

ARTÍCULO

## ENFOQUES PARA LA GENERALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS GEOGRÁFICOS

Marco Moreno-Ibarra, Miguel Torres, Rolando Menchaca-Méndez,  
Rolando Quintero y Giovanni Guzmán



## Enfoques para la generalización automática de datos geográficos

### Resumen

La generalización es un proceso importante dentro de la cartografía digital y los sistemas de información geográfica, ya que se utiliza para derivar datos con características específicas, de acuerdo con la escala y el propósito. Recientemente la utilización de datos geográficos ha crecido enormemente, por lo que la generalización jugará un papel importante en los años venideros. En este artículo se describe la evolución de los métodos para generalizar datos geográficos, esto con la finalidad de proporcionar un panorama general de la evolución de los métodos automáticos, los cuales van desde aquellos que únicamente consideran la geometría de los objetos, hasta los que consideran la semántica de los datos geográficos. Además, se hace hincapié en los métodos que se utilizan para valorar el proceso de la generalización, inicialmente basados en enfoques cuantitativos, hasta los cualitativos.

Palabras clave:

Generalización, sistema de información geográfica, datos geográficos.

### Approaches for automatic generalization of geographic data

#### Abstract:

Generalization is an important process in digital cartography and geographic information systems. It is used to derive data with specific characteristics, according to the scale and purpose. Recently the use of geographic data has enormously grown, because the generalization will play an important role in the coming years. This article describes the evolution of methods and models to generalize geographic data. The main goal is to provide an overview related to the development of automatic methods, taking into account those methods that only consider the geometry of objects and until methods that consider the semantics of geographic data. In addition, we are presenting techniques very useful to evaluate the generalization, which are based on qualitative and quantitative approaches.

#### Keywords:

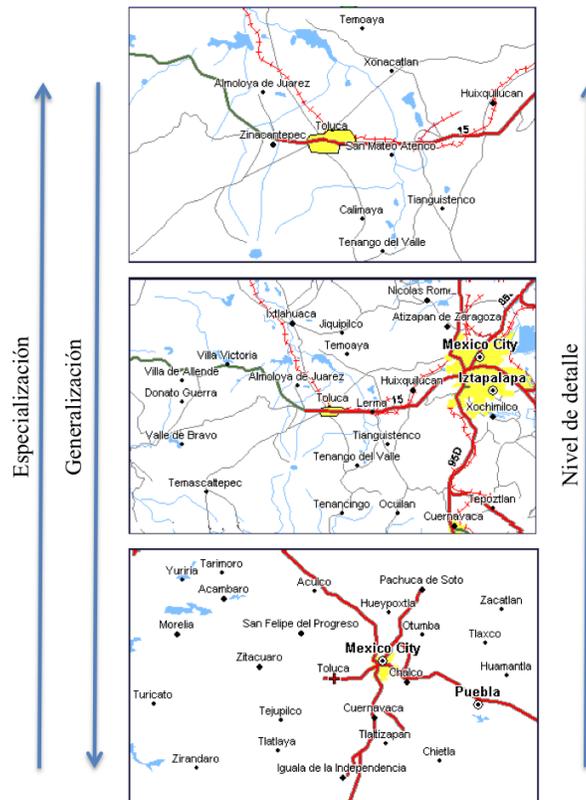
Generalization, Geographic information systems, geographic data

### Introducción

La generalización de mapas o simplemente generalización, es un proceso relacionado con la aplicación de un conjunto de algoritmos a los datos geográficos, con el fin de controlar la representación óptima de los fenómenos geoespaciales en un rango de escalas o niveles de

detalle. La importancia de la generalización radica en que estos procedimientos se implementan en Sistemas de Información Geográfica (GIS) y son utilizados para generar nuevos datos a partir de datos fuente, los cuales cuentan con propiedades y características descriptivas y de representación para un contexto de aplicación en específico. Por tanto, la idea es emular al cartógrafo en el proceso de diseño de mapas. En este artículo se describen las diferentes técnicas que se han utilizado para llevar a cabo el proceso de generalización.

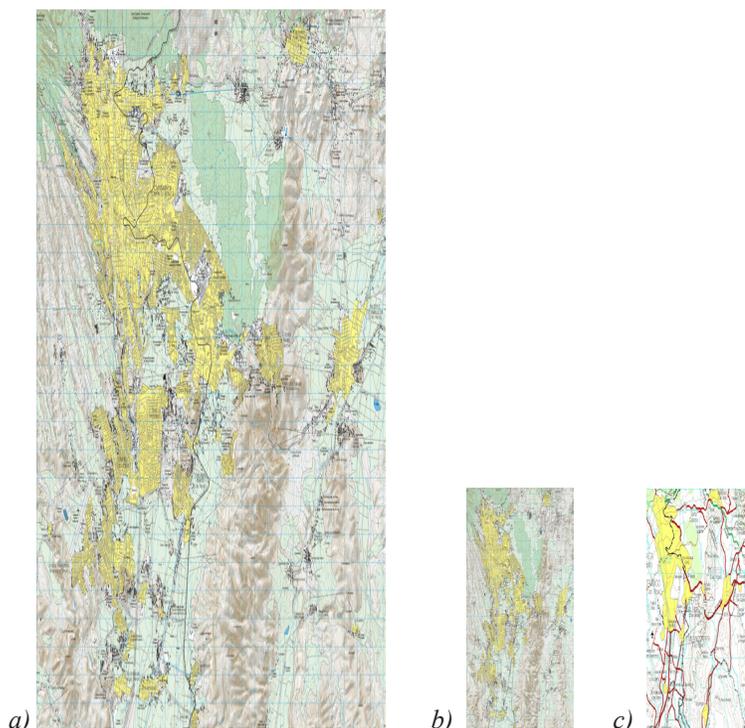
El término generalización procede de la palabra latina *generalis*, que significa relacionado con todo, general. Desde el punto de vista cartográfico, se ha definido la generalización como la selección de lo principal, lo más importante orientado hacia un objetivo y su generalización, teniendo en cuenta la realidad en sus rasgos principales y típicos, de acuerdo con el tema y la escala. La International Cartographic Association (ICA) define generalización como “la selección y simplificación de los detalles de un mapa, de acuerdo con la escala y/o el propósito del mismo” (ICA, 1973). En la figura 1 se muestra un ejemplo de generalización, en donde los datos son presentados de acuerdo con una escala específica. Además se pueden identificar algunos efectos como las transformaciones de representación.



**Figura 1.** Ejemplo de datos generalizados

En algunos casos, erróneamente se ha considerado que la generalización puede resolverse

simplemente modificando la escala de visualización; sin embargo, esto no es posible, tal y como se muestra en la figura 2. Considerando los datos de la figura 2a como base, la figura 2b muestra un cambio en escala de visualización, en donde no se considera la reducción del nivel de detalle en los datos, originando un congestionamiento visual, con lo que se pierde calidad estética y se dificulta la interpretación de la representación. Por otro lado, en la figura 2c se presenta una modificación en escala eficiente de los datos, en donde se modifica el detalle en los datos, preservando los detalles más importantes y eliminando los detalles menos importantes, logrando incrementar el valor cognitivo de la representación.



**Figura 2.** Ejemplo de datos generalizados

En el contexto de los GIS, este proceso se basa en dos conjuntos de operaciones: el primero se refiere a operaciones sobre base de datos (modelo de generalización) y el segundo es un conjunto de operaciones de visualización (generalización cartográfica). El modelo de generalización se refiere a la simplificación de la forma de representación enfocada a lograr eficiencia en el almacenamiento de datos, la selección de clases de entidades geográficas, de acuerdo con la escala especificada y el tema del mapa, así como la agregación de grupos de entidades de acuerdo con las limitaciones de la escala, mientras que la generalización cartográfica se refiere a la representación óptima de las entidades geográficas seleccionadas y agregadas. Ésta se

involucra con la selección de los símbolos, el énfasis a ciertas características que definen a las entidades, así como la omisión y pequeños desplazamientos. El resto de este artículo se ocupa en presentar algunos de los trabajos más relevantes en el área de la generalización.

#### Primeros intentos de automatización

Desde la década de los sesenta, tanto la industria como la academia, lucharon contra las dificultades para automatizar la generalización. Esta etapa se caracteriza por el desarrollo de los algoritmos de generalización, los cuales se enfocan en realizar la generalización, modificando la geometría y/o las propiedades de una entidad geográfica. Muchos de los involucrados en esta investigación no estaban convencidos de que se pudiera automatizar la generalización de forma completa; sin embargo, se hicieron algunos desarrollos enfocados a la generalización de objetos geográficos. Douglas-Peucker y Deveau, se enfocaron en la generalización de datos lineales y desarrollaron algoritmos para este fin. Otros investigadores como Monmonier, Chrisman, Lichtner y Töpfer enfocaron sus investigaciones a la generalización de objetos tipo punto y área. Por otro lado, Töpfer y Pillewitzer en 1966 propusieron la ley radical, que define la cantidad de objetos geográficos que se deben presentar en una escala determinada. Aunque dicha ley es empírica, se puede adecuar de acuerdo con la clase de objetos a representar. La ley radical se define como:

$$n_T \approx n_S \sqrt{\frac{S_S}{S_T}},$$

donde:

- $n_S$  es el número de objetos en la escala fuente,
- $S_S$  es la escala fuente,
- $S_T$  es la escala destino,
- $n_T$  es el número de objetos en la escala destino.

### Modelos de Generalización

Paralelamente a los intentos de automatización, se realizaron investigaciones para definir e identificar los elementos cognitivos que consideran los cartógrafos para realizar la generalización. Como resultado se obtuvieron algunos modelos conceptuales, como el Modelo de Ratajski, en donde se identifican los componentes cualitativo y cuantitativo de la generalización. Además, se utiliza el concepto de punto de generalización, el cual es alcanzado cuando es necesario un cambio en el método de representación.

En el modelo de Brassel and Weibel se identifican los procesos relacionados con la generalización, los cuales son: reconocimiento de la estructura, proceso de identificación, proceso de modelado, proceso de ejecución y visualización de los datos. El reconocimiento de la estructura es el

proceso encargado de identificar grupos de objetos y sus relaciones espaciales. El proceso de identificación define las funciones para generalizar, así como sus parámetros. En el proceso de modelado se compilan las funciones en una biblioteca de procesos, y la generalización se realiza en el proceso de ejecución. La visualización de los datos se encarga de la representación visual de los datos generados.

Por otro lado, el modelo de McMaster y Shea fue el primero que clasificó las técnicas de generalización manual, por medio de los denominados operadores de generalización. Además, el proceso fue descompuesto en tres áreas operacionales: consideración de los objetivos filosóficos del porqué generalizar, evaluación cartométrica de las condiciones sobre dónde generalizar y selección de las transformaciones de atributos descriptivos y espaciales, las cuales proporcionan los métodos sobre cómo generalizar (figura 3).

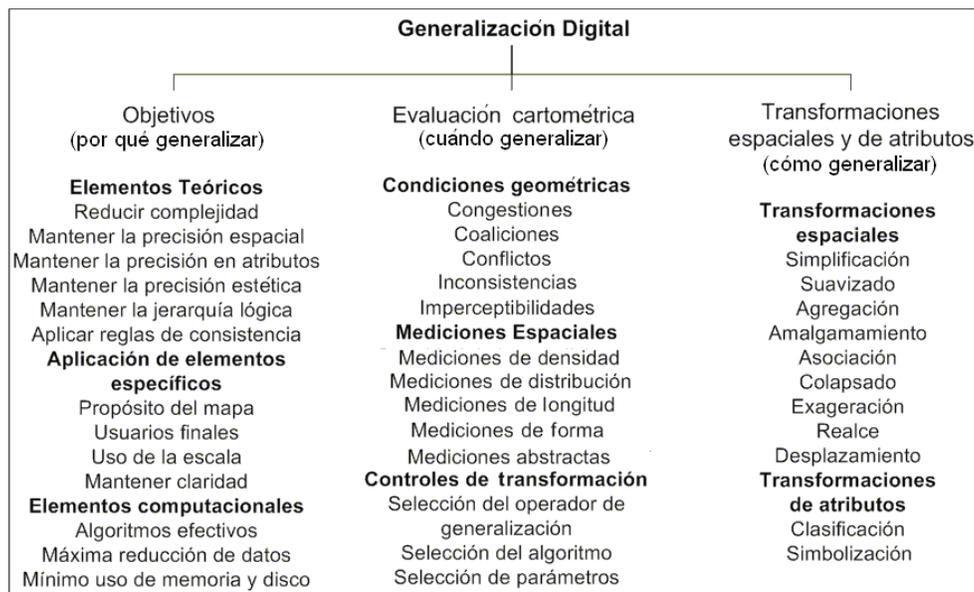
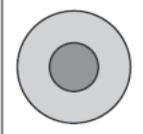
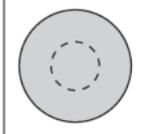
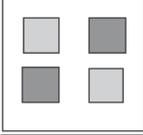
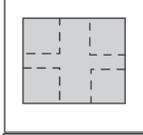
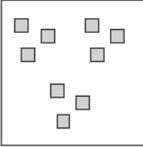
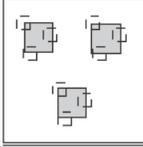
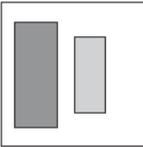
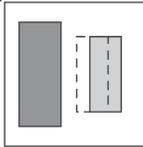
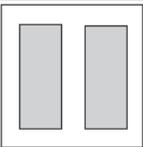
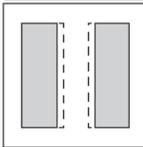
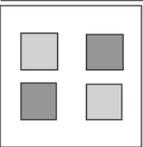
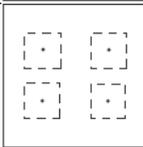
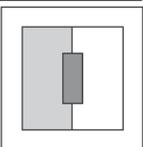
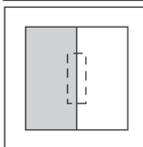
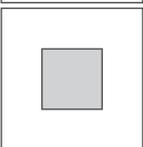
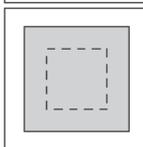
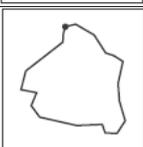
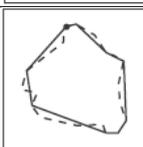
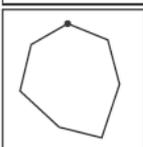
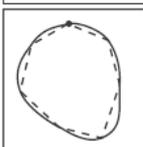


Figura 3. Modelo de McMaster y Shea

Las transformaciones espaciales y de atributos se refieren a los operadores que emulan a la generalización manual realizada por cartógrafos. Los operadores de generalización consisten en diez transformaciones espaciales: Simplificación, Suavizado, Agregación, Amalgamamiento, Asociación, Colapsado, Selección/Perfeccionamiento/Tipificación, Exageración, Realce y Desplazamiento, y dos transformaciones de atributos: Clasificación y Simbolización (figura4).

Tipo	Aplicado a	Nombre	Descripción	Fuente	Generalizado
------	------------	--------	-------------	--------	--------------

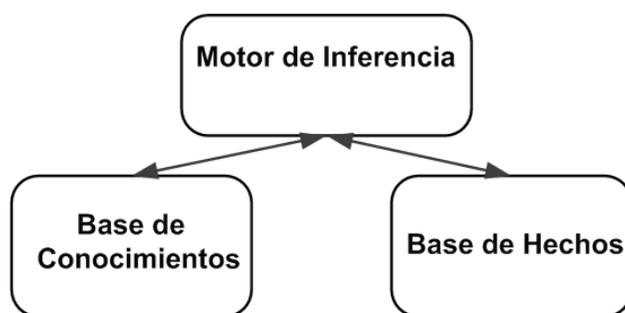
Mapa	Reclasificación	Modifica la categoría a la que pertenece un objeto, así como la posibilidad de combinar objetos vecinos que pertenezcan a la misma clase		
Grupos de polígonos	Agregación	Combina un objeto con otro de la misma (o similar) clase		
	Tipificación	Reduce la complejidad de un grupo de objetos, removiendo, desplazando, alargando y agregando objetos, manteniendo el arreglo típico de los objetos		
Polígonos	Desplazamiento	Implica el movimiento de un objeto, sin cambiar su forma		
Grupos de polígonos	Exageración	Implica el incremento (decremento) local de un objeto; su forma es distorsionada		
Polígonos	Colapsado	Colapsa un polígono a una línea o un punto (se colapsa a un píxel)		
	Eliminación	Se elimina un objeto de los datos, y el espacio liberado se asigna a otras categorías		
	Realce	Incremento (decremento) global de un objeto		
Borde de polígonos	Simplificación	Reduce la granularidad de las líneas		
Líneas	Suavizado	Mejora la apariencia visual de las líneas		

**Figura 4.** Operadores de Generalización de Shea y McMaster

## Los sistemas basados en conocimiento para la Generalización

Los sistemas expertos pretenden emular el comportamiento de un experto humano en la resolución de problemas. Se encargan de la decisión de dónde y cuándo realizar una acción específica. Los componentes básicos de un sistema experto, son (figura 5):

- La Base de Conocimiento contiene el conocimiento formalizado (estructurado) para llegar a una solución, dado un problema. Este conocimiento es representado comúnmente por reglas que proporcionan descripciones formales de recomendaciones, directivas, estrategias, etcétera (Waterman, 1986). Las reglas son expresadas por la sintaxis: “Si condición entonces acción”. Por ejemplo:
  1. Si (objeto área  $\leq$  1000) entonces (alargar objeto)
  2. Si (distancia entre objetos  $\leq$  200) entonces (desplazar objetos)
- Los Hechos (base de Hechos) describen el problema a ser resuelto por el sistema experto, esto es, se utiliza como base para la toma de decisión del sistema.
- El Motor de Inferencia aplica las reglas de la base de conocimientos con los hechos, en un ciclo para buscar coincidencias de los hechos con las condiciones de las reglas, para seleccionar una regla que coincide con los hechos y ejecuta la acción correspondiente. Se repite este ciclo hasta *que se alcanza una solución al problema*.



**Figura 5.** Componentes básicos de un sistema experto

A principios de los noventa, Herbert y Joao describieron aplicaciones basadas en sistemas expertos para asistir al usuario en las decisiones sobre la generalización. Las decisiones se relacionan con la selección del algoritmo de generalización y sus parámetros. El sistema asume que los usuarios no son expertos en cartografía y en este caso el sistema resulta de gran ayuda.

En teoría, esto puede ser mejor que utilizar los métodos estándares de generalización con parámetros por omisión y establecer en lo posible el conjunto de reglas que cobren todas las necesidades de la generalización.

Desafortunadamente, esto puede no ser suficiente, ya que un verdadero sistema experto para la generalización debe ser capaz de determinar si la tarea a realizar es imposible o si la recomendación falla y no se obtiene un resultado correcto. La propuesta de un conjunto de parámetros es simplemente un avance muy pequeño. Un verdadero sistema experto (que sea realmente útil) debe ser capaz de experimentar con diferentes parámetros y entonces evaluar si es válida la recomendación.

El éxito de un sistema experto depende directamente del conocimiento que contiene. Entonces, cuanto mejor se define el problema, se pueden derivar mejores reglas, lo que origina que se obtengan mejores soluciones. Sin embargo, la generalización es altamente compleja y existe poca formalización del conocimiento cartográfico. El conocimiento requerido para la generalización se puede clasificar en tres grupos:

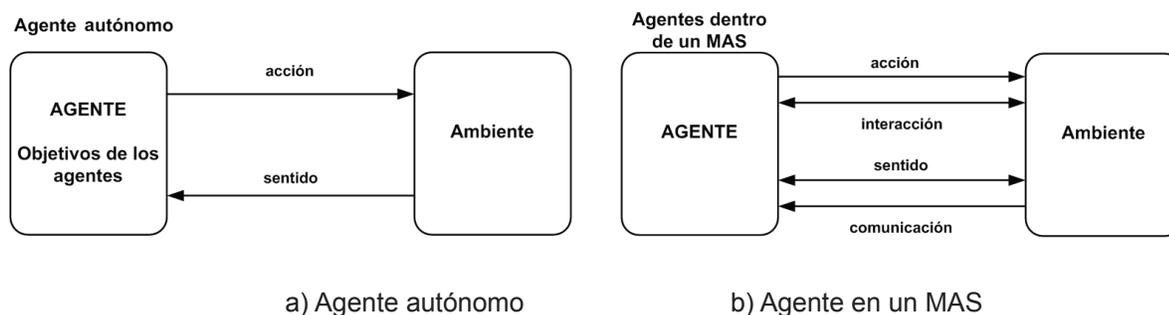
- Conocimiento geométrico (por ejemplo, tamaño y forma de los objetos)
- Conocimiento estructural (por ejemplo, jerarquía de las categorías representadas)
- Conocimiento procedural (por ejemplo, para seleccionar los operadores adecuados en un conflicto determinado)

Las posibles fuentes de conocimiento relacionadas con la generalización, son: cartógrafos expertos, los mapas, libros de texto y diccionarios de las instituciones nacionales encargadas de la confección de mapas, también conocidas como NMAs (National Mapping Agencies). Con el fin de obtener conocimiento cartográfico, se definen las siguientes alternativas:

- Entrevistas con cartógrafos expertos. Realizadas con diversos métodos, tales como entrevistas estructuradas, proponiendo casos críticos o problemas artificiales.
- Ingeniería inversa. Se basa en la recolección de conocimiento, comparando objetos del mapa, usando series de mapas a diversas escalas.
- Trazo interactivo. Genera reglas de la generalización interactiva, realizada por un cartógrafo experto.
- Técnicas de aprendizaje automático (machine learning). Tienen como propósito derivar reglas a partir de un conjunto de ejemplos resueltos por un cartógrafo experto. En algunos trabajos se emplearon redes neuronales artificiales como mecanismo de aprendizaje.

## Sistemas multiagentes en generalización

Un agente es un sistema computacional situado en algún ambiente, capaz de ejecutar una acción autónoma para resolver sus objetivos (figura 6a). Se considera como inteligente si funciona flexible y racionalmente, acorde a su ambiente y capacidades.



**Figura 6.** Interacción de agente

Un sistema multiagente (MAS) es un método de inteligencia artificial distribuida. MAS se refiere a la solución cooperativa de problemas por un grupo descentralizado de procesos o agentes. Un MAS se define como un sistema en el cual diversos agentes inteligentes interactúan persiguiendo metas o ejecutando un conjunto de tareas.

En lo que se refiere a la generalización, un MAS puede ofrecer la metodología necesaria para orquestar los algoritmos, restricciones, estrategias, etcétera, en un sistema dinámico, flexible y automatizado. La aplicación de sistemas multiagentes a la generalización digital se propuso primeramente en 1999 [Ruas, 1999] y fue enriquecido por el proyecto europeo AGENT (Barrault et al., 2001). El proyecto demostró las capacidades de un MAS para la generalización de mapas, el cual se basa en restricciones, niveles de análisis y agentes.

En este enfoque, las entidades geográficas son diseñadas como agentes. Por ejemplo, un edificio, un camino, un grupo de edificios, etcétera, pueden convertirse en un agente. Considerando la definición de agente, proporcionada anteriormente, cada agente (entidad geográfica) en el prototipo AGENT, tiene las siguientes características:

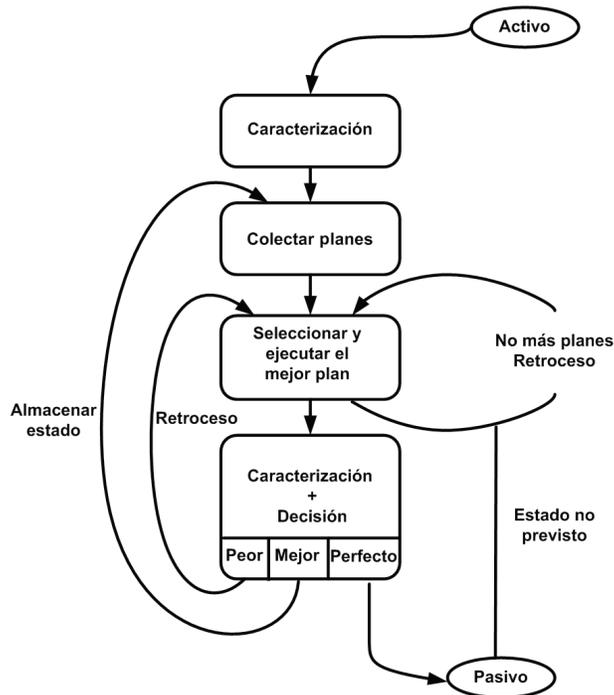
- Cumple una meta, la cual se formaliza por medio de restricciones;
- Posee sensores, modelados por mediciones que evalúan la satisfacción de las restricciones y caracterizan el conflicto y los objetos implicados, y puede accionar los planes para mejorar el cumplimiento de las restricciones

La generalización de un agente está ligada a un conjunto de restricciones, es decir, las necesidades de la generalización y la evaluación de la solución que se obtiene, son dirigidas por las restricciones. Según Ruas, el conjunto de datos a generalizar se organiza jerárquicamente en niveles de análisis. Usando dichos niveles, se facilita la caracterización de los conflictos y la aplicación de los algoritmos, y se realiza la generalización en forma más eficiente. Así, todas las restricciones y operaciones están limitadas por un cierto nivel. El prototipo AGENT fue construido en dos niveles:

- El nivel micro se encarga de las entidades geográficas individuales, tal como un edificio o un camino;
- El nivel mezo, se refiere a grupos de entidades geográficas (micro-objetos), por ejemplo un bloque de ciudad integrado por edificios;

La generalización de un agente se realiza durante un ciclo de vida, es decir, considerando una secuencia de diversas etapas:

1. Caracterización del agente (es la evaluación de sus restricciones);
2. Si la generalización es necesaria (que las restricciones no están satisfechas), se selecciona y ejecuta para mejorar el cumplimiento de las restricciones;
3. Caracterizar las restricciones y decidir si la situación del agente mejoró (figura 6).



**Figura 7. Ciclo de vida de un agente**

El ciclo de vida de un agente termina cuando se alcanza un estado perfecto (cuando todas las restricciones están satisfechas completamente) o no existe la posibilidad de mejorar su estado. Se utilizó una modificación del *algoritmo de Hill-climbing* para comparar y buscar el mejor de los diferentes estados generados por el proceso iterativo de generalización. Este estado es entonces utilizado para actualizar el agente.

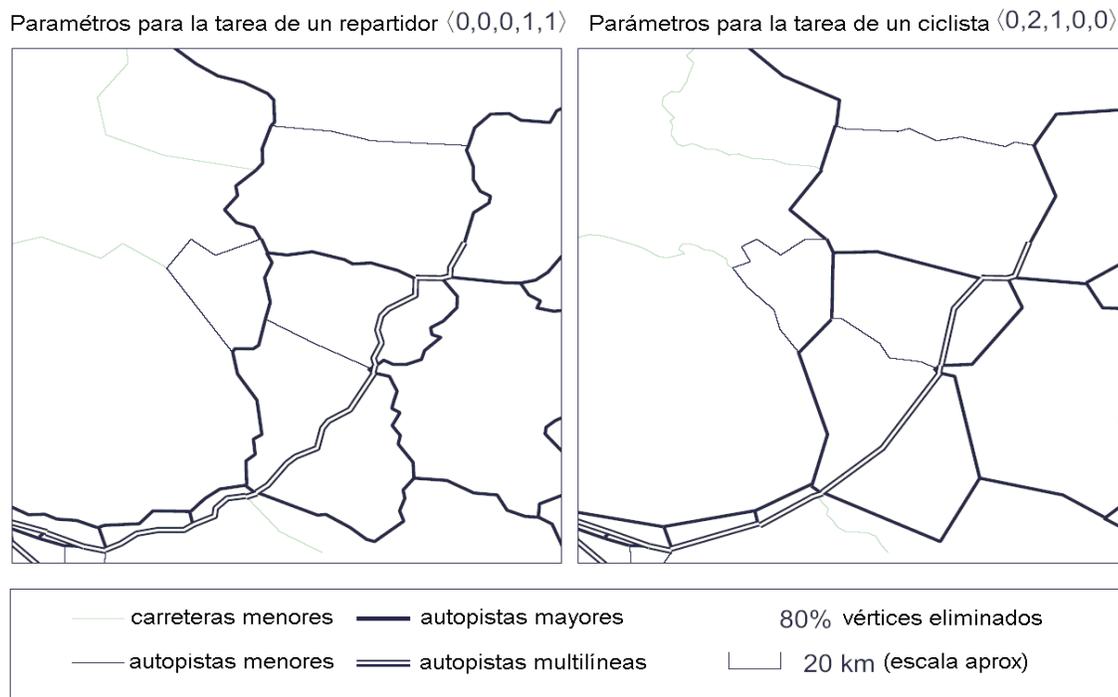
Enfoques semánticos para generalización, utilizando ontologías

Al generalizar los datos espaciales, la semántica juega un papel importante. La generalización permite la transformación semántica y controla la toma de decisión para las operaciones geométricas. Sin embargo, los componentes espaciales y semánticos de una capa de datos están ligados íntimamente, y cualquier tratamiento de uno aislando el otro, tendrá el riesgo de lograr una representación errónea del fenómeno cartográfico. Entonces, el conocimiento sobre el esquema primario de clasificación de un experto, sobre el tema de un mapa (y a veces incluso de los datos auxiliares), es imprescindible para producir no solamente una “buena apariencia” de los datos, sino también una agrupación significativa de las clases de datos y la generalización del conjunto de datos. La semántica de la generalización es importante por diversas razones:

- Ayuda a seleccionar el operador adecuado para un conflicto particular.
- La semántica controla la reducción del número de clases. Más allá de cualquier duda, la reclasificación es el operador más importante para reducir la complejidad de una capa de datos (Jaakkola, 1998), especialmente al realizar cambios drásticos en escala (por ejemplo, cambio de 1:25,000 a 1:200,000). Además, la combinación geométrica de objetos adyacentes de la misma categoría (que resulta de la reclasificación) implica la solución de conflictos geométricos potenciales, tales como polígonos que sean demasiado pequeños o demasiado estrechos.
- Determina el objeto vecino más probable para llenar el “hueco” que existe después de que la eliminación de un objeto se identifica con respecto a la semántica. La compatibilidad de dos objetos depende, además de sus características geométricas, principalmente de su similitud semántica.
- La semántica interviene en la resistencia del límite de un polígono a la deformación, es decir, la modificación de los límites denominados suaves (por ejemplo, el contorno del área de un talud), se prefieren en relación a la de los límites denominados duros (por ejemplo, el contorno de un lago).
- Identifica una solución usando criterios de integridad semántica; por ejemplo, un lago en el mar no es aceptable.

Las ontologías se han utilizado como mecanismo para representar la semántica de los datos. En el contexto de las ciencias de la computación, el término ontología se refiere al intento de formular un exhaustivo y riguroso esquema conceptual dentro de un dominio dado, con la finalidad de facilitar la comunicación y la compartición de la información entre diferentes sistemas.

Kulik en el 2005 presentó un algoritmo que utiliza información ontológica para la generalización de objetos lineales, el cual puede adaptarse para diversos usuarios y tareas. Se basa en una función de ponderación que contiene dos componentes: una geométrica y otra semántica. A su vez, el usuario define una tupla de ponderación. El componente semántico depende del caso de estudio, para tal fin, una red de transporte. Ésta se compone por cinco clases: rutas de ferry, carreteras menores, autopistas menores, autopistas mayores y autopistas multilínea, que corresponden a valores en la tupla  $\langle a, b, c, d, e \rangle$ . La figura 8 muestra un ejemplo de generalización, utilizando este método.



**Figura 8.** Simplificación de líneas, usando el método de Kulik

Estos enfoques además se han utilizado para valorar el resultado de la generalización, e identificar si es consistente o no, en relación a los datos fuente. Tal es el caso de Moreno (2007), en que se presenta un método para evaluar el cambio de relaciones topológicas con base en representaciones semánticas de los datos geográficos. Además, puede utilizarse para evaluar si

los datos generalizados son aptos para una aplicación en particular. Esto se define de acuerdo con las mediciones de similitud semántica efectuadas a nivel de objeto y de la capa de datos, con lo que se observa qué tan consistentes son los datos generalizados en diferentes niveles de detalle.

## Conclusiones

Como se ha visto a lo largo de este artículo, la generalización es un área que involucra diversas disciplinas. La dificultad de realizarla depende e involucra muchos aspectos, como temáticos, descriptivos, topológicos y de calidad estética. Además, se requiere de un conocimiento cartográfico formalizado, para desarrollar métodos computacionales capaces de llevar a cabo, de manera satisfactoria, la generalización en los datos geográficos.

Uno de los aspectos que se ha resaltado a lo largo del artículo, es que se ha considerado que la generalización puede realizarse y evaluarse en distintos niveles de detalle. En otras palabras, considerando un objeto o bien grupos de objetos, con lo que es posible refinar los métodos que se desarrollan.

Los enfoques más novedosos, basados en semántica, consideran aspectos que incluyen la personalización de los datos. Esto resulta muy importante, ya que hoy en día las necesidades de los datos geográficos son muy diversas, por el entorno y el auge de las aplicaciones de GIS.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido auspiciado y apoyado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (PICCO10-103) y la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN, a través de los proyectos: 20110988, 20113712, , 2011085, 20110302 y 20113757.

## Bibliografía

[Barrault et al., 2001] Barrault M., Regnaud N., Duchêne C., Haire K., Baeijs C., Demazeau Y., Hardy P., Mackaness W., Ruas A. and Weibel R.: (2001) Integrating multi-agent, object-oriented and algorithmic techniques for improved automated map generalization, Proceedings 20th International Cartographic Conference, China,2110–2116.

[Buttenfield, 1991] Buttenfield, B.P.: (1991) Map Generalization. Making Rules for Knowledge Representation. In McMaster R.B. (ed). Longman, London, UK.

[Brassel y Weibel, 1988] Brassel, K. and Weibel, R.: (1988) A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. *International Journal of Geographic Information Systems*, 2(3): 229- 244.

[Deveau, 1985] Deveau, T.J.:(1985) Reducing the number of points in a plane curve representation. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Automated Cartography, AUTO-CARTO VII*. Falls Church, VA: American Society of photogrammetry and the American Congress on Surveying and Mapping. 152-160.

[Douglas y Peucker, 1973] Douglas, D. and Peucker, T.: (1973) Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10(2), 112-122.

[Duchêne et al., 2002] Duchêne, C., Regnauld, N., Ruas, A.: (2002) Le modèle AGENT , dans : Ruas A. (sous la direction de). *Généralisation et représentation multiple*. Hermès Science Publications, Paris, France, 369-383.

[Edwardes y Mackaness, 2000] Edwardes, A. and Mackaness, W. (2000) Modelling knowledge for automated generalization of categorical maps - a constraint based approach. In Atkinson P. and Martin D. (eds.). *GIS and GeoComputation (Innovations in GIS 7)*,: Taylor&Francis, London, UK, 161–173.

[Harrie, 1999] Harrie, L.: (1999) The Constraint Method for Solving Spatial Conflicts in Cartographic Generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1), 55–69.

[Herbert y Joao, 1992] Herbert, G. and Joao, E.: (1991) Automating map design and generalisation: A review of systems and prospects for future progress in the 1990's. *SERRL Working Report 27*", Technical report, Department of Geography, Birkbeck College.

[Højholt, 2000] Højholt, P.: (2000) Solving Space Conflicts in Map Generalization: Using a Finite Element Method. *Cartography and Geographic Information Science*, 27(1), 65–74.

[ICA, 1973] International Cartographic Association: (1973) *Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography*, Steiner, Wiesbaden.

[Jaakkola, 1998] Jaakkola, O. (1998) Multi-Scale Categorical Databases with Automatic Generalization Transformations Based on Map Algebra. *Cartography and Geographic Information Systems*, 25(4), 195–207.

[Joao, 1993] João, E.M. (1993) Causes and Consequences of Map Generalisation, Ph.D. thesis, London School of Economics, UK.

[Kilpeläinen, 1995] Kilpeläinen, T., and Sarjakoski, T.: (1995) Incremental generalization for multiple representations of geographical objects. GIS and Generalization: Methodology and Practice. In: J.C. Muller, J.P. Lagrange, R. Weibel. Bristol(eds). Taylor & Francis, 209-218.

[Kulik et al., 2005] Kulik, L., Duckham, M., and Egenhofer, M.: (2005) Ontology-driven map generalization. Journal of Visual Languages and Computing, 16 (3): 245-267.

[McMaster y Shea, 1992] McMaster, R., Shea, K, S.,: (1992), Generalization in Digital Cartography, Association of American Geographers, U.S.A.

[Monmonier, 1983] Monmonier, M.: (1983) Raster-Mode Area Generalization of land Use and Land Cover Maps. Cartographica, 20(4), 65-91.

[Moreno, 2007] Moreno, M.: (2007) Semantic Similarity Applied to Generalization of Geospatial. LNCS, 4853, 247-255.

[Ratajski, 1967] Ratajski, L. : (1967) Phénomènes des points de généralization. International Yearbook of Cartography, 7, 143-151.

[Ruas, 1999] Ruas, A. : (1999) Modèle de généralization de données géographiques `a base de contraintes et d'autonomie, Ph.D. thesis. Université de Marne-la-Vallée.

[Töpfer y Pillewitzer, 1966] Töpfer, F. and Pillewitzer, W.: (1966) The principles of selection. Cartographic Journal, 3, 10-16.

[Weibel, 1991] Weibel, R.: (1991) Amplified intelligence and rule-based systems: In Buttenfield B.P. and Mc-Master R.B. (eds.). Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation. Longman, London, UK, 172–186.