

Arranz Justel, J.J., Sánchez Tamargo, D. y Novoa Plasencia, A. (2010): Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: la Información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 10-19. ISBN: 978-84-472-1294-1

## ESTADO DEL ARTE DE ALGORITMOS DE GENERALIZACIÓN VECTORIAL DE NÚCLEOS URBANOS

Arranz Justel, J.J.<sup>1</sup>, Sánchez Tamargo, D.<sup>2</sup> y Novoa Plasencia, A.<sup>3</sup>

(1) Universidad Politécnica de Madrid, Campus Sur Carretera de Valencia km 7.5 C.P.28031 Madrid, [josejuan.arranz@upm.es](mailto:josejuan.arranz@upm.es)

(2) Universidad Politécnica de Madrid, Campus Sur Carretera de Valencia km 7.5 C.P.28031 Madrid, [david.stamargo@alumnos.upm.es](mailto:david.stamargo@alumnos.upm.es)

(3) Universidad Politécnica de Madrid, Campus Sur Carretera de Valencia km 7.5 C.P.28031 Madrid, [andres.novoa.plasencia@alumnos.upm.es](mailto:andres.novoa.plasencia@alumnos.upm.es)

### RESUMEN

La generalización de núcleos urbanos es uno de los procesos más complejos dentro de la generalización vectorial. Debido a los numerosos conflictos que se pueden dar en el tratamiento de cartografía urbana, se requiere del establecimiento de una pauta a seguir mediante la actuación conjunta de diferentes operadores. El objetivo final de este proceso es la obtención de cartografía representativa de la zona a tratar, manteniendo en la medida de lo posible las relaciones entre los elementos que conforman y definen el núcleo urbano.

La generalización de núcleos urbanos adquiere especial relevancia debido a la necesidad de tener en cuenta la geometría de las edificaciones, así como la del entramado viario, aspecto poco notable cuando se trata de cartografía de zonas rústicas.

Además, ha sido objeto de diversas investigaciones por englobar una gran variedad de procesos de gran utilidad y aplicación en otros apartados incluidos en la automatización de procesos de generalización vectorial.

El estudio de la bibliografía existente al respecto permite agrupar los algoritmos atendiendo a los operadores que intervienen en el proceso de generalización. Estos operadores permitirán reducir el número de edificios, garantizar la legibilidad entre ellos y mantener las relaciones existentes entre los mismos.

Este estudio se encuentra en el marco del proyecto CENIT España Virtual.

Palabras Clave: Generalización vectorial, núcleos urbanos, cartografía

### ABSTRACT

*The generalization of urban areas is one of the most complex processes within the vector generalization. Due to the numerous conflicts that may occur in the treatment of urban maps, establishing a pattern is required to follow through joint action by different operators. The final target of this process is to obtain representative mapping of the treated area, keeping, as far as possible, the relationships between the elements that define the urban area.*

*The generalization of urban areas is especially relevant because of the need to take in account the geometry of buildings, as well as the road network, which is poorly marked in rural areas cartography.*

*Moreover, it has been goal of several investigations because it involves a wide variety of useful processes included in the automation of vector generalization.*

*The study of the literature about the algorithms can group them in terms of the operators involved in the process of generalization. These operators will reduce the number of buildings, keeping legibility and existing relationships between them.*

*This study is within the CENIT project España Virtual.*

*Key words: Vector generalization, urban areas, mapping*

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A menudo, cuando se quiere obtener cartografía a cierta escala, si no se cuenta con datos anteriores adecuados a la escala final pretendida, hay que obtenerlos. Hoy en día se dispone de una gran cantidad de cartografía digital a diferentes escalas. ¿Por qué no aprovechar esa cartografía para producir más a escalas menores? Aquí adquiere un especial protagonismo la generalización cartográfica.

La generalización cartográfica se puede definir 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 por 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, en la medida de lo posible, los procedimientos que componen la generalización vectorial cartográfica. A día de hoy, la realidad es que no hay ningún software capaz de automatizar por completo el proceso de generalización, ya que resulta imprescindible la intervención de un operador.

Este estudio se centra en la generalización de núcleos urbanos, que debido a los numerosos conflictos que presentan, engloba procedimientos empleados en otros muchos apartados, 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 (edificaciones y red viaria), el estudio de un proceso de generalización sobre ellos debe ser pormenorizado, analizando toda la casuística acerca de las relaciones existentes.

Los estudios relacionados con la generalización de núcleos urbanos están orientados 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 Regnaud y McMaster (2007), autores como Topfer (1966) y Ruas (1998) han tratado la selección y eliminación de edificios, Regnaud (2001) entre otros, ha contribuido al apartado de tipificación y el propio Regnaud (2003) y Lichtner (1979) han realizado propuestas para la unión de edificios, todo ello incluido en los operadores destinados a la reducción del número de edificios. En cuanto a garantizar su 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 Mackaness y Rainsford (2002) desarrollaron un algoritmo para reemplazar el edificio original asociándolo con un conjunto de plantillas de formas ya definidas.

## OBJETIVOS

Entre los objetivos de este trabajo de investigación se encuentra la documentación de algoritmos que lleven a cabo los distintos procedimientos incluidos en el proceso de generalización vectorial de núcleos urbanos, además de la posible realización de ensayos, empleando algunos de los algoritmos estudiados con la inclusión de posibles mejoras.

## DESCRIPCIÓN

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 (Regnaud y McMaster, 2007):

- Operadores para reducir el número de edificios:
  - o *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. Regnauld (2001) propone un método de detección de grupos de edificios basado en la teoría de la Gestalt. También Ruas y Holzapfel (2003) proponen 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) presentan variaciones de este algoritmo usando la triangulación de Delaunay. En trabajos posteriores, como los desarrollados por Regnauld (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 8 bajo el nombre "buildingsimplify" (Esri 2000). Lichtner (1979), utilizando un cierto umbral, propone un método para la eliminación de estos detalles. Sester y Brenner (2004) proponen un método para la simplificación gradual de los edificios. Posteriormente, Sester desarrolla avances similares estableciendo ciertas reglas de simplificación.
  - *Ampliación Local*: Se trata de una exageración de determinadas características relevantes para el 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) propone 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. Mackaness y Rainsford (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.

De la literatura encontrada al respecto de la generalización vectorial de núcleos urbanos se han estudiado las siguientes propuestas:

### **Simplificación de la forma de los edificios y desplazamiento de los mismos mediante ajuste mínimo cuadrático**

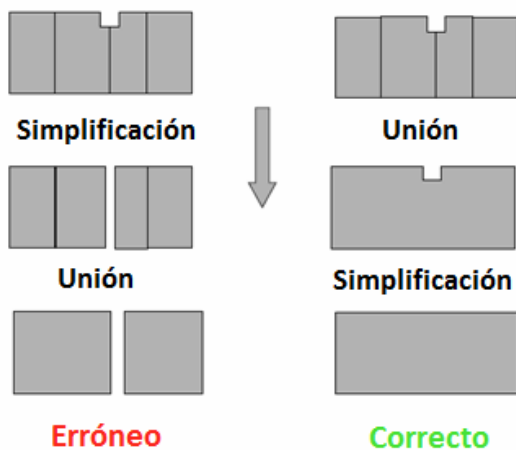
Mediante el establecimiento de una serie de normas y pautas que deben ser preservadas o modificadas convenientemente para mantener ciertas características en la representación de núcleos urbanos, se pretende establecer una serie de ecuaciones que entrarán a formar parte de un ajuste mínimo cuadrático.

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.



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



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

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, estableciendo 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.

### **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*), 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 en última instancia 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.

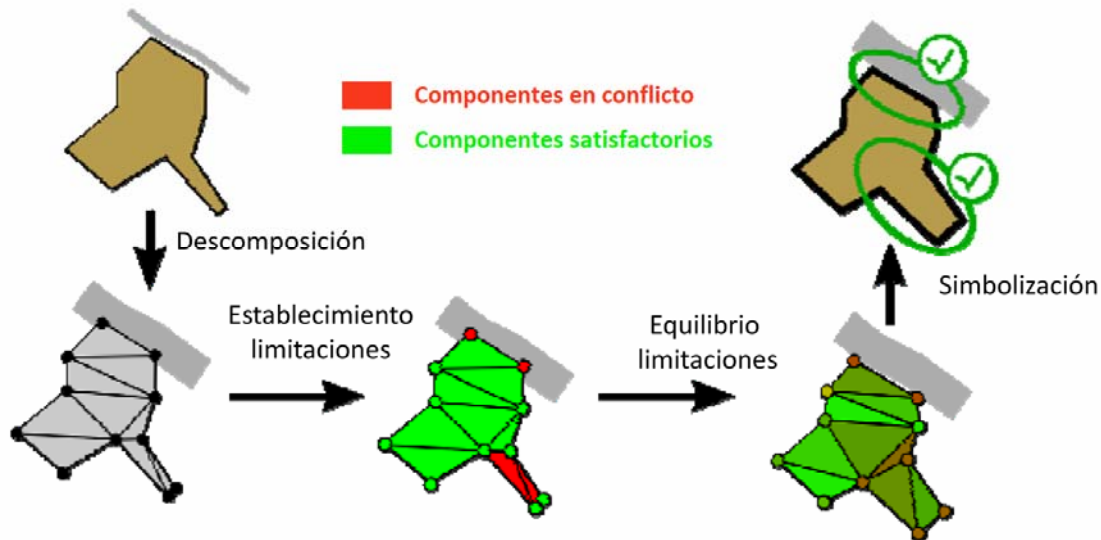


Figura 3. Ampliación local en el modelo GAEL (Gaffuri Julien, 2008). Identificación de la orientación de los edificios.

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. 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).

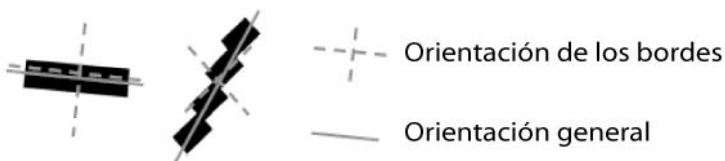
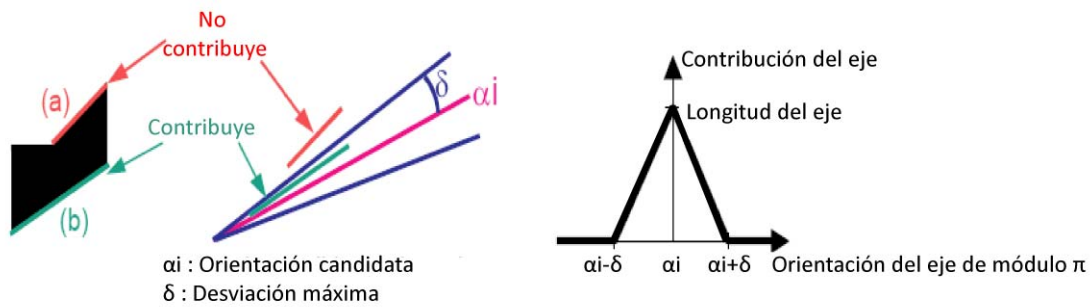


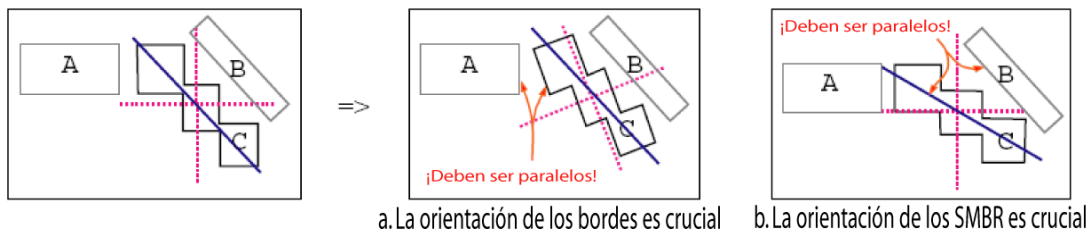
Figura 4. Representación de la orientación de los bordes y la orientación general (Duchêne et al, 2003)

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 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 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 siguiente figura ilustra el método de obtención de la contribución de un eje.



**Figura 5.** Contribución de un eje del edificio a una orientación candidata  $\alpha_i$  (Duchêne et al, 2003).

El método de Duchêne et al., 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 anterior, excepto que los ángulos y diferencias entre ángulos se consideran todos de módulo  $\pi/2$ . Para encontrar la mejor orientación Duchêne et al. proponen 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).



**Figura 6.** La orientación de borde y la general son básicas (Duchêne et al, 2003).

### Ortogonalización de las alineaciones de edificios

Este proceso cartográfico se presenta como complemento para su aplicación, en caso de ser necesario, 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, con lo que se hace necesaria la aplicación de procesos con la finalidad de adaptarse lo más posible a la realidad cartografiada.

Para el desarrollo de la 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.

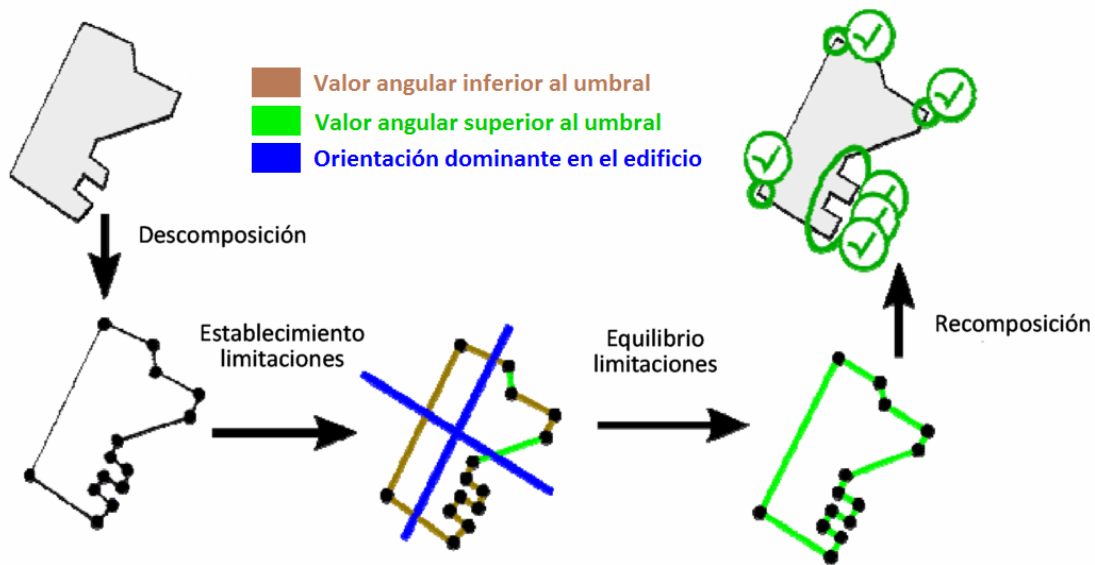


Figura 7. Ortogonalización de edificios en el modelo GAEL (Gaffuri Julien, 2008).

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 Julien 2008).

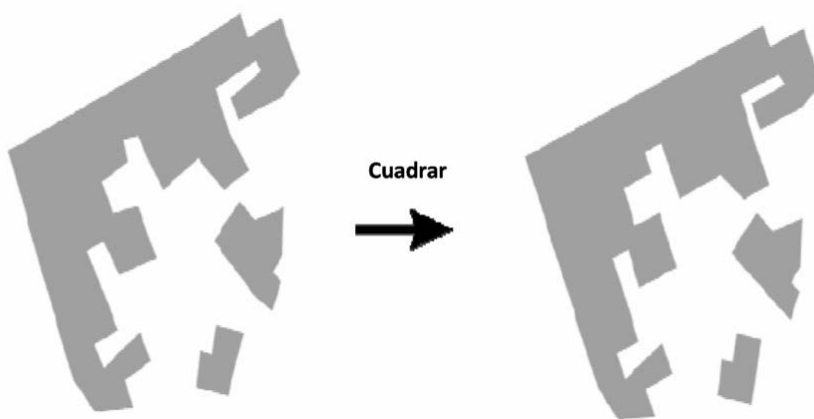


Figura 8. Resultado del proceso en el modelo GAEL (Gaffuri Julien, 2008).

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.

## 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 8.

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. En las construcciones humanas suelen abundar los ángulos rectos que

pueden verse modificados involuntariamente durante los trabajos de restitución fotogramétrica o digitalización de mapas para la obtención de cartografía vectorial, con lo que se hace necesaria la aplicación de procesos con la finalidad de adaptarse lo más posible a la realidad cartografiada

Por ello, 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 ha 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 antropomórfico de las entidades. Por ello, se le ha añadido una modificación específica para los objetos de origen antropomórfico como son las edificaciones, con el objetivo de mantener las líneas generales del objeto, sin suavizar sus quiebros y preservando la angulosidad original.

A continuación se muestra un ejemplo de una porción de casco urbano generalizado mediante la mencionada herramienta de autor. El archivo original contenía 191 entidades con un total de 3504 vértices. En la primera generalización para escala 1:25.000, se conservaron 2040 puntos (58%). En la segunda generalización para escala 1:50.000, se conservaron 1570 puntos (77%).





**Figura 9.** Generalización de núcleo urbano utilizando herramienta de autor para edificaciones a escala 1:25.000 y 1:50.000.

## CONCLUSIONES

Tras observar los resultados, la mejora propuesta 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 DC1 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*, vol. 6(2-3).
- Duchêne, C. et al. (2003). "Quantitative and qualitative description of building orientation"
- Gaffuri Julien (2008). "Three reuse examples of a generic deformation model in map generalization". COGIT laboratory Institut Géographique National Paris
- 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".
- Lichtner, W. (1979). "Computer assisted processes of cartographic generalization in topographic maps". *Geo-Processing*, 1, 183-199
- Regnaud, N. (1998). "Généralisation du bâti: Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique". *Thèse de doctorat*, Laboratoire d'Informatique de Marseille.
- 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, pp. 37-66
- Ruas, A. (1988) "Généralisation d'immeubles", Rapport de stage, Ordnance Survey & Ecole Nationale des Sciences Géographiques, IGN, France.
- Ruas, A. (1998). "A method for building displacement in automated map generalization". *International Journal of Geographical Information Science* 12(8), 789-804
- 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". Proceedings of the GIS Research UK Conference.
- Sester, M. and Brenner, C. (2004). "Continuous generalization for fast and smooth visualization on small displays". In *Proc. XXth ISPRS Congress*, pages 1293-1298.
- Staufenbiel, W. (1973). "Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung großmaßstäbiger Gebäudedarstellungen". *PhD thesis, Fachrichtung Vermessungswesen*, Universität Hannover.