

# NUEVO ALGORITMO DE GENERALIZACIÓN LINEAL Y ORTOGONALIZACIÓN DE CONSTRUCCIONES EN UN ENTORNO URBANO

JOSÉ JUAN ARRANZ JUSTEL

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía  
Email: josejuan.arranz@upm.es

DAVID SÁNCHEZ TAMARGO

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía  
Email: david.stamargo@alumnos.upm.es

ANDRÉS NOVOA PLASENCIA

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía  
Email: andres.novoa.plasencia@alumnos.upm.es

**Resumen:** La generalización cartográfica es el proceso que permite la obtención de cartografía derivada a partir de la generada mediante el registro de información geográfica. Normalmente, la generalización implica una reducción de escala, aunque podría ser una reducción de la cantidad de información sin reducir la escala, debido a un cambio de objetivo de la cartografía. La dificultad de la generalización aumenta cuanto menor es la escala destino y mayor la diferencia entre ésta y la escala origen. Estas dificultades se concentran en aquellas entidades que representan objetos modificados por el hombre, es decir, principalmente en los núcleos urbanos, ya que deben preservar ciertas propiedades en su geometría una vez generalizados.

En este artículo, se propone un algoritmo para la generalización lineal de núcleos urbanos, basándose en las características constructivas y relacionales de las edificaciones que los conforman.

**Palabras claves:** *Generalización, núcleos urbanos, ortogonalización, reducción escala*

**Abstract:** Mapping generalization is the process which derived maps are obtained from others generated by recording geographic information. Usually, generalization involves a reduction of scale, although it could be a reduction in the amount of information without reducing the scale, due to a change in target mapping. The smaller target scale, the more difficult is the generalization. Also, the more difference between origin scale and target scale, the more difficult is the generalization. The difficulties are concentrated in entities that represent objects modified by man, mainly in urban areas, as they must preserve certain geometry properties once generalized.

In this paper, an algorithm is proposed for linear generalization of urban areas, based on constructive and relational characteristics of the buildings that shape them.

**Key words:** *Generalization, orthogonal, reduced scale, urban areas.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La simplificación vectorial a menudo se aplica sobre entidades cuyo tratamiento se lleva a cabo de manera independiente. Este proceso se vuelve notablemente más complejo en el caso de entidades que están interrelacionadas, como ocurre en los núcleos urbanos. En un casco urbano interviene una gran cantidad de elementos, fundamentalmente de dos tipologías diferentes: edificaciones y red viaria. El estudio de un proceso de generalización sobre ellos tiene que ser pormenorizado, analizando toda la casuística acerca de las relaciones que existen. Por otro lado, el hecho de que la geometría de las edificaciones haya sido diseñada por el hombre, obliga a conservar su morfología después del proceso de generalización. Los algoritmos de simplificación geométrica tienen en cuenta la importancia de los puntos para la definición de la entidad, pero no conservan ciertas relaciones del objeto original, por ejemplo, paralelismo u ortogonalidad entre segmentos que componen la geometría.

Por ello, en este artículo, se propone un algoritmo de simplificación optimizado para su aplicación sobre los núcleos urbanos incluidos en cartografía vectorial que mantiene las principales características de la geometría de la construcción.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Debido a la dificultad que atañe, se han desarrollado gran cantidad de algoritmos y procedimientos a aplicar en un proceso de generalización cartográfica. En Arranz et al. [ARR11] se encuentra un estudio pormenorizado de los métodos más significativos para llevar a cabo cada proceso incluido en la generalización vectorial de cartografía. Para ordenar los diferentes operadores, se emplea una clasificación efectuada por Regnauld y McMaster [REG07] que los distingue según la función que

desempeñan. Este estudio profundiza en propuestas llevadas a cabo por autores como Topfer, Ruas, Regnauld, Sester, Duchêne o Bader, entre otros. Algunos de los problemas se han resuelto de manera óptima, pero la generalización de núcleos urbanos sigue siendo uno de los caballos de batalla, debido a la casuística que presentan y las constricciones que tiene un resultado aceptable.

De hecho, este caso particular, involucra prácticamente a todos los procedimientos que comprenden la generalización, y que se encuentran en la anteriormente citada clasificación, por lo que la consecución de un resultado aceptable se podría considerar como un éxito en el establecimiento de un proceso ordenado de generalización.

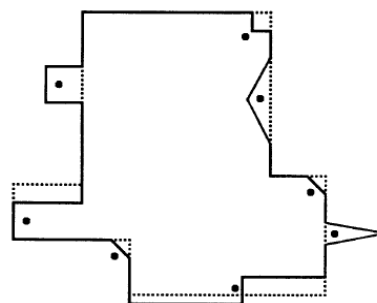
## 2.1. Simplificación

Después de un paso previo de selección de los elementos que deberán permanecer en la cartografía y una generalización conceptual de las tipologías de éstos, se procedería con la generalización geométrica de los elementos conservados. En esta generalización geométrica, el primer paso sería la simplificación de formas. La aplicación de este procedimiento es trivial para otros tipos de elementos ya que, básicamente, se trata de eliminar aquellos puntos que no presentan quiebros significativos a la escala destino que se está generalizando.

En contraposición a esta relativa sencillez se encuentra la simplificación de edificaciones. O siendo más generalistas, la generalización de aquellas entidades cuya morfología ha sido decidida por el hombre. Dicha morfología responde a direcciones elegidas y no aleatorias, por lo que determinados puntos de la entidad marcarán el carácter del propio objeto. Eliminar puntos respondiendo a una decisión puramente geométrica puede producir resultados no deseados. Por ello, es necesario un estudio más profuso de la forma del objeto, indicando para ello su procedencia artificial.

De hecho, el operador de simplificación sobre edificaciones ha sido objeto de numerosos estudios. Staufenbiel [STA73] desarrolló un algoritmo de simplificación de la línea exterior de edificios, ilustrado en el ejemplo de la Figura 1. Éste fue integrado, años más tarde, en el software de generalización CHANGE [POW92]. Una aplicación similar fue añadida al software ArcInfo bajo el nombre *buildingsimplify* [ESR12]. Lichtner [LIC79], utilizando un cierto umbral, propuso un método para la eliminación de estos detalles. Sester et al. [SES04] propusieron un método para la

simplificación gradual de los edificios. Posteriormente, Sester [SES05] desarrolló avances similares estableciendo ciertas reglas de simplificación.



Tomado de [BIL00]

Figura 1: Algoritmo de simplificación de Staufenbiel.

## 2.2. Ortogonalización

Por otro lado, en esta simplificación de las formas de los edificios, habrá que tener en cuenta las relaciones internas que tienen cada uno. Es decir, se deben 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. Por ello, además de la aplicación de algoritmos de simplificación específicos, debería aplicarse algoritmos de ortogonalización.

Para el desarrollo de un algoritmo de ortogonalización 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 principalmente en dos características: 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 que las alineaciones cuasi ortogonales serán transformadas en ángulos rectos.

Este proceso cartográfico ha sido objeto de anteriores estudios como los llevados a cabo por Airault [AIR96] para la automatización mediante algoritmos e implementado en

modelos de actuación como GAEL [GAF09]. Ejemplos de este modelo son la Figura 2 y la Figura 3, que muestran el modo en que

ortogonaliza y el resultado final, respectivamente.

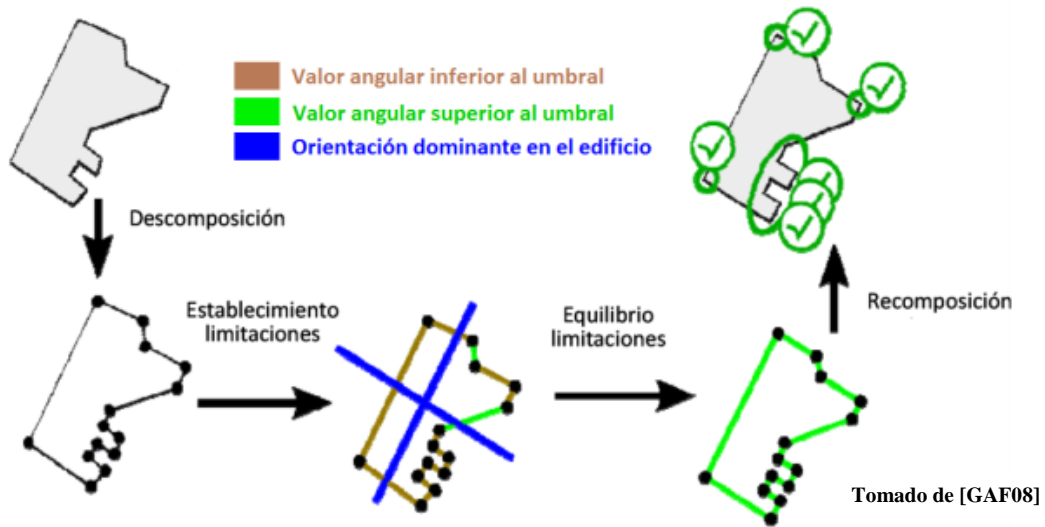


Figura 2: Ortogonalización de edificios en el modelo GAEL

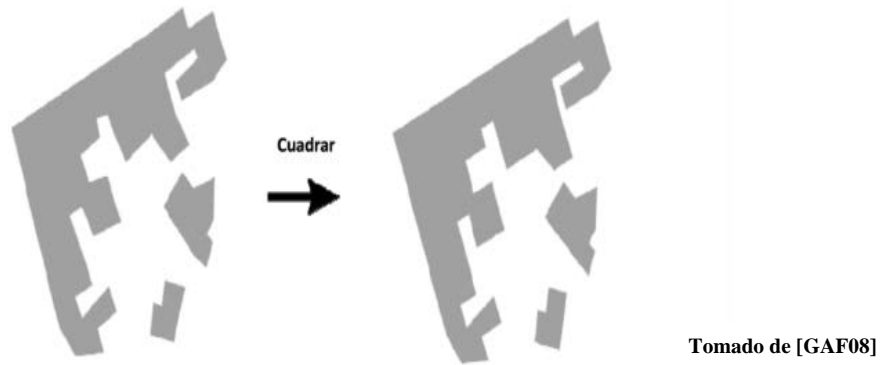


Figura 3: Resultado del proceso de ortogonalización en el modelo GAEL

### 3. OBJETIVOS

El desarrollo del algoritmo presentado en este artículo, forma parte de un exhaustivo proceso de recopilación de los diferentes algoritmos de aplicación a la generalización vectorial, reflejados en Arranz et al. [ARR10] y Arranz et al. [ARR11]. Para ello, se subdividió la generalización según la dimensión de los elementos a tratar: puntual, lineal y superficial. Estos dos últimos casos han centrado la mayor parte de la investigación, habiéndose estudiado y clasificado los algoritmos incluidos en cada proceso.

A lo largo de la investigación llevada a cabo, se ha estudiado el comportamiento de los algoritmos de simplificación genéricos sobre entidades que representan edificaciones. Tras su finalización, se procedió a identificar los problemas encontrados, proponiendo una mejora de estos algoritmos que permita conservar la morfología original de los objetos simplificados, manteniendo su legibilidad y carácter en la escala del mapa destino.

Según el estudio presentado por Arranz et al. [ARR11] acerca de los algoritmos de generalización disponibles más eficaces, se dirimió que el mejor algoritmo para

simplificación geométrica es el expuesto por Douglas-Peucker [DOU73].

Esta selección se basa principalmente en los resultados obtenidos según la velocidad de proceso, cantidad de información irrelevante eliminada y conservación de la forma original del objeto.

Este algoritmo se engloba en el grupo de algoritmos de simplificación global, ya que considera la línea completa o segmentos de ella durante el proceso, seleccionando aquellos puntos críticos. Permite especificar un umbral que controle el aumento de simplificación. El proceso de cálculo se realiza uniendo los puntos extremos de una entidad lineal y calculando las distancias perpendiculares desde el resto de puntos de la entidad a dicha línea. Si ninguna de estas distancias es superior al umbral establecido, se puede determinar que dichos puntos no son significativos para la forma geométrica de la entidad, por lo que son eliminados. Si, por el contrario, alguna de las distancias es superior al umbral, se procede a subdividir la entidad, para tratarla a tramos. La subdivisión se realizará por aquel punto que estuviera más alejado de la línea base, repitiendo todo el proceso de forma recursiva.

El resultado final es adecuado, siendo además un procedimiento muy rápido en su cálculo, debido a la recursividad en la que se basa su planteamiento. Este algoritmo es el ampliamente utilizado por las herramientas informáticas de cartografía para realizar la simplificación.

Por ello, se comienza el estudio simplificando un edificio con una morfología especial y complicada. Como ejemplo, se ha elegido una edificación de grandes dimensiones, con gran presencia de balcones y quiebras en su contorno. Esto hace que la obtención de un resultado aceptable en la generalización se presente como un gran reto. El registro inicial fue realizado mediante restitución fotogramétrica a escala 1:5.000. Se van a realizar dos procesos de generalización: de escala 1:5.000 a escala 1:25.000 y de escala 1:25.000 a escala 1:50.000.

Los parámetros utilizados para generalización a escala 1:25.000 se muestran en la Figura 4, seguido de la Figura 5, donde se observan las modificaciones producidas en el elemento original tras la aplicación del algoritmo de Douglas-Peucker.

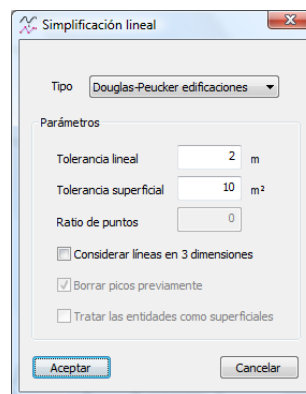


Figura 4. Parámetros de generalización para escala 1:25.000.

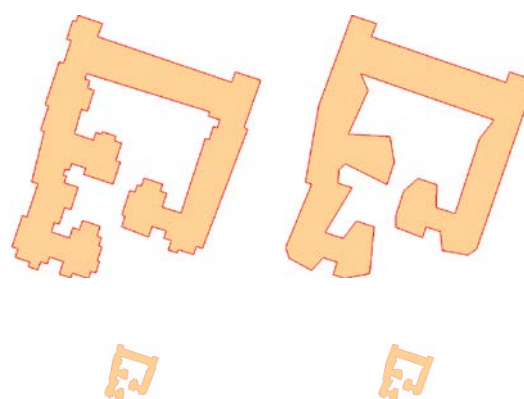
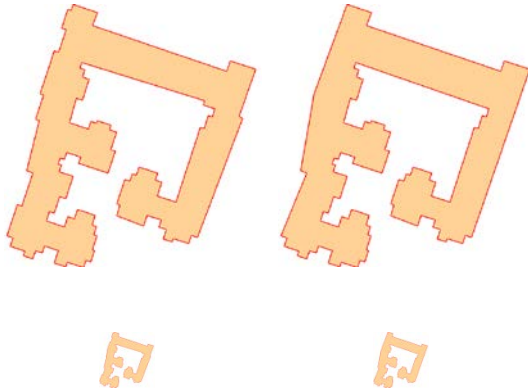


Figura 5. Generalización de edificación utilizando el algoritmo original de Douglas-Peucker. Parte superior: escala 1/5000. Parte inferior: escala 1/25000.

Se puede observar claramente que el algoritmo elimina aquellos puntos no significativos para la forma de la línea y los sustituye por vectores uniendo los extremos. Esta idea puede ser válida para un objeto cuyo recorrido sea aleatorio pero en una edificación todas las direcciones han sido cuidadosamente elegidas en su diseño. El resultado es un objeto que suaviza los quiebras de la entidad, perdiendo el carácter de la entidad, con los ángulos rectos característicos diseñados por el hombre.

Para intentar paliar este defecto del algoritmo, se podría utilizar una mejora, en la cual si un punto presenta una variación de ángulo superior a un determinado umbral se considerará como punto significativo de la entidad y no será eliminado. La Figura 6 ilustra el resultado utilizando la modificación angular propuesta para este algoritmo.



**Figura 6: Generalización de edificación utilizando la modificación angular propuesta.**

Como se puede observar, el resultado mejora sensiblemente la propuesta original de Douglas-Peucker, conservando puntos significativos en la forma del edificio. Sin embargo, no elimina demasiados puntos y al imprimir el objeto a la escala destino (como se muestra en la parte inferior de la figura) se produce un resultado no deseado, consecuencia de la cantidad de puntos y la complejidad de la forma del elemento. De hecho, el trazado llega a solaparse en determinados quiebros, lo que repercute en una falta de legibilidad y produce una forma suavizada, que se aleja de la forma angulosa original del objeto.

Por ello, se hace necesaria una nueva modificación específica para los objetos creados por la mano del hombre como son las edificaciones. El objetivo será mantener las líneas generales del objeto, sin llegar a suavizar sus quiebros, manteniendo con ello la angulosidad original.

La modificación propuesta calcula los puntos y las direcciones más importantes, de tal forma que, cuando un punto o conjunto de puntos es considerado como no significativo y, por tanto, se debe proceder a su eliminación, no será sustituido directamente por el vector que une los puntos extremos, si no que se prolongarán las direcciones entrante y saliente, calculando un nuevo punto intersección. De esta forma, se mantiene la ortogonalidad inicial que pudiera tener el elemento.

Esta idea inicial debe ser estudiada pormenorizadamente para los diferentes casos que se pueden llegar a dar. Estos casos marcarán las direcciones predominantes del conjunto de puntos así como la manera y lugar donde calcular el punto intersección. Para calcular cuáles son las direcciones más idóneas se deben

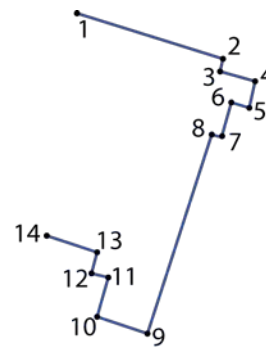
calcular las distancias entre los puntos involucrados. Aquella dirección que conlleve mayor distancia será considerada como predominante y marcará la intersección del nuevo punto.

#### 4. ESQUEMA DEL ALGORITMO PROPUESTO

Como se ha comentado anteriormente, el algoritmo propuesto está basado en la simplificación de Douglas-Peucker, con algunas modificaciones para ser empleado en edificaciones.

Estas modificaciones se centran en la búsqueda de las direcciones principales de las fachadas. Por ello, se parte del supuesto que las fachadas de los edificios siguen determinadas direcciones por lo que los elementos no significativos a una determinada escala deberían ser retranqueados a una de las direcciones previamente calculada de la estructura.

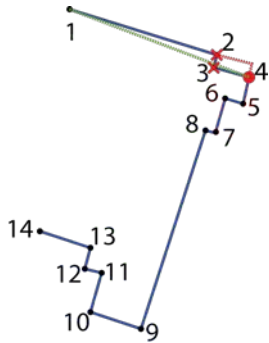
Para comenzar el cálculo, se ha de conocer la escala destino que permitirá calcular la tolerancia lineal y superficial. Se establecerá igualmente un valor de tolerancia angular que no depende de la escala. A modo de ejemplo y para explicar el algoritmo, se partirá de la entidad representada en la Figura 7.



**Figura 7: Entidad original.**

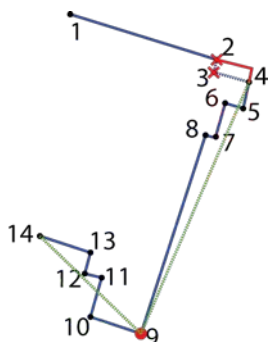
Al igual que en la simplificación de Douglas-Peucker, el primer paso es el cálculo de las distancias mínimas de los puntos interiores de la línea al segmento que une el primer y el último punto de la línea. Se deberá almacenar dónde ocurre la mayor distancia y su valor. Asimismo, se anotará dónde ocurre el mayor ángulo entre el segmento base de la comparación y el mayor segmento que une al punto con los extremos del segmento base. Si la distancia máxima calculada es mayor que el umbral mínimo de generalización lineal, la entidad tiene que ser dividida. Se utilizará el

punto donde ocurrió esa máxima distancia para realizar la división. Si no es superior, se analizará el ángulo máximo encontrado. Si este valor es superior a la tolerancia angular, se subdividirá igualmente la entidad por el punto donde ocurrió. Si no es mayor, se debe proceder a la eliminación de los puntos interiores, como ocurre en la Figura 8.



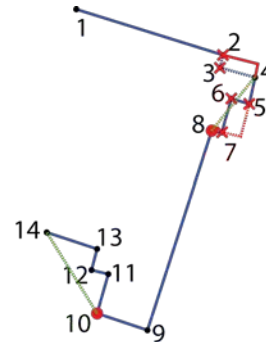
**Figura 8:** Se encuentra un punto importante (4), por lo que se subdivide y se tratan de forma independiente los segmentos 1-4 y 4-14. Los puntos 2 y 3 no son significativos en el primer tramo por lo que se eliminan y se traza la nueva solución.

Mediante el algoritmo de Douglas-Peucker tradicional, los puntos interiores eran eliminados y se sustituía el tramo por el segmento que unía los extremos, en este caso, el punto 1 y el 4. En la modificación propuesta en este documento, se consideran las direcciones de los segmentos circundantes al tramo. De esta manera, se analiza la dirección de cada extremo al siguiente punto hacia el interior del tramo. En este caso, la dirección 1-2 y la dirección 3-4. Si estas direcciones son casi coincidentes, se sustituye una de ellas por la anterior. En este caso, se utilizará la dirección 5-4. Por tanto, la eliminación de los puntos interiores será realmente una sustitución por la prolongación de los segmentos en estas direcciones, como se muestra en la Figura 9.



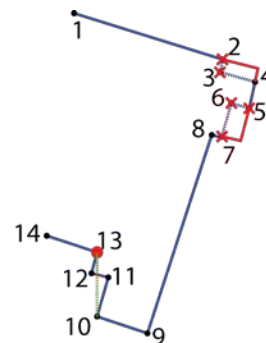
**Figura 9:** En el siguiente tramo se encuentra un punto importante (9) y se procede a una nueva subdivisión.

Analizando el siguiente tramo, se detecta otro punto importante (9), subdividiendo nuevamente la entidad. El primer tramo calculado vuelve a arrojar un nuevo punto importante (8). El algoritmo continúa con el siguiente en la lista, en este caso el tramo 4-8, procediendo a eliminar los puntos interiores por no ser significativos, como muestra la Figura 10. Cuando, en la lista, se encuentra un tramo formado únicamente por dos puntos, se ignora y se pasa al siguiente.



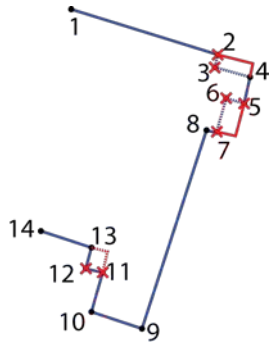
**Figura 10:** En el tramo 4-9 se encuentra un nuevo punto importante (8). Los puntos intermedios del tramo 4-8 no son significativos, por lo que se procede a su eliminación. En el tramo 9-14 se encuentra otro punto importante (10).

Continuando con el análisis, se procede a analizar el tramo 10-14, encontrando un nuevo punto importante por donde se subdividirá, como muestra la Figura 11.



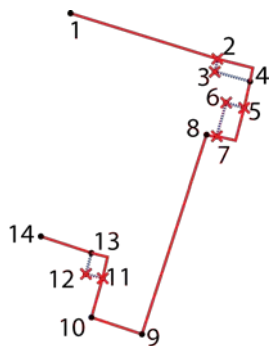
**Figura 11:** En el tramo 10-14 se encuentra otro punto importante (13).

El análisis de este tramo finaliza con la eliminación de sus puntos interiores, como se ilustra en la Figura 12.



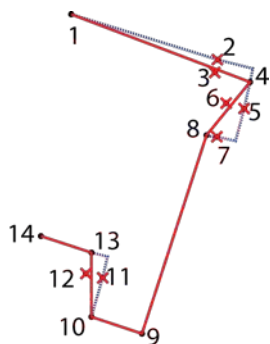
**Figura 12:** En el tramo 10-13 generado, no se encuentra ningún punto importante por lo que se eliminan y se registra el nuevo trazado.

Finalmente, se obtiene la entidad generalizada que mantiene la estructura inicial de la entidad, pero con menos puntos (6 menos) y menos quiebros, como era de esperar para una escala menor. El resultado se muestra en la Figura 13.



**Figura 13:** Finalmente, se obtiene la nueva entidad generalizada con menos puntos y recovecos.

Si se hubiera utilizado el algoritmo de Douglas-Peucker original, no se habrían tenido en cuenta la direcciones principales de la entidad y el resultado obtenido sería el que muestra la Figura 14.

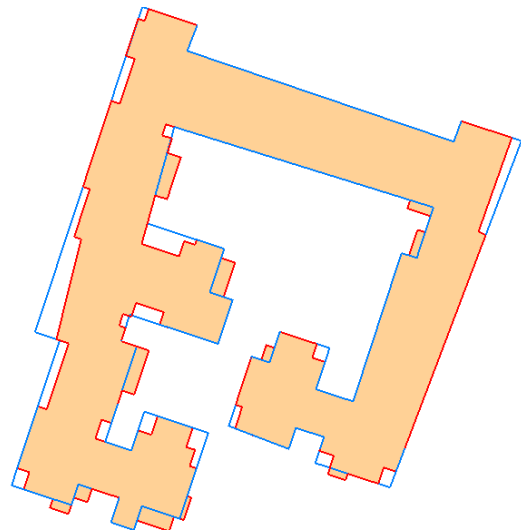


**Figura 14:** Si se hubiera utilizado el algoritmo original de Douglas-Peucker se hubiera obtenido este resultado donde se han perdido las perpendiculares existentes entre las líneas principales de la entidad original.

## 5. RESULTADOS

El resultado es un objeto que guarda aproximadamente las características originales, evitando suavizar sus quiebros. El objeto generado mantiene la angulosidad original, así como las formas predominantes que marcan el carácter del objeto, manteniendo la legibilidad y la expresividad de la cartografía.

Un ejemplo del comportamiento del algoritmo se muestra en la Figura 15, en la que se puede observar el objeto original de color rojo y, de color azul, la generalización. Se puede apreciar cómo han sido eliminados algunos recovecos poco significativos, así como aleros y terrazas que sobresalían sobre la fachada predominante del objeto, siendo sustituidos por las prolongaciones de éstas, generando nuevos puntos intersección.



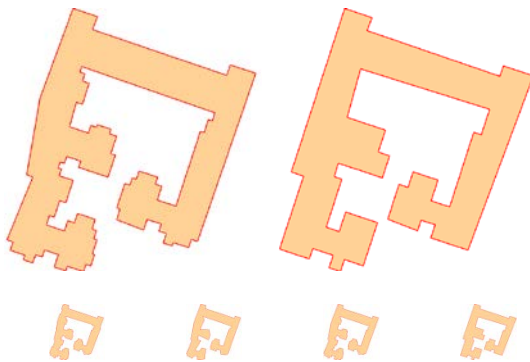
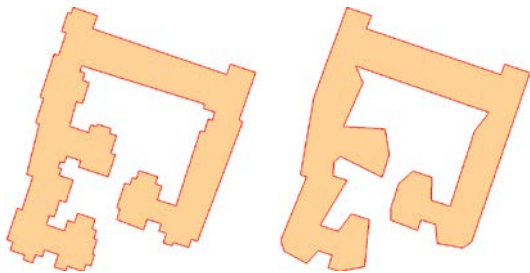
**Figura 15:** Generalización de edificación utilizando la mejora propuesta para edificaciones. En color rojo, la entidad original. En color azul, la entidad generalizada.

Comparando con el resto de soluciones vistas anteriormente, se puede observar que se ha realizado una generalización importante en el número de vértices, sin perder el carácter del objeto. Vistos los objetos en la escala destino, se puede apreciar perfectamente el trazado, sin producirse solapes como en el resultado obtenido con el algoritmo de Douglas-Peucker con la modificación angular.

En la Figura 16 se muestran, de izquierda a derecha, el objeto original, el objeto generalizado con Douglas-Peucker, el objeto generalizado utilizando la modificación angular



propuesta para este algoritmo y el objeto generalizado utilizando la modificación para edificaciones.



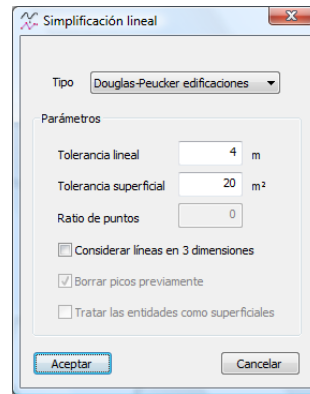
**Figura 16: Generalización de edificación utilizando el algoritmo original de Douglas-Peucker, la modificación angular y la modificación para edificaciones.**

En cuanto a la cantidad de puntos conservados, teniendo en cuenta que la entidad original contiene 114 vértices, los resultados han sido los siguientes:

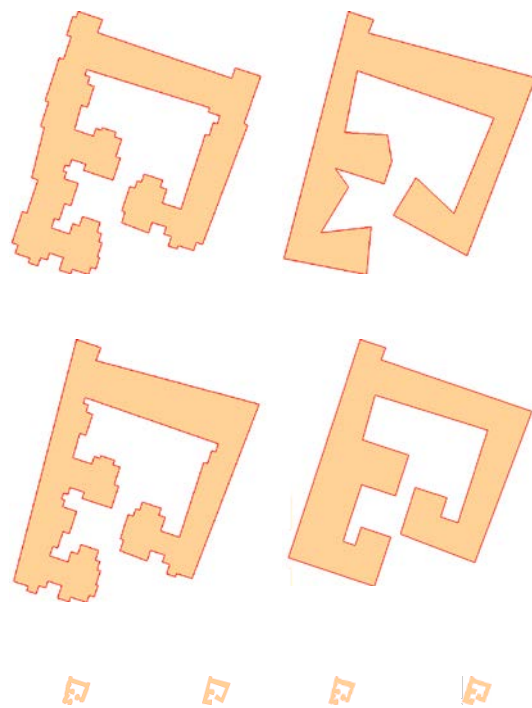
- Douglas-Peucker: 47 vértices.
- Douglas-Peucker con la modificación angular: 113 vértices.
- Douglas-Peucker para edificaciones: 45 vértices.

Como se suponía, la solución con la modificación angular apenas elimina ningún punto y las otras dos opciones eliminan aproximadamente un 60% de puntos, siendo el resultado visiblemente mejor la generada por la propuesta para edificaciones.

A continuación, se va a proceder a volver a generalizar el objeto utilizando las tres posibilidades para una escala final 1:50.000. La Figura 17 muestra los parámetros utilizados. Seguidamente, en la Figura 18, se observa el resultado obtenido.



**Figura 17: Parámetros de generalización para escala 1:50.000.**



**Figura 18: Generalización de edificación utilizando el algoritmo original de Douglas-Peucker, la modificación angular y la modificación para edificaciones para escala 1:50.000.**

Al igual que ha ocurrido con el ejemplo anterior, las conclusiones extraídas de las figuras son las mismas:

- El algoritmo de Douglas-Peucker altera en gran medida la definición de ángulos rectos del objeto provista por el hombre.
- La modificación angular del algoritmo apenas elimina vértices, solapándose el trazado al imprimir el objeto en la escala destino, por lo que se pierde legibilidad.
- La modificación propuesta para edificaciones elimina gran cantidad de



vértices manteniendo, no obstante, la forma del objeto original. Su impresión en la escala destino es aceptable y su imagen se asocia fácilmente al objeto que está representando, por lo que no pierde ni legibilidad ni expresividad.

En cuanto a la cantidad de puntos conservados, los resultados han sido los siguientes:

- Douglas-Peucker: 21 vértices.
- Douglas-Peucker con la modificación angular: 89 vértices.
- Douglas-Peucker para edificaciones: 21 vértices.

Así como ocurría en la generalización para escala 1:25.000, 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.

La Figura 19 muestra una porción de casco urbano generalizado con la mejora propuesta del algoritmo de Douglas-Peucker. 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 19: Generalización de núcleo urbano utilizando la modificación para edificaciones a escala 1:25.000 y 1:50.000.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha presentado un nuevo algoritmo para la generalización de entidades urbanas en base al algoritmo de simplificación de Douglas-Peucker. Este algoritmo está basado en la conservación de las direcciones principales del objeto. A la vista de los resultados, sería una herramienta muy útil para generalizar núcleos urbanos donde se dan la mayoría de los objetos modificados por la mano del hombre. Como se ha demostrado anteriormente se ha probado su eficacia con ficheros reales de núcleos urbanos. Su bondad ha sido comprobada visualmente mediante la impresión de las zonas a sus correspondientes escalas, obteniéndose buenos resultados en su funcionamiento y velocidad de proceso.

Los trabajos futuros para mejorar el proceso de generalización se centrarán en la fusión de entidades aledañas, particularizando sobre entornos urbanos. En estos escenarios, el proceso de generalización se complica por la relación que guardan las edificaciones con el entramado viario y por la necesidad de conservación de la estructura general del grupo.

Es decir, se debe conservar la relación edificación/viales sin perder la relación y morfología inicial de las diferentes edificaciones. De esta forma, se deberían utilizar algoritmos que reduzcan el número de objetos aumentando el espacio existente entre ellos en aquellas zonas donde no se puedan fusionar dichos objetos.

## 7. REFERENCIAS

- [AIR96] Airault S., "De la base de données à la carte: une approche globale pour l'équarrissage de bâtiments", *Revue Internationale de Géomatique*, 6 (2-3), 1996, pp. 203-217.
- [ARR10] Arranz J.J., Novoa A. y Sánchez D., "Estudio de procesos y herramientas aplicables a la generalización vectorial de entidades lineales", XIV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Sevilla, 2010.
- [ARR11] Arranz J.J., Novoa A. y Sánchez D., "Estado del arte de algoritmos de generalización vectorial de núcleos urbanos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, 2011, pp. 249-264
- [DOU73] Douglas D. y Peucker T., "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitised line or its caricature", *The Canadian Cartographer*, 10, 1973, pp. 112-122.
- [ESR12] ESRI ArcGIS Desktop 9.3 Help. [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Simplify%20Building%20\(Data%20Management\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Simplify%20Building%20(Data%20Management))
- [GAF09] Gaffuri J., "Three reuse examples of a generic deformation model in map generalization", 24<sup>th</sup> International Cartography Conference (ICC'09), Santiago de Chile, 2009.
- [LIC79] Lichtner W., "Computer assisted processes of cartographic generalization in topographic maps", *Geo-Processing*, 1, 1979, pp.183-199.
- [POW92] Powitz B.M., "Computer-assisted generalization - an important software-tool in GIS", Vol. 30/4, ISPRS Commission IV Symposium Washington, USA, 1992, pp. 664-673.
- [REG07] Regnauld, N. y McMaster R. B., "A synoptic view of generalization operators", in W. A.
- [SES04] Sester M. y Brenner C., "Continuous generalization for fast and smooth visualization on small displays", in Proc. XX<sup>th</sup> ISPRS Congress, 2004, pp. 1293-1298.
- [SES05] Sester M., "Optimization approaches for generalization and data abstraction", *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 2005, pp. 871-897.
- [STA73] Staufenbiel W., "Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung großmaßstäbiger Gebäudedarstellungen". PhD thesis, Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, 1973.

**José Juan Arranz Justel:** Ingeniero en Geodesia y Cartografía. Profesor Titular en la ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid. Especializado en modelización geométrica de datos. Actualmente, realizando el doctorado sobre modelización de datos registrados mediante láser. Ha participado en numerosos proyectos de investigación, entre los que destacan "España Virtual" (IGN, UPM, Deimos) y el programa Consolider-Ingenio 2008-2012 del Ministerio de Ciencia e Innovación "Programa de Investigación en Tecnologías para la valoración y conservación del Patrimonio Cultural (TCP)". Experto evaluador: Servicios profesionales para Agencia de Acreditación de Proyectos de I+D+I (AIDIT- UPM/UPC) relativos a modelización. Autor del software MDTop, para el cálculo de MDT. Coautor del software TopCal 21, para cálculos topográficos.

**David Sánchez Tamargo:** Estudiante PFC de Ingeniería Técnica en Topografía en la ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha participado como becario en el proyecto "España Virtual" (IGN, UPM, Deimos).

**Andres Novoa Plasencia:** Estudiante PFC de Ingeniería Técnica en Topografía en la ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha participado como becario en el proyecto "España Virtual" (IGN, UPM, Deimos).