



Arranz Justel, J. J., Novoa Plasencia, A. y Sánchez Tamargo, D. (2011): "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 249-264. ISSN: 1578-5157

ESTADO DEL ARTE DE ALGORITMOS DE GENERALIZACIÓN VECTORIAL DE NÚCLEOS URBANOS

JOSÉ JUAN ARRANZ JUSTEL¹, ANDRÉS NOVOA PLASENCIA² y
DAVID SÁNCHEZ TAMARGO³

Universidad Politécnica de Madrid
Campus Sur Carretera de Valencia km 7.5 C.P.28031 Madrid, España
josejuan.arranz@upm.es¹, andres.novoa.plasencia@alumnos.upm.es²
david.stamargo@alumnos.upm.es³

RESUMEN

Se presenta este artículo con el ánimo de enumerar y estudiar diferentes algoritmos que tratan la generalización de datos cartográficos vectoriales de zonas urbanas, debido a que en ellas se concentran la mayoría de los conflictos que se pueden encontrar en los procesos de generalización cartográfica. A pesar de que la generalización es uno de los procedimientos más difíciles de automatizar, existen herramientas que implementan estos algoritmos y ofrecen resultados satisfactorios, aunque ninguna de ellas es capaz de automatizar por completo el proceso de generalización. A continuación, se incluyen las pruebas realizadas al respecto, describiendo y analizando los resultados obtenidos, estableciendo una comparativa con trabajos realizados por diferentes autores. Se concluye el documento valorando los posibles trabajos futuros para solventar la problemática de la generalización cartográfica. Este estudio se encuentra en el marco del proyecto CENIT España Virtual.

Palabras clave: Generalización vectorial, núcleos urbanos, cartografía.

STATE OF THE ART OF ALGORITHMS OF VECTOR GENERALIZATION OF URBAN AREAS

ABSTRACT

This article is focused in studying different algorithms about generalization of vector map data from urban areas, because most of the conflicts in the processes of cartographic generalization are concentrated in these areas. Although generalization is one of the most difficult processes to automate, there are tools that implement these algorithms and provide satisfactory results. However,

none of them can automate the process of generalization completely. Then tests in describing and analyzing the results are included, establishing a comparison with works of various authors. The document concludes by assessing the possible future works to solve the problem of cartographic generalization. This study is within the CENIT project España Virtual.

Keywords: Vector generalization, urban areas, mapping.

1. Introducción

En este documento se abordan algoritmos concernientes a la generalización de datos vectoriales atendiendo, de manera particular, a aquellos aplicables en cartografía de zonas urbanas, debido a que en ellas se concentran la mayoría de los conflictos que se pueden encontrar en los procesos de generalización cartográfica. Para ello, se ha realizado un estudio exhaustivo de los diferentes procedimientos vinculados con la generalización de cartografía vectorial que han sido objeto de estudio por parte de autores relevantes en esta materia y que, hoy en día, están implementados en numerosas aplicaciones informáticas.

La generalización es uno de los procedimientos más difíciles de automatizar, en cuanto al tratamiento de cartografía se refiere. Pese a ello, se pueden llegar a desarrollar herramientas que ofrecen resultados satisfactorios y que, trabajando en conjunto, faciliten la obtención de cartografía legible y representativa de la zona tratada. Mediante dichas herramientas se solventarán, en la medida de lo posible, los conflictos que surgen durante la reducción de escala que tiene lugar en un proceso de generalización.

A menudo, cuando se desea cartografía a una escala determinada y no se poseen datos a esa misma escala, la solución consiste en adquirir los datos necesarios para generar esa cartografía. Hoy en día se dispone de una gran cantidad de cartografía digital a diferentes escalas. ¿Por qué no aprovechar cartografías existentes para producir más a escalas menores? Aquí adquiere un especial protagonismo la generalización cartográfica.

La generalización cartográfica puede definirse como el conjunto de procedimientos encargados de mantener la legibilidad, la estructura y las características de la cartografía cuando se disminuye la escala de representación, ya que la cantidad de información y el nivel de detalle varían de acuerdo a ella. Al ser este proceso extremadamente laborioso debido a la cantidad de elementos que se encuentran en el mapa y las relaciones existentes entre ellos (por ejemplo calles y edificios), surgen numerosos estudios para tratar de automatizar el proceso, en la medida de lo posible. A día de hoy, la realidad es que no hay ningún software capaz de automatizar por completo el proceso de generalización.

Este artículo se centra en la generalización de núcleos urbanos, que debido a los numerosos conflictos que presentan, engloba procedimientos diferenciados, como pueden ser el desplazamiento de entidades y la simplificación lineal.

Debido al elevado número de elementos que intervienen en los núcleos urbanos, fundamentalmente de dos tipologías diferentes (superficiales, en el caso de las edificaciones y lineales en cuanto a la red viaria), el estudio de un proceso de generalización sobre ellos debe ser pormenorizado, analizando toda la casuística acerca de las relaciones existentes.

A continuación, se presenta el estado del arte de la generalización vectorial mostrando especial atención a las propuestas y desarrollos más relevantes referentes a los algoritmos y procesos relacionados con el tratamiento de los núcleos urbanos en la cartografía.

Posteriormente, se incluyen las pruebas realizadas al respecto, describiendo y analizando los resultados obtenidos, estableciendo una comparativa con trabajos realizados por diferentes autores. Se concluye el documento valorando los posibles trabajos futuros para solventar la problemática de la generalización cartográfica.

2. Estado del arte

Los trabajos relacionados con la generalización automática de cartografía comenzaron a finales de los años sesenta. Durante esa época la manipulación de grandes volúmenes de datos era un problema importante para los ordenadores existentes. Para solventar este problema, surgieron algoritmos dedicados a la generalización de líneas empleados para reducir el número de puntos necesarios para la representación de las mismas, Estos algoritmos se denominaron filtros o algoritmos de compresión y los más representativos fueron propuestos por Lang (1969), Douglas Peucker (1973) o Dougenik (1980). Debido a su relativa simplicidad, los algoritmos de filtrado encontraron un gran éxito en el área de generalización cartográfica.

No obstante, el algoritmo de filtrado más famoso es el algoritmo de Douglas Peucker (1973), que todavía es una referencia y muchos autores tratan de mejorarlo o adaptarlo a problemas concretos como De Berg *et al.* (1995), Zhang (1997) o Saalfeld (1999).

Por otro lado, los algoritmos de suavizado han sido desarrollados para simplificar la forma de objetos lineales. Estos algoritmos tienden a mantener la forma general de la línea mediante la supresión de los detalles más pequeños. La mayoría opera con principios extraídos del campo del procesamiento de imágenes; Brophy (1973), Lowe (1988) o McMaster (1989).

El suavizado y la simplificación son sólo parte de las operaciones llevadas a cabo durante el proceso de la generalización. Otra operación importante es la exageración, aunque debido a su difícil automatización, no han sido tantos los autores que han abordado el tema.

En cuanto a los estudios relacionados con la generalización de núcleos urbanos se orientan generalmente a dar solución a un determinado problema, siendo necesaria la aplicación de diferentes operadores para tratar de obtener resultados finales satisfactorios. Atendiendo a la clasificación efectuada por Regnauld y McMaster (2007), que se verá posteriormente, se encuentran autores como: Töpfer (1966) y Ruas (1998) que trataron la selección y eliminación de edificios; otros como Regnauld (2001), contribuyeron al apartado de tipificación; y el propio Regnauld (2003)

y Lichtner (1979) realizaron propuestas para la unión de edificios, todo ello incluido en los operadores destinados a la reducción del número de edificios.

Teniendo en cuenta el garantizar la legibilidad, se han desarrollado métodos relacionados con la ampliación, la simplificación como el algoritmo desarrollado por Staufenbiel (1973), la cuadratura donde destaca el método propuesto por Airault (1996) basado en la modificación de la posición de los vértices de un conjunto de edificios y la simbolización, apartado en el que Rainsford y Mackaness (2002) desarrollaron un algoritmo para reemplazar el edificio original asociándolo con un conjunto de plantillas de formas ya definidas.

3. Clasificación de los operadores de generalización existentes

La generalización de núcleos urbanos forma parte del amplio y complejo proceso de generalización vectorial cartográfica. Este documento divide la generalización en lineal, puntual y superficial. En esta última división, se ubica la generalización de núcleos urbanos, aunque con aportes significativos de la generalización lineal, ya que el tratamiento de la cartografía vectorial se realiza tratando las entidades cerradas como polígonos formados por líneas.

Como se ha mencionado anteriormente, el estudio de los diferentes operadores que intervienen en la generalización de núcleos urbanos se ha efectuado atendiendo a la siguiente clasificación propuesta por Regnaud y McMaster (2007):

- Operadores para reducir el número de edificios:
 - *Selección y eliminación:* Muchos autores han abordado este tema coincidiendo en que el reto radica en decidir qué debe eliminarse y qué debe mantenerse. Töpfer (1966) formuló una ley que relaciona la escala del mapa con el nivel de detalle que debe contener el mismo. Ruas (1998) propuso una medida para cuantificar la densidad de edificios en zonas de estudios delimitadas por calles colindantes, con la finalidad de reducir el número de estos. La reducción se efectúa eliminando, en un primer paso, edificios pequeños situados en áreas congestionadas lo más distantes posible de las carreteras y que no tengan especial relevancia.
 - *Tipificación:* Tratar de reducir el número de edificios mientras se preserva su patrón de distribución. Regnaud (2001) propuso un método de detección de grupos de edificios basado en la teoría de la Gestalt. También Ruas y Holzapfel (2003) propusieron un método de agrupación mediante la detección de alineaciones de edificios.
 - *Unión:* Lichtner (1979) propuso un método por el que pequeños edificios se sitúan junto a edificios más grandes colindantes, con la finalidad de unificarlos. Ware *et al.* (1995) presentaron variaciones de este algoritmo usando la triangulación de Delaunay. En trabajos posteriores, como los desarrollados por Regnaud (2003) y Li *et al.* (2004), se proponen otros métodos para llevar a cabo la unión de edificios dependiendo de la escala a representar.

- Operadores para garantizar la legibilidad de los edificios:
 - *Ampliación*: Operador mediante el cual, preservando la forma y proporción del edificio, se garantiza el tamaño mínimo de representación, estipulado por las especificaciones de la cartografía.
 - *Simplificación*: Operador en el que se han centrado numerosos autores y cuya actuación puede resumirse como la eliminación de detalles en la forma de los edificios para cumplir con la legibilidad. Staufenbiel (1973) desarrolló un algoritmo de simplificación de la línea exterior de edificios que fue integrado, años más tarde, en el software de generalización CHANGE. Una aplicación similar fue añadida al software ARCINFO bajo el nombre "buildingsimplify" (Esri, 2000). Lichtner (1979), utilizando un cierto umbral, propuso un método para la eliminación de estos detalles. Sester y Brenner (2004) propusieron un método para la simplificación gradual de los edificios. Posteriormente, Sester ha desarrollado avances similares estableciendo ciertas reglas de simplificación.
 - *Ampliación Local*: Se trata de una exageración de determinadas características relevantes para el mejor entendimiento de la forma de los edificios.
 - *Cuadrar*: Como su propio nombre indica, este operador ayuda a dar un aspecto cuadrado a los edificios. Airault (1996) propuso un método, basado en la modificación de la posición de los vértices de un conjunto de edificios, para mejorar su forma cuadrada y mantener los paralelismos existentes.
 - *Simbolización*: Operador relevante a la hora de tratar los edificios más pequeños que, debido a la inutilidad de aplicar un proceso de simplificación, son reemplazados por un símbolo predefinido de tamaño y orientación apropiado. Rainsford y Mackaness (2002) desarrollaron un algoritmo para reemplazar el edificio original asociándolo con un conjunto de plantillas de formas ya definidas.

- Operadores para mantener las relaciones entre edificios:
 - *Desplazamiento*: Este tema ha sido el tema central de numerosas investigaciones debido a su importancia, ya que cuando se produce un cambio de escala pueden entrar en conflicto las diferentes entidades cartográficas, produciéndose solapes sobre todo en regiones muy densificadas. Estudios recientes tratan de resolver el problema mediante métodos de optimización, estableciendo diferentes sistemas de ecuaciones que expresan diversas condiciones cartográficas. Harrie (1999), Sarjakoski y Kilpeläinen (1999) y Sester (2001) basan sus soluciones en el empleo de un modelo de ajuste mínimo cuadrático, mientras que Hojholt (2000) se centra en el método de elementos finitos.
 - *Rotación*: Operador necesario cuando se producen cambios en el entorno que rodea a un edificio; por ejemplo, si una carretera adyacente ha sido simplificada o

suavizada habrá que decidir si se rota el edificio para mantener la posición relativa del conjunto o, por el contrario, prima la posición absoluta del mismo.

- *Recortes*: Se precisa esta operación cuando el espacio habilitado es menor que el espacio requerido por el edificio para su representación. Es frecuente que suceda en zonas urbanas donde la simbología de las carreteras reduce el espacio para la representación del resto de entidades.

A continuación, se procede a profundizar en un conjunto de algoritmos que, de todos los estudiados, presentan una mayor utilidad y aplicación en el proceso de automatización de la generalización vectorial de núcleos urbanos.

4. Algoritmos relevantes para la generalización de núcleos urbanos

4.1. Simplificación de la forma de los edificios y desplazamiento de los mismos mediante ajuste mínimo cuadrático

Mediante el establecimiento de una serie de normas y pautas que deben ser preservadas o modificadas convenientemente para mantener ciertas características en la representación de núcleos urbanos, se pretende establecer una serie de ecuaciones que entrarán a formar parte de un ajuste mínimo cuadrático.

La ventaja de este método radica en la posibilidad de ponderar las limitaciones cartográficas que entran en juego y de establecer unas reglas que pueden ser simples. Estas ponderaciones aportan valores aproximados que pueden ser refinados en el proceso de ajuste. En la [figura 1](#), puede verse un ejemplo realizado por Sester (2000).

4.2. Unión de edificios adyacentes

Este estudio se centra en el desarrollo de criterios para la unión de edificios adyacentes, así como la definición de la forma final que estos adquieran atendiendo a su tamaño. A su vez, estudia la relación existente entre la simplificación y la unión de edificios, ya que el orden de actuación de ambas puede dar lugar a resultados diferentes e indeseables en muchas ocasiones (véase [figura 2](#)).

Para el correcto desarrollo del proceso, hay que tener en cuenta diversos factores que, en conjunto, se refieren a distancias entre edificios y valores de superficie ocupada por éstos. Se establecerán los umbrales de actuación que serán decisivos a la hora de determinar en cada caso la manera de proceder.

De la misma manera, se establecerán parcelas de actuación, generalmente delimitadas por la red viaria del núcleo urbano en cuestión, dentro de las cuales se compararán las características de los edificios asegurando las comparaciones entre objetos vecinos.

Posteriormente, pueden realizarse diferentes procedimientos como la eliminación de edificios cuya superficie es inferior a la mínima estipulada por la escala cartográfica o el desplazamiento de éstos para su unión, de una u otra manera, con edificios vecinos de mayor superficie.

4.3. Ampliación local basada en la deformación de elementos cartográficos

Esta aplicación lleva a cabo una operación de generalización específica y está fundamentada en el modelo GAEL (*Generalisation Based on Agents and Elasticity*). Este modelo está diseñado para aplicar deformaciones en objetos cartográficos facilitando su adaptación a las limitaciones específicas del proceso de generalización en cuanto a escalas se refiere.

Para el correcto desarrollo de este proceso cartográfico se hace necesario, en primer lugar, una descomposición o fragmentación de los objetos en sus elementos constituyentes (puntos, segmentos, ángulos, triángulos...) cuyas posiciones relativas y formas dentro de la cartografía pueden modificarse o mantenerse. Finalmente, estos cambios son provocados por el desplazamiento de puntos constituyentes de objetos, con la finalidad de que éstos cumplan con los requisitos establecidos por la cartografía de destino (véase [figura 3](#)).

4.4. Identificación de la orientación de los edificios

La finalidad de esta operación es respetar el carácter de los edificios, concretamente su orientación. Debido a la aplicación de diferentes operadores de generalización, la orientación de los edificios puede verse alterada. El método que se detalla a continuación (Duchêne *et al.*, 2003) trata de preservar la orientación original de los edificios, es decir, que no exista variación en la orientación de los edificios tras el proceso de generalización (véase [figura 4](#)). La orientación de un edificio puede ser general, utilizada para caracterizar la elongación de un edificio; o una orientación de los bordes, utilizada para comparar la orientación de dos bordes paralelos de diferentes edificios (Regnauld, 1998).

Entre las principales medidas existentes de la orientación se encuentra la del eje más largo, consistente en medir el eje más largo del edificio (Ruas, 1988); bisector ponderado, medida propuesta por Regnauld (1998) basada en la consideración de los dos diámetros más largos del edificio, calculándose el promedio de dos direcciones; y el Menor Rectángulo con Mínima Vecindad (SMBR, *Smallest Minimum Boundary Rectangle*), propuesta por Bader (2001) durante el proyecto AGENT, cuyo principio es encontrar el menor rectángulo que contenga al edificio, manteniéndose la orientación del eje más largo. Además del método anterior, durante el proyecto AGENT, Bader (2001) también propuso la ponderación estadística, siendo su filosofía la de calcular la orientación más frecuente entre las orientaciones de los bordes. Cada orientación se pondera preservándose la más frecuente. El peso de una orientación candidata se calcula como se explica a continuación: para cada eje del edificio se calcula una contribución a la orientación candidata. El peso de la orientación candidata es la suma de las contribuciones de los ejes. La [figura 5](#) ilustra el método de obtención de la contribución de un eje.

El método de Duchêne *et al.* (2003), como en una ponderación estadística, prueba una serie de orientaciones candidatas entre 0 y $\pi/2$. Para cada orientación candidata, se calcula una contribución a cada borde del edificio con el mismo principio que el descrito en la [figura 5](#), excepto que los ángulos y diferencias entre ángulos se consideran todos de módulo $\pi/2$. Para encontrar la mejor orientación, Duchêne *et al.* (2003) propusieron una combinación consistente en considerar primero la orientación de bordes (mediante la ponderación estadística) y comparar en un segundo paso estas orientaciones con orientaciones generales (*SMBR*). En la [figura 6](#) puede verse un ejemplo de esta combinación.

4.5. Ortogonalización de las alineaciones de edificios

En caso de ser necesario, este proceso cartográfico se presenta como complemento para su aplicación durante el proceso de generalización de núcleos urbanos.

Su utilización se fundamenta en la necesidad de mantener las relaciones angulares de las alineaciones de las edificaciones presentes en la cartografía. Las construcciones humanas suelen estar formadas por estructuras en las que abundan los ángulos rectos, que pueden verse modificados involuntariamente durante los trabajos de restitución fotogramétrica o digitalización de mapas para la obtención de cartografía vectorial. Por ello, se hace necesaria la aplicación de procesos con la finalidad de adaptarse lo más posible a la realidad cartografiada.

Para el desarrollo de esta aplicación es necesario realizar una fragmentación de los objetos a tratar, actuando de manera independiente sobre sus segmentos, manteniendo en la medida de lo posible las longitudes y modificando convenientemente sus orientaciones.

Estas alteraciones se realizan basándose en dos características principalmente: en primer lugar, la dirección predominante en el edificio y la ortogonal a ésta; y en segundo lugar, un umbral angular, cuyo valor depende de la escala cartográfica, por debajo del cual las alineaciones cuasi ortogonales serán transformadas en ángulos rectos (véase [figura 7](#) y [figura 8](#)).

Este proceso cartográfico ha sido objeto de anteriores estudios como los llevados a cabo por Airault (1996) para la automatización mediante algoritmos e implementado en modelos de actuación como GAEL (Gaffuri, 2009).

Actualmente, se continúa con el estudio de diferentes pautas y procesos dentro del ámbito de la generalización de núcleos urbanos con la finalidad de obtener un conjunto de herramientas que implementadas en un proceso conjunto aporten soluciones satisfactorias.

5. Análisis de resultados

Como se ha indicado anteriormente, el operador de simplificación sobre edificaciones ha sido objeto de numerosos estudios. Algunos de ellos están integrados en aplicaciones informáticas comerciales, como los propuestos por Staufenbiel (1973) para CHANGE o para ARCINFO.

Por otro lado, en esta simplificación de las formas de los edificios, habrá que tener en cuenta las relaciones internas que tiene cada uno. Es decir, se deben mantener las relaciones angulares de las alineaciones de las edificaciones presentes en la cartografía, por ejemplo, en las construcciones humanas donde suelen abundar los ángulos rectos. Por ello, se hace necesaria la aplicación de procesos con la finalidad de que la cartografía generalizada se adapte lo más posible a la realidad.

Por tanto, además de la aplicación de algoritmos de simplificación, habrá que aplicar algoritmos de ortogonalización del elemento que mantengan, en la medida de lo posible, las longitudes y modifiquen convenientemente sus orientaciones.

Como resultados de esta investigación, que continúa, se está implementado un algoritmo en una herramienta de autor basado en el de Douglas-Peucker. Este algoritmo de simplificación global ofrece buenos resultados además de ser un procedimiento muy rápido en su cálculo, pero hace perder el carácter artificial de las entidades cartográficas de objetos modificados por la mano del hombre como las edificaciones. Por ello, se le ha añadido una modificación específica para este tipo de objetos, con el objetivo de mantener las líneas generales del objeto, sin suavizar sus quiebros y preservando la angulosidad original.

A igual cantidad de puntos conservados, la modificación propuesta del algoritmo es mucho mejor que el algoritmo original. La modificación angular propuesta no elimina demasiados puntos, permaneciendo un nivel de detalle innecesario en las entidades, que repercutirá en una falta de legibilidad del mapa a la escala final.

Las [figura 9](#), [figura 10](#) y [figura 11](#) muestran un ejemplo de las primeras pruebas realizadas sobre una porción de casco urbano generalizado mediante la mencionada herramienta. El archivo original ([figura 9](#)) a escala 1:5.000 contenía 191 entidades con un total de 3.504 vértices. En la primera generalización ([figura 10](#)) para escala 1:25.000, se conservaron 2.040 puntos (58%). En la segunda generalización ([figura 11](#)) para escala 1:50.000, se conservaron 1.570 puntos (77% de la última generalización o 45% del archivo original). Como se observa en estas figuras, el carácter original de las edificaciones no se pierde en el proceso de generalización de formas.

6. Conclusiones

Tras observar y analizar los resultados, la mejora en la que se está trabajando del algoritmo de generalización lineal de Douglas-Peucker ofrece grandes beneficios en lo referente a la generalización de núcleos urbanos. Esta modificación resulta imprescindible para abordar el difícil problema de la generalización completa de núcleos urbanos. A partir de este momento, se pueden continuar abordando el resto de procedimientos que se han ido documentando a lo largo de este proyecto. Es decir, el siguiente paso es aplicar los algoritmos referentes al desplazamiento de entidades y a la conservación de tamaños mínimos, distancias mínimas, relaciones entre objetos, etc.

Referencias bibliográficas

- AGENT (1999): "Selection of basic measures", *Report DCI of the AGENT project*, ESPRIT/LTR/24939.
- Airault, S. (1996): "De la base de données à la carte: une approche globale pour l'équarrissage de bâtiments", *Revue Internationale de Géomatique*, 6 (2-3), 203-217.
- Bader, M. (2001): *Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization*. PhD thesis, Universidad de Zurich.
- Brophy, M. (1973): "An automated methodology for linear generalization in thematic Cartography", *American congress of surveying and mapping*, 300-314.
- De Berg, M., van Kreveld, M. y Schirra, S. (1995): "A New Approach to Subdivision Simplification", *ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition*, 4 (Proc. Auto-Carto 12), 79-88.
- Dougenik, J. (1980): "Whirpool: A geometric processor for polygon coverage data", *Proceedings of AUTO-CARTO*, 4, 304-311.
- Douglas, D. y Peucker, T. (1973): "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitised line or its caricature", *The Canadian Cartographer*, 10, 112-122.
- Duchêne, C. et al. (2003): *Quantitative and qualitative description of building orientation*. 6th ICA workshop in generalisation and multiple representation, 28-30 Abril, Paris (Francia).
- Gaffuri, J. (2009): *Three reuse examples of a generic deformation model in map generalization*. 24th International Cartography Conference (ICC'09), 15-21 Noviembre, Santiago de Chile.
- Harrie, L. E. (1999): "The constraint method for solving spatial conflicts in cartographic generalization", *Cartographic and Geographic Information Systems*, 26(1), 55-69.
- Hojholt, P. (2000): "Solving Space Conflicts in Map Generalization: Using a Finite Element Method", *Cartography and Geographic Information Science*, 27(1), 63-74.
- Lang, T. (1969): "Rules for robot draughtsmen", *Geographical Magazine*, 42, 50-51.
- Li, Z. L., Yan, H., Ai, T. y Chen, J. (2004): "Automated building generalization based on urban morphology and Gestalt theory", *Journal of Geographical Information Science*, 18(5), 513-534.
- Lichtner, W. (1979): "Computer assisted processes of cartographic generalization in topographic maps", *Geo-Processing*, 1, 183-199.
- Lowe, D. G. (1988): "Organization of smooth image curves at multiple scales", *Proc. International Conference on computer vision*, 558-567.
- McMaster, R. B. (1989): "The integration of simplification and smoothing algorithms in line Generalization", *Cartographica*, 26 (1), 101-121.
- Rainsford, D. y Mackaness, W. (2002): "Template matching in support of generalisation of rural buildings", *Advances in Spatial Data Handling*, Springer, 137-151.
- Regnaud, N. (1998): *Généralisation du bâti: Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique*. Thèse de doctorat, Laboratoire d'Informatique de Marseille.
- Regnaud, N. (2001): "Contextual Building Typification in Automated Map Generalization", *Algorithmica*, 30, 312-333.
- Regnaud, N. (2003): "Algorithms for the Amalgamation of Topographic data", *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, 222-233.
- Regnaud, N. y McMaster R. B. (2007): "A synoptic view of generalization operators", in W. A. Mackaness, A., Ruas, L. T., Sarjakoski (Eds.): *Generalisation of geographic information: cartographic modeling and applications*. Oxford, UK. Elsevier, 37-66.
- Ruas, A. (1988): "Généralisation d'immeubles", *Rapport de stage*, Ordnance Survey & Ecole Nationale des Sciences Géographiques, IGN, France.

Arranz Justel, J. J., Novoa Plasencia, A. y Sánchez Tamargo, D. (2011): "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 249-264. ISSN: 1578-5157

- Ruas, A. (1998): "A method for building displacement in automated map generalization", *International Journal of Geographical Information Science*, 12(8), 789-804.
- Ruas, A. y Holzapfel, F. (2003): "Automatic characterisation of building alignments by means of expert knowledge", *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, 1604-1616.
- Saalfeld, A. (1999): "Topologically Consistent Line Simplification with the Douglas-Peucker Algorithm", *Cartography and Geographic Information Science*, 26 (1), 7-18.
- Sarjakoski, T. y Kilpelainen, T. (1999): "Holistic Cartographic Generalization by Least Squares Adjustment for Large Data Sets", in *Proc. ICA*, International Cartographic Association, Ottawa, Canada.
- Sester, M. (2000): "Generalization based on least squares adjustment", *ISPRS - International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 13, 931-938.
- Sester, M. (2001): "Optimization Approaches for Generalization", *GISRUK-Conference*, Cardiff, Wales.
- Sester, M. (2005): "Optimization approaches for generalization and data abstraction", *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 871-897.
- Sester, M. y Brenner, C. (2004): "Continuous generalization for fast and smooth visualization on small displays", in *Proc. XXth ISPRS Congress*, 1293-1298.
- Staufenbiel, W. (1973): *Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung großmaßstäbiger Gebäudedarstellungen*. PhD thesis, Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover.
- Topfer, F. y Pillewizer, W. (1966): "The principles of selection", *The Cartographic Journal*, 3(1), 10-16.
- Ware, J. M., Jones, C. B. y Bundy, G. L. (1995): "A triangulated spatial model for cartographic generalisation of areal objects", *Proceedings of COSIT*, 173-192.
- Zhang, T. (1997): *Data clustering for very large datasets plus applications*. PhD thesis, Universidad de Wisconsin.

FIGURAS

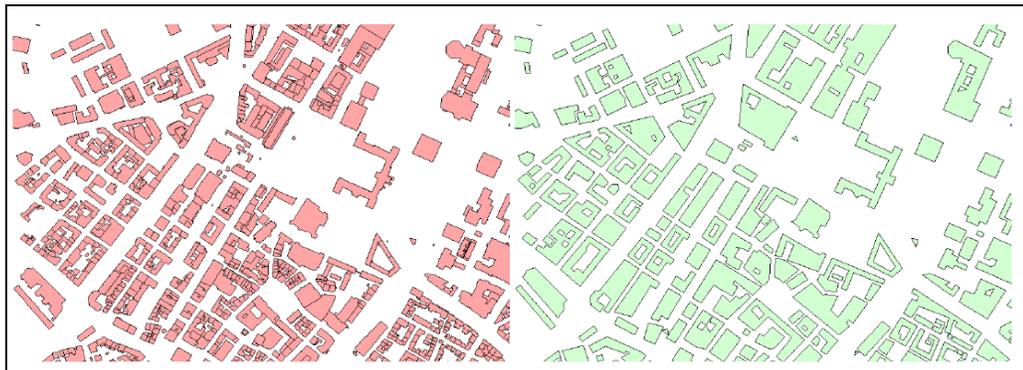


Figura 1. Casco urbano antes y después de realizar un proceso de unión y simplificación.
Sester, 2000

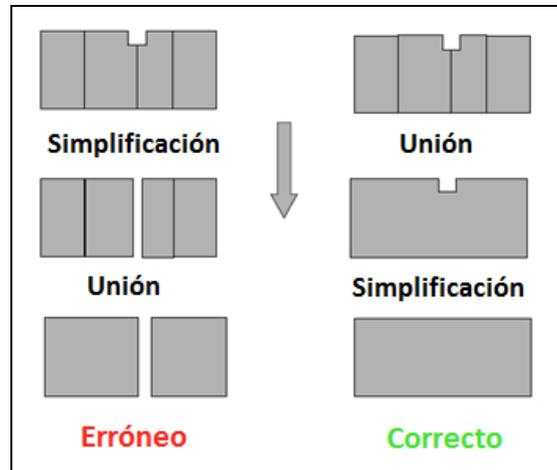


Figura 2. Conflicto entre unión y simplificación.
Bildirici y Uçar, 2001

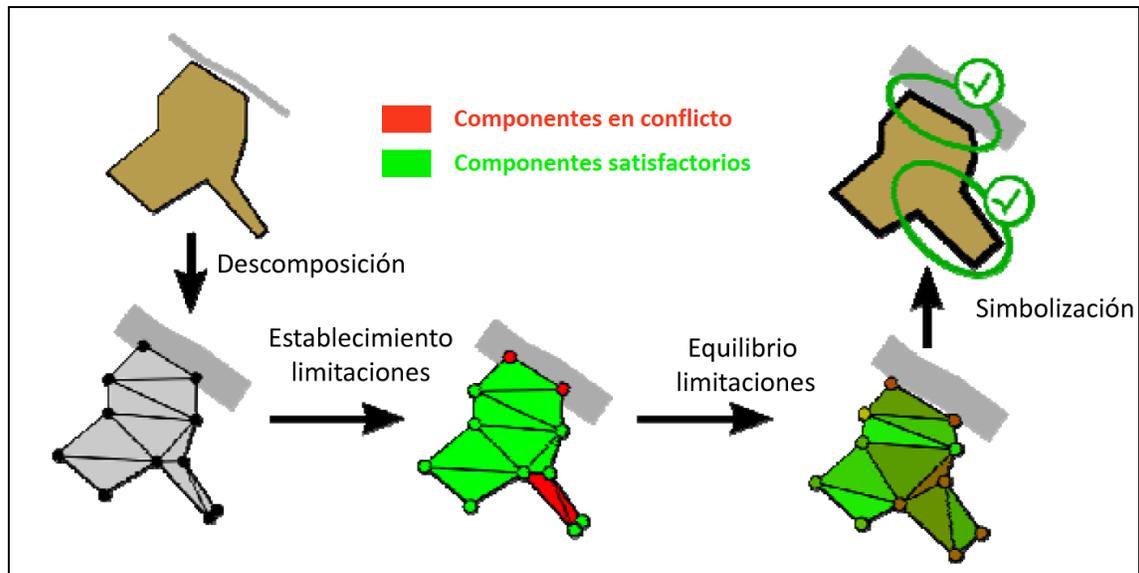


Figura 3. Ampliación local en el modelo GAEL.
Gaffuri, 2009

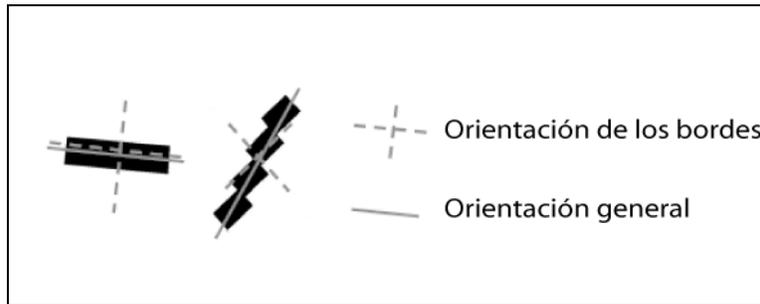


Figura 4. Representación de la orientación de los bordes y la orientación general.

Duchêne *et al.*, 2003

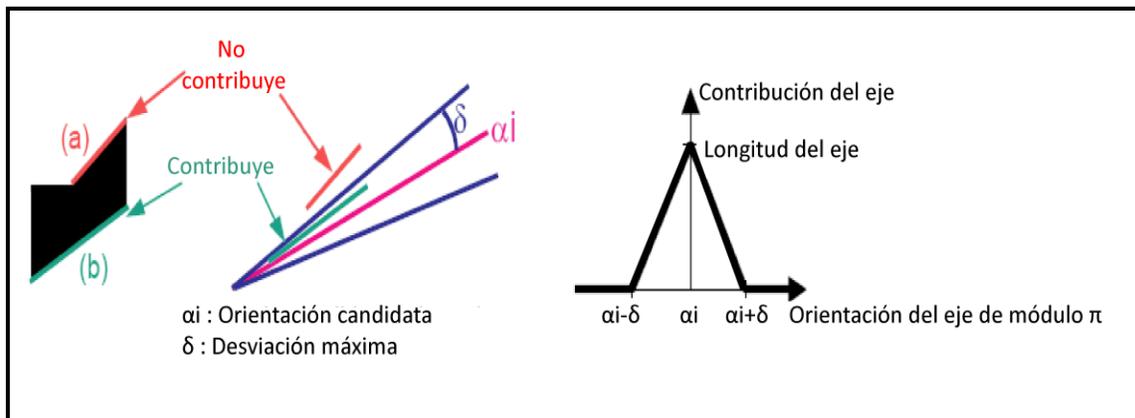


Figura 5. Contribución de un eje del edificio a una orientación candidata α_i .

Duchêne *et al.*, 2003

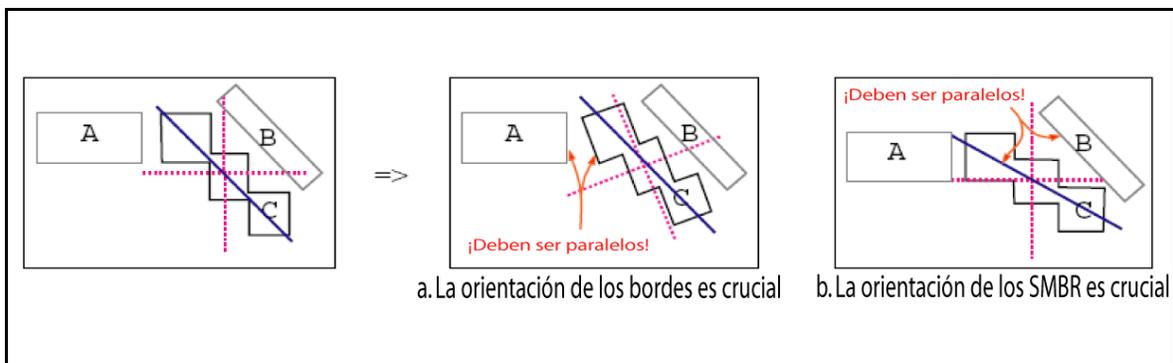


Figura 6. La orientación de borde y la general son básicas.

Duchêne *et al.*, 2003

Arranz Justel, J. J., Novoa Plasencia, A. y Sánchez Tamargo, D. (2011): "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 249-264. ISSN: 1578-5157

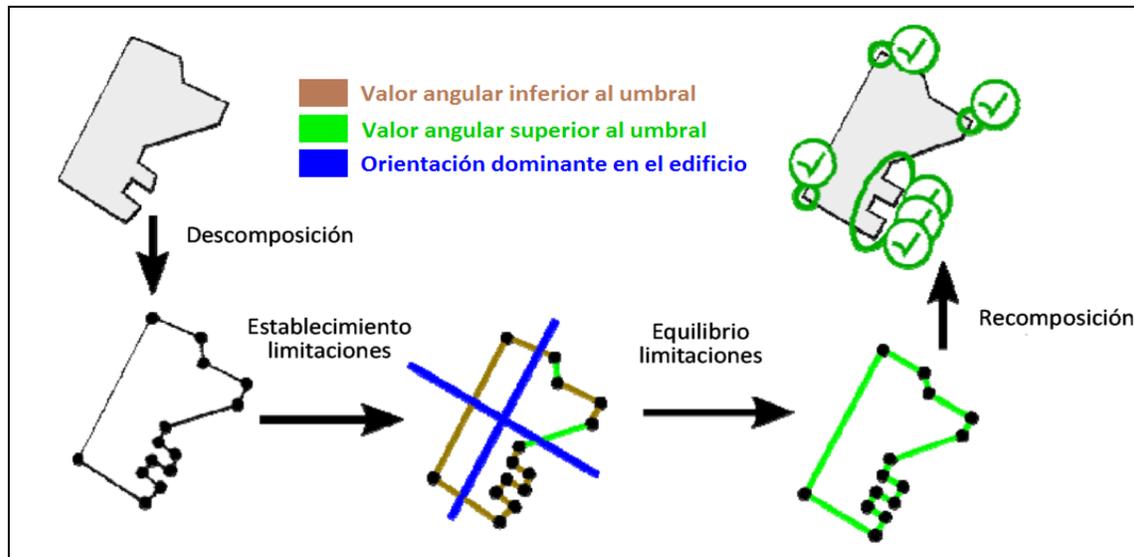


Figura 7. Ortogonalización de edificios en el modelo GAEL.

Gaffuri, 2009

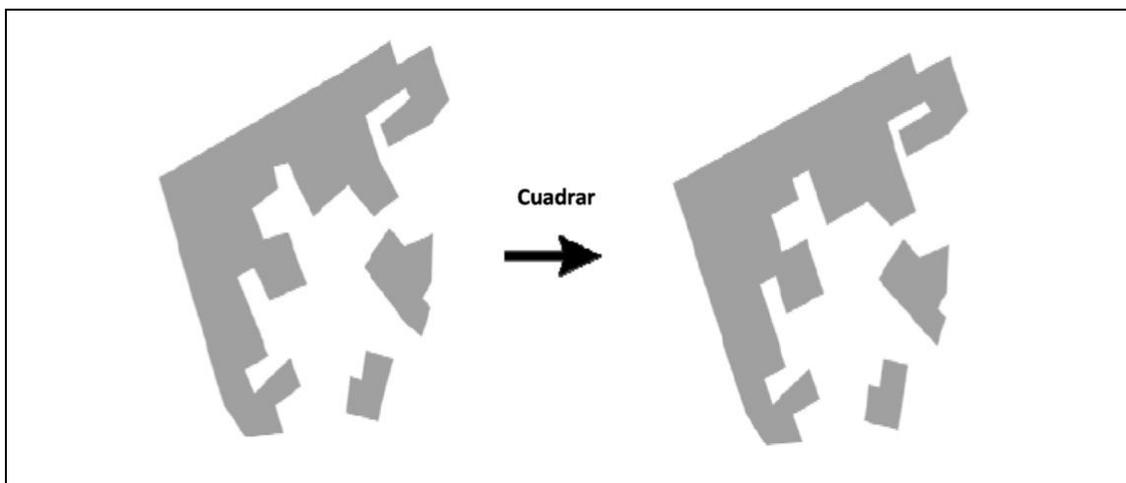


Figura 8. Resultado del proceso en el modelo GAEL.

Gaffuri, 2009

Arranz Justel, J. J., Novoa Plasencia, A. y Sánchez Tamargo, D. (2011): "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 249-264. ISSN: 1578-5157

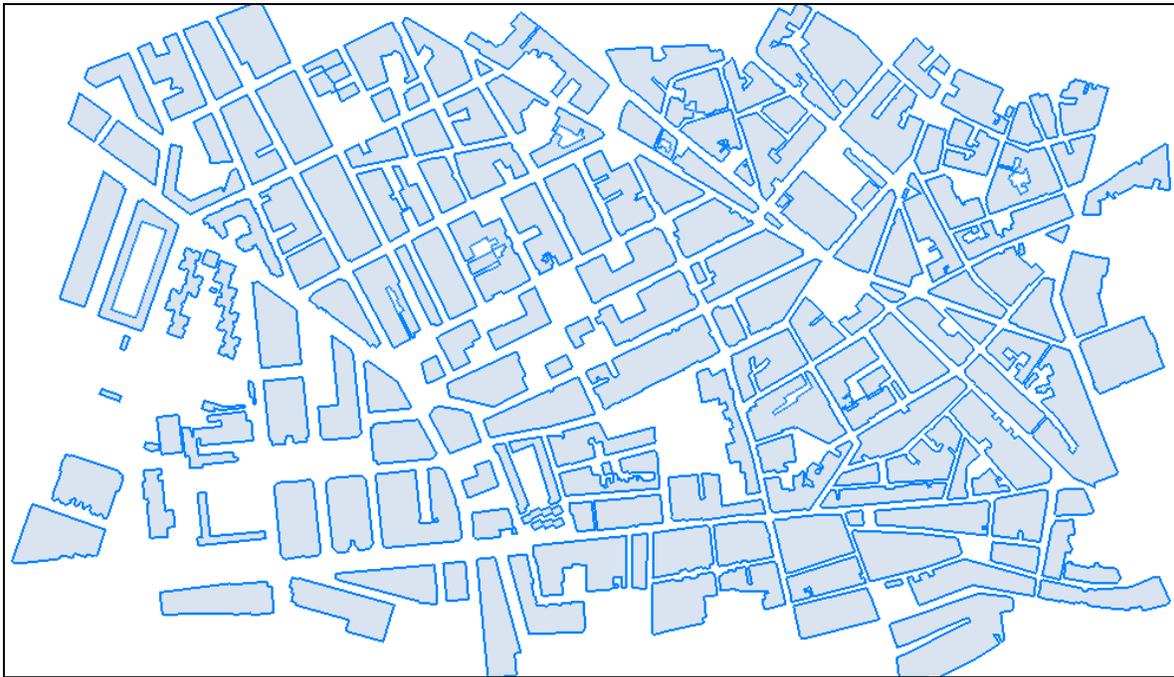


Figura 9. Cartografía original.



Figura 10. Generalización 1:25.000.

Arranz Justel, J. J., Novoa Plasencia, A. y Sánchez Tamargo, D. (2011): "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 249-264. ISSN: 1578-5157



Figura 11. Generalización 1:50.000.