázquez, J. (2003): *Desarrollo de estrategias, métodos y herramientas para la automatización y mejora de los procesos de producción cartográfica. Aplicación a la generación de mapas excursionistas*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Pardo, J., Acosta, P. y Porres, M. (2002): "Quality assesment of digital elevation models deduced from digital cartography for hydrogeomorphological applications", *3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Valencia. Actas de la Asamblea*. Valencia, 3, pp. 1746-1750.

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): “Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

Peña Monné, J. L., Pellicer Corellano, F., Chueca Cía, J., Julián Andrés, A. (1997): “Leyenda para mapas geomorfológicos a escalas 1:100.000/1:200.000 y 1:25.000/ 1:50.000”, en J. L. Peña Monné (ed.): *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Logroño, Geoforma Ediciones, pp. 127-144.

Pratt, W. K. (1991): *Digital image processing*, John Wiley and Sons, New York.

Robinson, A. H., Sale, R. D., Morrison, J. L. y Muehrcke, Ph. C. (1987): *Elementos de cartografía*. Barcelona, Omega.

Ureña, M. y Ariza, F. J. (2000): “Mathematical morphology applied to raster generalization of urban city block maps”, *Cartographica*, 31, 1, pp. 33-48.

Vázquez, F.; Martín, J. (1995): *Lectura de mapas*. Madrid, UPM, 3ª edición.

Visvalingam, M. y Whyatt, J. D. (1993): “Line generalization by repeated elimination of points”, *Cartographic Journal*, 30, 1, pp. 46-51.

Wilson J.P.; Gallant J.C. (2000): *Terrain Analysis. Principles and applications*. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente con el proyecto de investigación BTE2002-04552-C03-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

TABLAS

Tabla 1. Variantes adoptadas en la solución de conflictos visuales entre curvas de nivel.


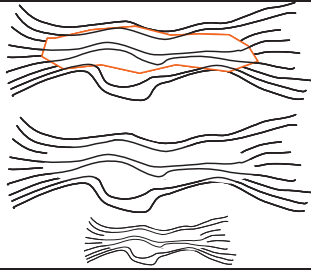
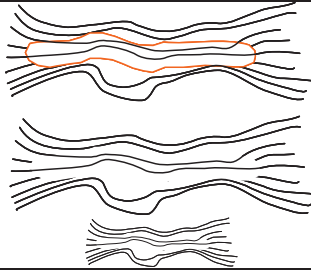
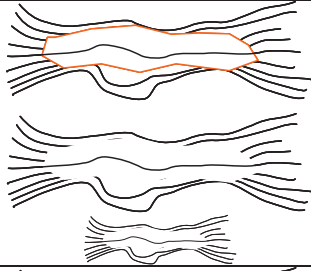
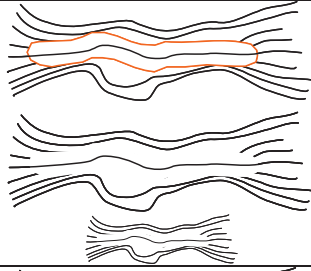
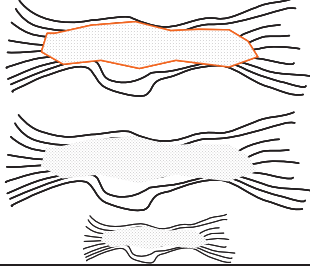
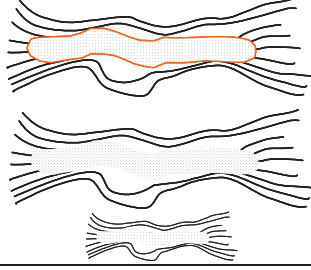
Imagen original (a la derecha reducción del 50%)		
Representación / entorno de corte	i) Entorno de corte como polígono	ii) Entorno de corte como <i>buffer</i>
1) Representación con ampliación de equidistancia		
2) Representación con un símbolo lineal sobre el eje central		
3) Representación con simbología superficial		

Tabla 2. Ratio de ajuste (RA) para un modelo de pendientes con resolución de 10 metros

Umbral (°)	SI (m ²)	SE (m ²)	PSI (%)	PSE (%)	RA
≥75	407,5	92,5	4,6	18,5	4,00
≥70	1.898,7	1.701,3	21,5	47,3	2,20
≥65	5.072,7	4.927,3	57,5	49,3	0,86
≥60	7.038,5	10.261,6	79,8	59,3	0,74
≥55	8.060,6	17.339,4	91,4	68,3	0,75
≥50	8.440,5	26.259,5	95,7	75,7	0,79
≥45	8.611,9	36.388,1	97,6	80,9	0,82
≥40	8.700,1	57.899,9	98,6	86,9	0,88
≥35	8.731,8	78.568,2	99,0	90,0	0,91
≥30	8.731,8	95.668,2	99,0	91,6	0,91

Tabla 3. Ratio de ajuste (RA) para un modelo de pendientes con resolución de 8 metros

Umbral (°)	SI (m ²)	SE (m ²)	PSI (%)	PSE (%)	RA
≥75	1.143,7	648,3	13,0	36,2	2,79
≥70	2.855,5	1.816,5	32,4	38,9	1,20
≥65	5.417,2	4.566,8	61,4	45,7	0,74
≥60	7.213,4	9.810,6	81,8	57,6	0,70
≥55	8.327,7	17.080,3	94,4	67,2	0,71
≥50	8.599,2	25.768,8	97,5	75,0	0,77
≥45	8.690,9	36.365,1	98,5	80,7	0,82
≥40	8.740,4	56.155,6	99,1	86,5	0,87
≥35	8.758,9	78.473,1	99,3	89,9	0,91
≥30	8.759,1	95.880,8	99,3	91,6	0,92

Tabla 4. Ratio de ajuste (RA) para un modelo de pendientes con resolución de 5 metros

Umbral (°)	SI (m ²)	SE (m ²)	PSI (%)	PSE (%)	RA
≥75	1.925,0	725,0	21,8	27,4	1,25
≥70	3.926,3	1.798,7	44,5	31,4	0,71
≥65	6.443,0	4.807,0	73,0	42,7	0,58
≥60	7.894,6	9.705,4	89,5	55,1	0,62
≥55	8.485,8	16.464,2	96,2	66,0	0,69
≥50	8.694,5	25.055,4	98,6	74,2	0,75
≥45	8.739,7	35.385,3	99,1	80,2	0,81
≥40	8.764,9	54.010,1	99,4	86,0	0,87
≥35	8.768,5	76.881,5	99,4	89,8	0,90
≥30	8.772,9	96.102,1	99,5	91,6	0,92

FIGURAS

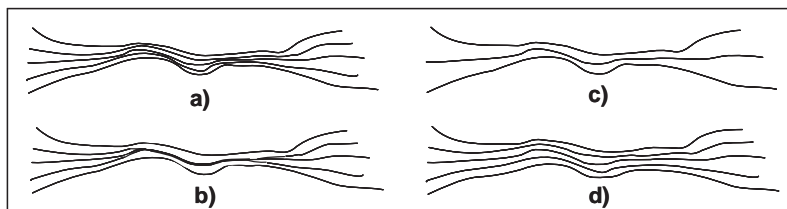


Figura 1. a) Original; b) Sustitución por línea de solape; c) Eliminación de curvas; d) Aumento de la separación

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

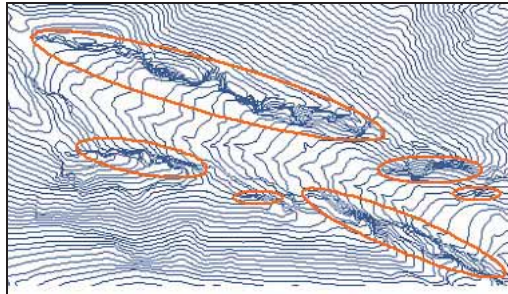


Figura 2. Zonas de conflicto visual entre curvas de nivel

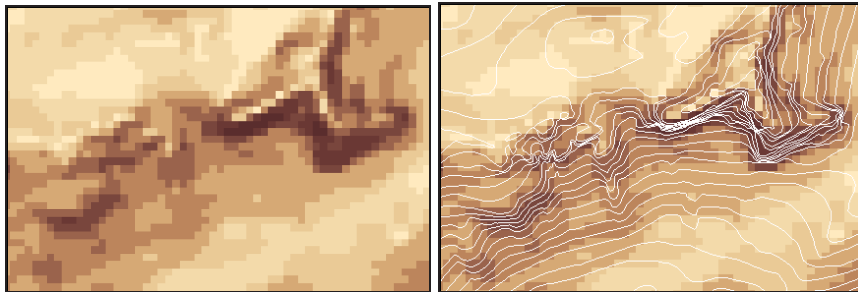


Figura 3. Mapa de pendientes original y superposición con las curvas de nivel. Las zonas más oscuras corresponden a pendientes por encima de los 50°

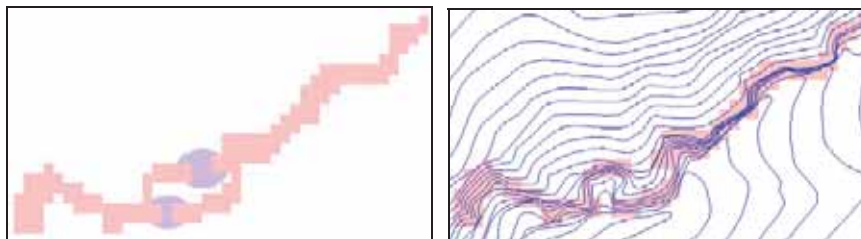


Figura 4. Las áreas de color morado marcan las zonas de discontinuidad, que sin embargo, deberían permanecer unidas para obtener un resultado coherente

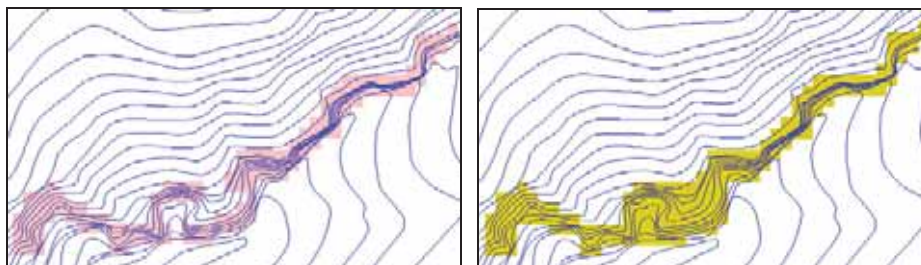


Figura 5. Ejemplo de aplicación de cierre sobre la clasificación de las áreas de mayor pendiente. (a) Existencia de "huecos". (b) Aplicación del operador de cierre

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

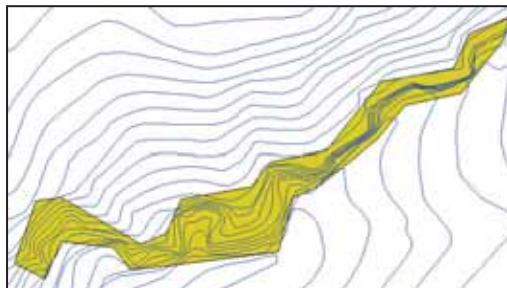


Figura 6. Vectorización de las zonas de mayor pendiente en la que se ha aplicado una simplificación en la forma del borde del polígono, utilizando para ello el algoritmo de Douglas-Peucker (1973).

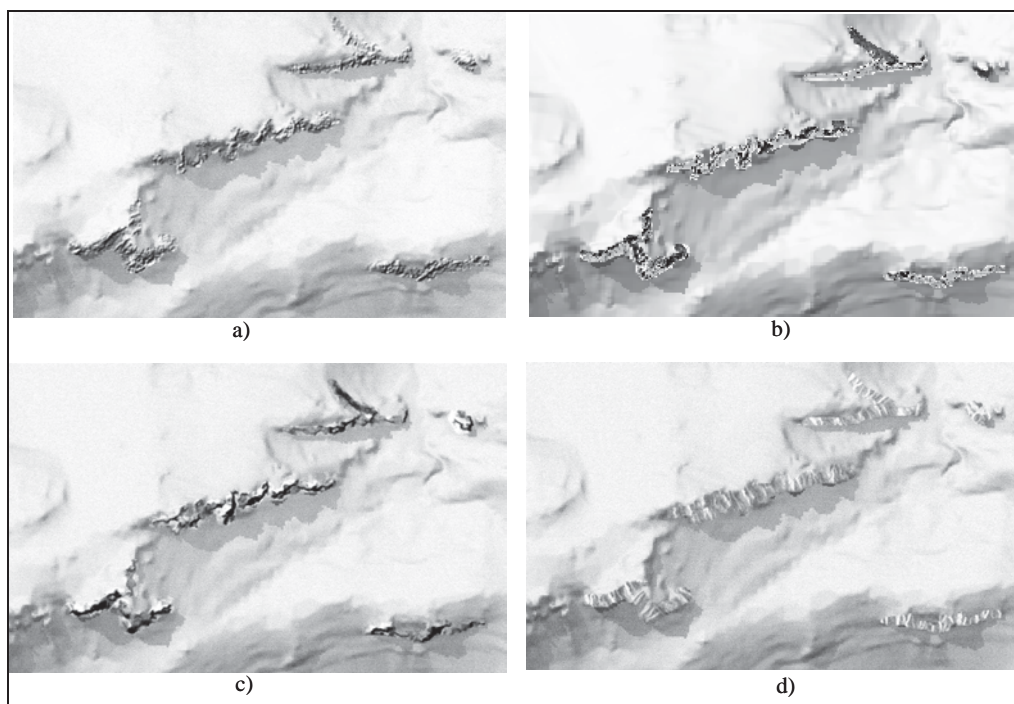


Figura 7. Aplicación de diversas técnicas de obtención de texturas a la simbolización de áreas de escarpado (ver texto). Fte. Tomado de Palomar (2003).

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, nº 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

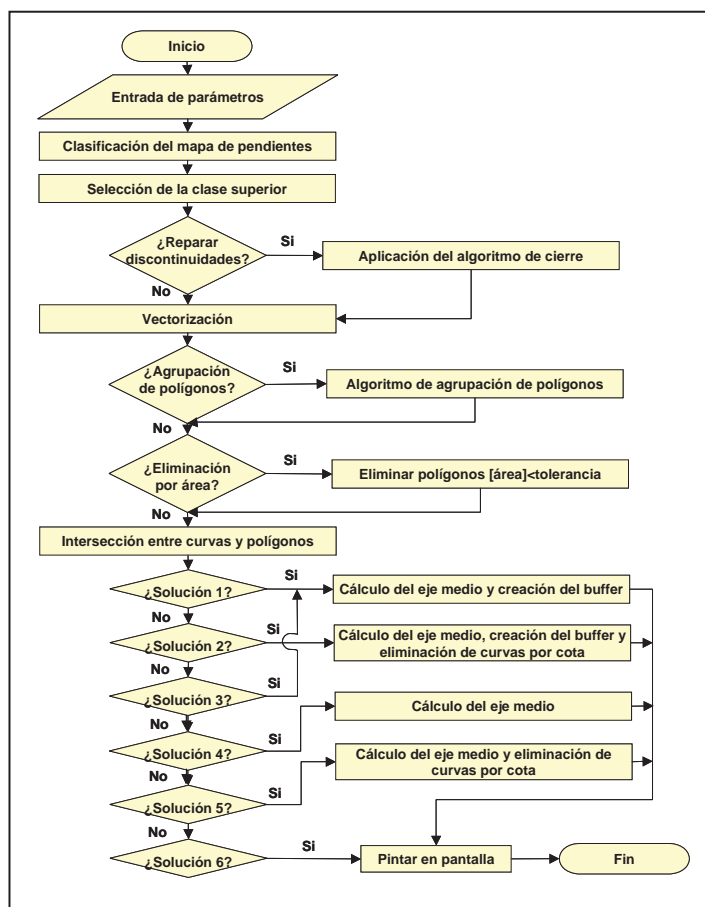


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de solución de conflictos de curvas de nivel

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

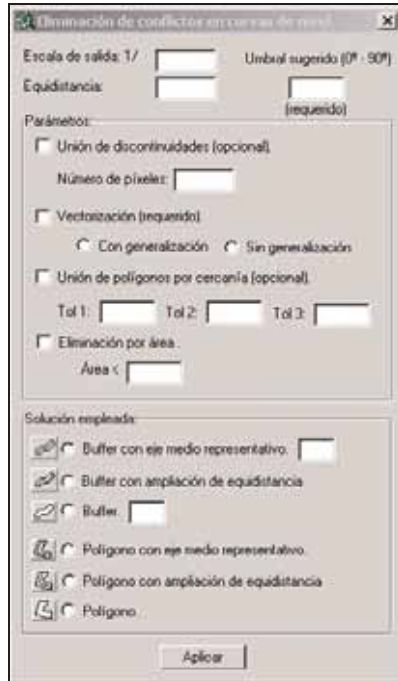


Figura 9. Interface de la aplicación

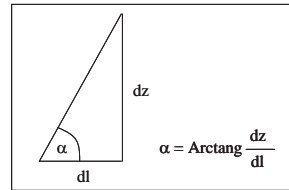


Figura 10. Expresión del cálculo de la pendiente.

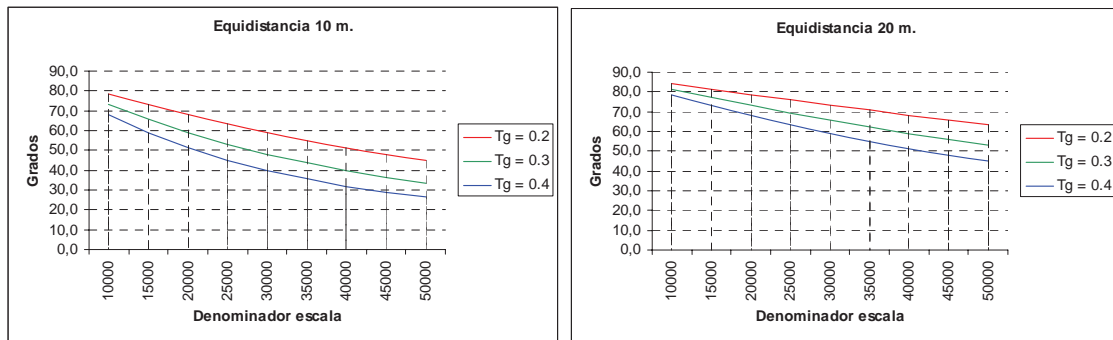


Figura 11. Gráficas de umbral de pendiente para las equidistancias de 10 y 20 metros

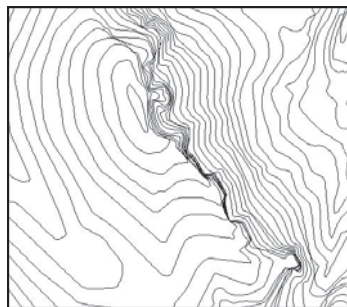


Figura 12. Zona de pruebas

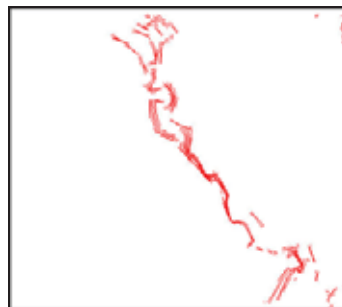


Figura 13. Curvas en conflicto

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

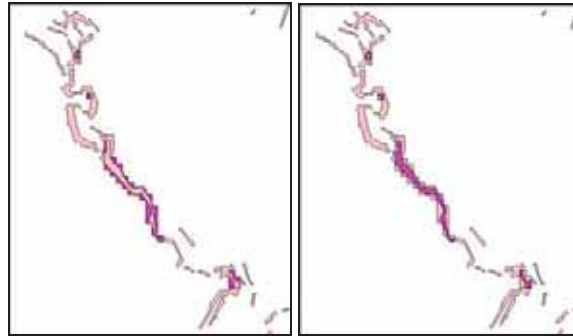


Figura 14. Superficie clasificada fuera y dentro del área de conflicto (en color oscuro)

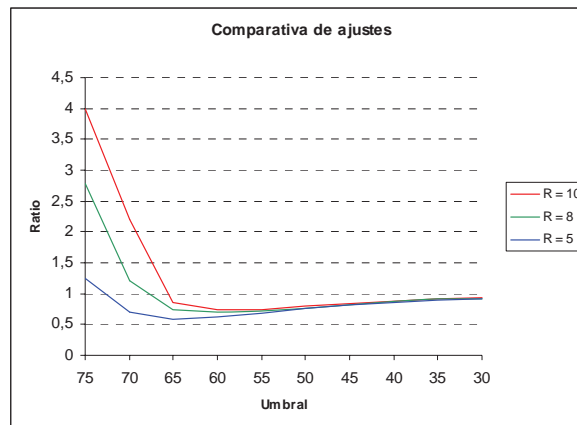


Figura 15. Gráfica comparativa de ratios de ajuste (RA)

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

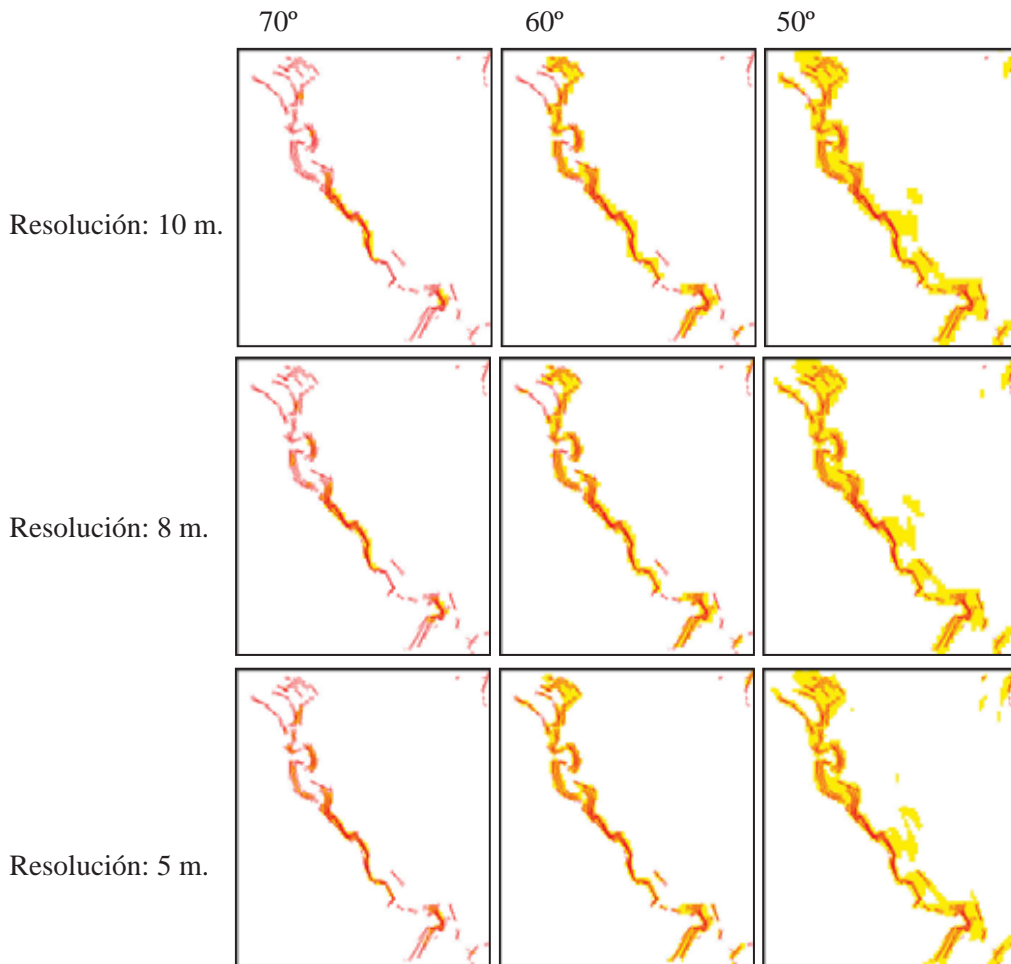


Figura 16. Ajuste a la zona de conflicto para un mapa de pendientes de 10, 8 y 5 metros de tamaño de píxel, con los umbrales 70°, 60° y 50° respectivamente. En las imágenes se observa que para el primer caso, el mejor ajuste lo proporciona el umbral de 60°, ya que el de 70° deja una amplia zona de conflicto sin detectar, y el umbral de 50°, detecta zonas que realmente no son conflictivas. En el segundo caso, La valoración vuelve a ser la misma que en el caso anterior, quedando el umbral de 60° como el que ofrece el mejor ajuste. En la última serie, el mejor ajuste obtenido se obtuvo con un umbral de 65°.

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

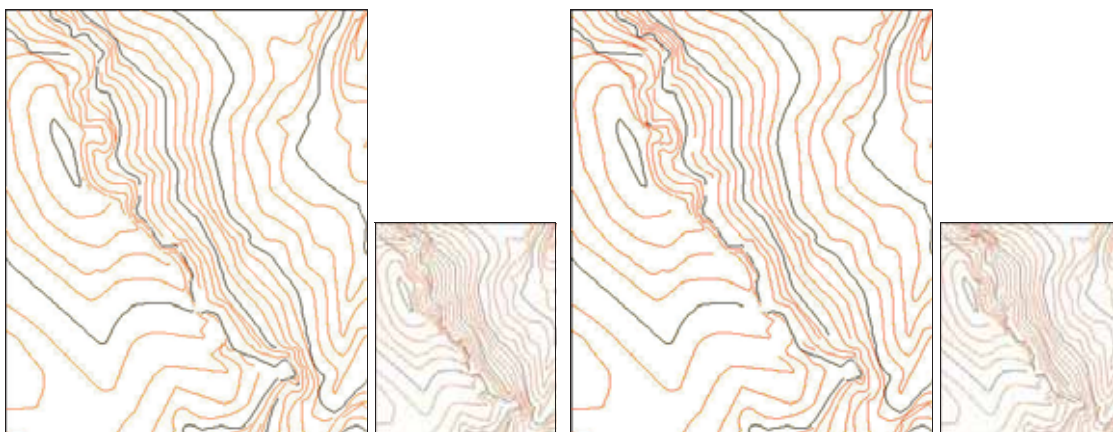


Figura 17. Solución de ampliación de equidistancia y superficie de recorte como *buffer* (izquierda) o como polígono (derecha). Parámetros: umbral 63°, unión de discontinuidades de un píxel, vectorización con generalización de contorno, eliminación de polígonos menores de 300 m² y tamaño de *buffer* de 20 metros. Escala de salida 1:10.000. Escala de llegada 1:20.000.

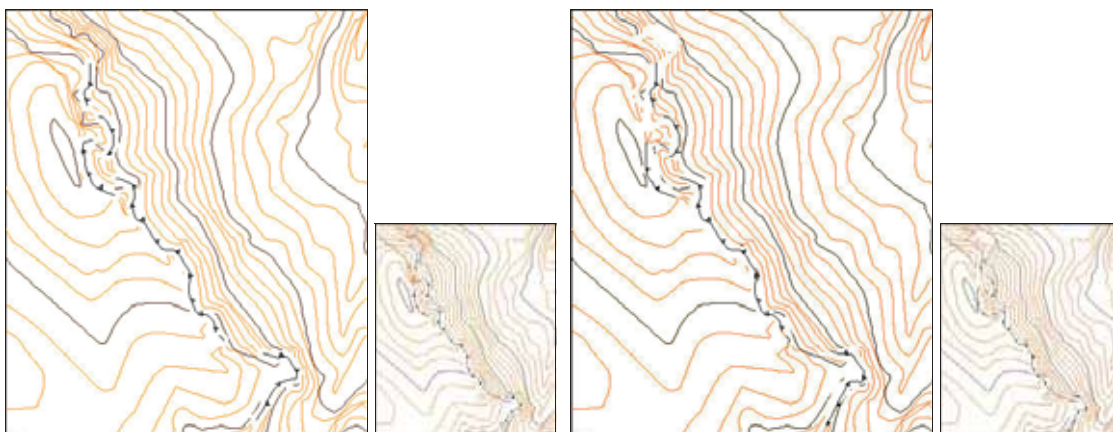


Figura 18. Solución con eje central y fondo como *buffer* (derecha) o como polígono (izquierda). Parámetros: umbral 63°, con unión de discontinuidades de un píxel, vectorización con generalización de contorno, eliminación de polígonos menores de 300 m² y tamaño de *buffer* de 20 metros. Escala de salida 1:10.000. Escala de llegada 1:20.000.

Palomar Vázquez, J. y Pardo Pascual, J. E. (2004): "Resolución de conflictos visuales entre curvas de nivel en los procesos de generalización cartográfica", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 110-135. ISSN: 1578-5157

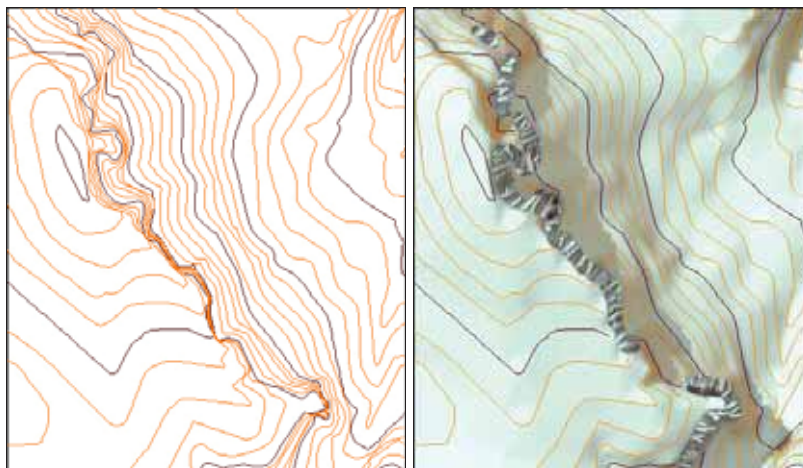


Figura 19. Solución con textura y *buffer* como superficie de recorte.

Parámetros: umbral 63°, vectorización con generalización de contorno, unión de discontinuidades de un píxel, eliminación de polígonos menores de 300 m² y tamaño de *buffer* de 20 metros. Escala de salida 1:10.000.

Escala de llegada 1:20.000. La imagen de la izquierda es la original de curvas de nivel y la de la derecha muestra el resultado de aplicar texturas y su composición con un fondo de sombreado.

¹ Valdría la pena destacar algunos como CHANGE (Institute of Cartography, Hannover University, Generalization Software), especializado en la generalización de edificaciones y vías de comunicación; DynaGEN (sustituto de MGMG) desarrollado por Intergraph (norteamericana), y cuya programación está orientada a objetos; LAMPS2 Generalizer, software de la casa Laser Scan (británica), también orientado a objetos; o un módulo específico para ArcInfo, el extendido sistema de información geográfica de la empresa estadounidense ESRI.