

Buscando las Características Cualitativas y Cuantitativas para la Modificación Eficiente de Escala en Capas Vectoriales

Searching for Qualitative and Quantitative Features for the Efficient Modification of Scale in Vector Layers

Marco Moreno y Serguei Levachkine

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en Computación
Av. Juan de Dios Bátiz s/n Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"
C.P. 07738, México, D.F., México
marcomoreno@cic.ipn.mx, sergei@cic.ipn.mx

Artículo recibido en mayo 13, 2002; aceptado en julio 07, 2005

Resumen

Este artículo describe una alternativa para automatizar la generalización digital de aspectos espaciales y descriptivos de los datos geográficos. Se exponen dos esquemas. El primero es denominado GAME, utiliza criterios establecidos previamente por el usuario y se definen con base en su experiencia, sin embargo frecuentemente origina inconsistencias. El segundo esquema, se basa en un Analizador Semántico, el cual obtiene automáticamente los criterios para manipular los operadores de generalización. Esto se realiza analizando las características Topológicas, Lógicas y Funcionales de los datos espaciales. Además, considera la interacción de objetos de la misma temática, que por su representación se almacenan en diferentes capas y toma en cuenta las posibles relaciones con otras temáticas. Este esquema se propone como base para lograr una solución universal (hasta cierto punto) para determinadas casos de estudio, realizando modificaciones consistentes y eficientes. Adicionalmente, se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos con ambos esquemas.

Palabras Clave: Generalización, Escala, Estructura Topológica, Semántica Espacial, Analizador Semántico.

Abstract

The present article describes an alternative to automate the digital generalization of spatial and descriptive data. Two schemas are presented. The first one is denominated GAME, and it is based on the user experience to define criteria. Its schema frequently generates inconsistencies. Second schema is based on Semantic Analyzer, which automatically obtain the criteria to manipulate the generalization operators. It is obtained by analyzing the topological, logical and functional features of spatial data. In addition, it considers the interaction between objects of the same thematic that by their representation are stored in different layers and takes into account the possible relations between other thematic layers. This schema is proposed to obtain a consistent and efficient modification in scale for certain study cases. A comparative analysis of the results is presented as well.

Keywords: Map generalization, Scale, Topological structure, Spatial semantics, Semantic analyzer

1 Introducción

Los mapas cartográficos son una representación reducida de la superficie terrestre en un plano y son ampliamente utilizados en diversas áreas del conocimiento, ya que muchos objetos o fenómenos pueden representarse en ellos, tales como fenómenos territoriales o socioeconómicos. Existen otras representaciones que no se consideran mapas como una fotografía o una pintura artística. Los mapas deben dar a cada objeto sus propiedades esenciales e interpretaciones, ya sea en forma cualitativa o cuantitativa al representarlo en un plano.

Buscando las Características Cualitativas y Cuantitativas para la Modificación Eficiente de Escala en Capas ...

La propiedad más importante de un mapa geográfico es la posibilidad de presentar de forma evidente el objeto de estudio común para cualquier extensión, ya sea área, región, provincia, país, continente o toda la tierra. Se fundamenta en dos particularidades de la representación cartográfica: en la reducción del objeto de estudio y en la reproducción de este en forma generalizada.

El término de generalización, procede de la palabra latina *generalis*. La raíz lingüística explica perfectamente la esencia de la generalización: la selección de lo principal, lo más importante orientada hacia un objetivo y su generalización teniendo en cuenta la realidad, en sus rasgos principales y típicos, y además las particularidades características, de acuerdo con la asignación del mapa, con el tema y la escala (Salitchev, 1972).

Un aspecto de gran valor en la generalización es la singularidad de la localidad y los fenómenos que se cartografían, fácil de aclarar si se toma en cuenta el objetivo principal de la generalización: la tendencia a reproducir el mapa con la mayor objetividad posible, los rasgos típicos y las particularidades características de la realidad. Los mismos objetos o sus propiedades son valorados de diferente manera para los distintos paisajes, o de acuerdo con la singularidad de las relaciones entre estos objetos y otros fenómenos. La modificación en escala depende de un gran número de factores, utilizando un esquema de generalización adecuado, es posible llevarla a cabo automáticamente para determinados casos.

El problema de la generalización de datos espaciales ha llamado mucha atención de algunos grupos de investigadores. Desde el comienzo de la cartografía digital, han existido importantes esfuerzos para lograr un modelo adecuado para resolver el problema de generalizar. Dentro de las primeras alternativas aparece la “Ley Radical” (Töpfer and Pillewizer, 1966), que consiste en seleccionar el número de objetos a presentar a una escala determinada. Posteriormente se trataron los aspectos de apariencia de los elementos, y se realizaron algoritmos de simplificación de líneas. Entre ellos se encuentra el algoritmo de Douglas-Peucker desarrollado en 1973, que resulta de aplicación general y hasta hoy en día es de gran utilidad (Douglas and Peucker, 1973). Cabe señalar que en esta primera etapa de la Generalización Digital se enfocaba principalmente al aspecto geométrico de los datos.

Posteriormente, se comenzaron a enfocar las investigaciones a los aspectos conceptuales de la generalización y se realizaron algunos modelos que descomponen la generalización en actividades específicas y comienzan a involucrar los datos descriptivos. Dentro de estos modelos podemos mencionar el de (Brassel and Weibel, 1988), donde se hace una distinción entre la generalización estadística y cartográfica. Además Shea y McMaster, presentan un modelo utilizado para describir los objetivos de la generalización (McMaster and Shea, 1988). Otro de los modelos existentes es el basado en Bases de Datos de Representación Múltiple (MRDB) (Kilpeläinen, 1992), que utiliza una base de datos que contiene representaciones a diversos niveles de detalle, lo que permite que tenga una mayor flexibilidad, la elaboración de mapas y permite propagar los cambios entre diferentes niveles de escalas (Kilpeläinen, 1997).

Desde el inicio de la década de los noventa, hasta hoy en día, se comenzaron a involucrar modelos para formalizar el conocimiento cartográfico utilizando Sistemas Expertos, métodos basados en reglas, redes neuronales y técnicas orientadas a objetos (Müller, 1995). Buttenfield y McMaster, buscan establecer reglas-base para la generalización, que incluye modelación y técnicas de representación de datos espaciales (Buttenfield and McMaster, 1999). Armstrong propone organizar el conocimiento y procedimientos en la selección de operadores y algoritmos, para aplicarlos a generalizar dado un contexto específico de un mapa (Armstrong, 1991). Hasta hoy, se han realizado investigaciones exhaustivas que permiten dar una solución parcial al problema de generalización, como resultado del proyecto AGENT, se han presentado algunas alternativas a considerar para elegir el grupo de algoritmos a utilizar y para evaluar la consistencia de los resultados obtenidos al término del proceso (Agent Consortium (1), 1999) (Agent Consortium (2), 1999).

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores el desarrollo de la Generalización Digital ha evolucionado de manera que primero se involucraron aspectos gráficos, para posteriormente referirse a la descripción del proceso de generalización en un contexto más amplio utilizando la información descriptiva y hoy en día se tratan de involucrar aspectos descriptivos y gráficos de manera que se obtenga como resultado información que conserve las características inherentes de los sistemas de objetos espaciales (Semántica Espacial), dando un enfoque que desciende las tendencias modernas en generalización.

En este artículo se presentará un enfoque que desciende de las tendencias modernas de la generalización para modificar la escala en capas vectoriales, dependiendo de la consideración de criterios definidos por las particularidades cuantitativas y cualitativas de las capas de objetos espaciales, además de indicar algunas consideraciones que se deben utilizar para elaborar las funciones de generalización. Se describe además un Analizador Semántico, que en base a un conjunto

de reglas determine en forma automática la mejor alternativa de generalización, considerando las características topológicas, funcionales y lógicas de los sistemas de objetos espaciales.

2 Generalización desde la Perspectiva de un Sistema de Información Geográfica (GIS)

En 1992, Shea y McMaster descompusieron el proceso de generalización en tres áreas operacionales: La consideración de los objetivos filosóficos, es decir ¿por qué generalizar? (McMaster and Shea, 1992); La evaluación cartométrica de las condiciones que indican, ¿cuándo generalizar?; y la selección de las transformaciones espaciales y de atributos que indican ¿cómo generalizar? Pero además presentaron doce operadores de generalización, que han influenciado grandemente al desarrollo de software. Los operadores son un intento para emular las técnicas de generalización manual en técnicas basadas en conocimiento y razonamiento, (Weibel, 1997). Agrupándolas en dos categorías: Espaciales y de Atributos.

Los operadores de generalización consisten de diez transformaciones espaciales: Simplificación, Suavizado, Agregación, Amalgamamiento, Asociación, Colapsado, Selección / Perfeccionamiento / Tipificación, Exageración, Realce y Desplazamiento; y dos transformaciones de atributos: Clasificación y Simbolización. Las transformaciones espaciales se refieren al aspecto geométrico de los objetos, así como también a determinados aspectos sobre su posición en el plano. Por otra parte las transformaciones de atributos, manipulan directamente las características descriptivas, que están asociadas a todos y cada uno de los objetos espaciales.

Considerando el uso de un Sistema de Información Geográfica (GIS), todos y cada uno de los operadores de generalización, pueden ser implementados, y algunos existen inherentes, dentro de las funciones comunes en la mayor parte de los GIS, como:

- Clasificación de elementos por atributo,
- Selección de elementos por atributo ,
- Generación de símbolos y
- Modificación de las coordenadas de los objetos.

Ninguna generalización, que se realice utilizando un GIS, estaría totalmente completa hasta que los datos sean transformados tanto espacial como descriptivamente. Esto porque en un GIS ambos aspectos tienen la misma importancia. La Fig. 1 muestra un esquema de generalización automática vectorial en mapas topográficos (GAME) (Moreno, 2001), donde se muestran los elementos que tienen ingerencia durante el proceso de modificación en escala.

El esquema de generalización automática está dividido en etapas, cada una de ellas muestra los datos que involucra, en (1) aparecen los datos vectoriales y descriptivos de entrada al proceso de generalización. Es necesario considerar el uso de capas auxiliares, debido a que ningún fenómeno aparece aislado del caso de las curvas de nivel y el drenaje. Por lo anterior, facilita la obtención de una mejor representación al variar la escala y es posible inferir de alguna forma la semántica de las capas. Los datos descriptivos, juegan un papel importante, deben ser utilizados como cuantificador de los sistemas de objetos espaciales.

Las Funciones (2), son un conjunto de procedimientos que involucran el uso de los operadores de generalización, que son parametrizados usando criterios (3), que definen el cambio a realizar. Los criterios especifican los intervalos a utilizar para la clasificación, selección, simplificación, etc. Dichos criterios son específicos para cada caso de estudio y están definidos por el propósito de la generalización.

Para algunos casos generar datos auxiliares (4) que ayuden a lograr una mejor conceptualización del fenómeno a generalizar, dado que, con estos datos es posible descomponer a los sistemas de objetos espaciales, además de poder emplear los datos auxiliares en otros procesos. Dentro de estos datos se encuentran aquellos obtenidos como resultado de clasificaciones.

Las capas generalizadas (5) son el resultado de la aplicación de las etapas anteriores, dichas capas deben conservar sus rasgos y mantener una estructura topológica congruente.

El uso del esquema propuesto puede ser utilizado incrementalmente, como se muestra en la Fig. 2, donde aparecen diversos niveles de visualización, y cada uno de ellos corresponde a una escala distinta, diferentes criterios son empleados según sea el cambio de escala.

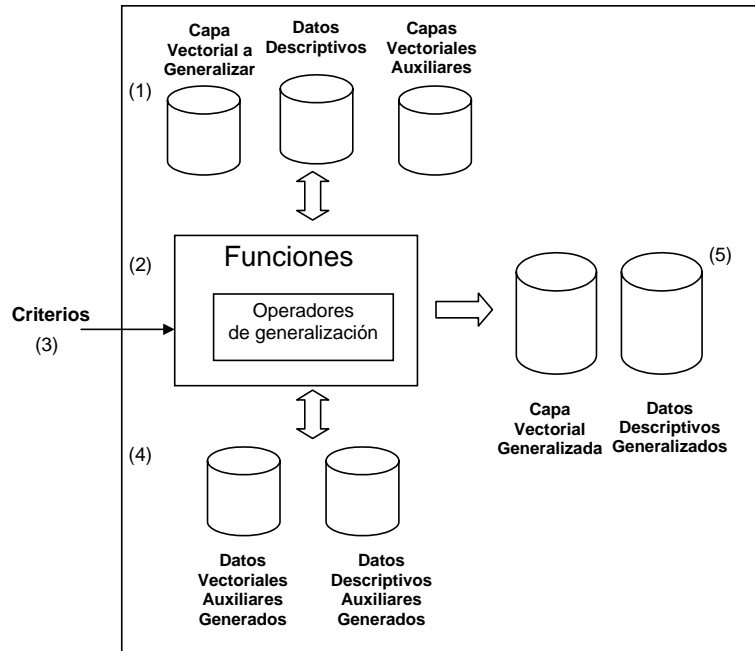


Fig. 1. Esquema de generalización automática (GAME).

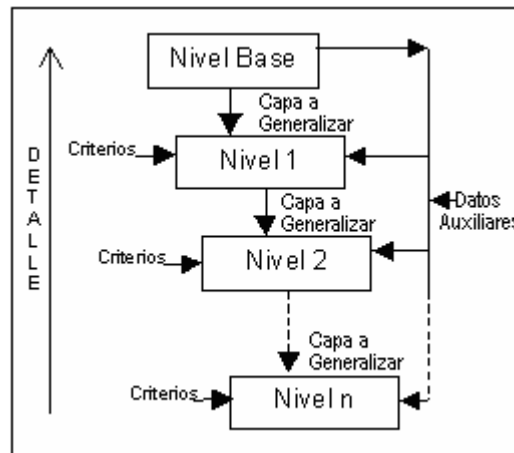


Fig. 2. El esquema de generalización automática aplicado a generalización incremental.

3 Funciones de Generalización

Generalizar implica destacar los aspectos más relevantes de cualquier estructura espacial, y hasta hoy, no hay un método que pueda ser considerado como de aplicación universal para cualquier sistema topológico que se presente. Esto es por la gran variedad de casos que se presentan, y si añadimos las variaciones que se ocasionan por la escala y tema, el problema se hace aún más complejo.

Desde el punto de vista de la automatización del proceso de generalización, es muy importante encontrar los vínculos espaciales entre diversos fenómenos. Esto puede resultar muy valioso, durante ciertas etapas de la modificación de escala, para los fines de este artículo se describirá el proceso de generalización de redes hidrológicas.

3.1 Análisis de la Estructura

Previo a la modificación en escala de cualquier fenómeno es requerido un análisis, para encontrar los detalles que distinguen a la estructura en su construcción y propiedades.

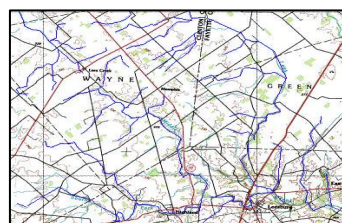
El análisis tiene como objetivo, conocer las particularidades que tienen los sistemas objetos espaciales, que constituyen las capas de información a diferentes niveles de detalle, así como identificar claramente a los objetos que los componen.

Dentro de los puntos relevantes que se deben analizar para los fenómenos espaciales se encuentran:

- ¿Qué objetos la componen?
- ¿Qué rasgos la distinguen?
- ¿Cuál es la información descriptiva asociada a los objetos?
- ¿Qué estructuras topológicas forma?
- ¿Es posible agrupar a los objetos que la componen por categorías?
- ¿Existen relaciones con otras capas?
- ¿Cómo se relaciona con otras capas?
- ¿Que casos existen?
- ¿Existen restricciones, en cuanto a su construcción y representación?

Como ejemplo del análisis, se muestra el caso de estudio de una red hidrológica y se listan algunas características;

- Las redes hidrológicas están formadas por: escurrimientos, arroyos perennes e intermitentes, cuerpos de agua, entre otros.
- La gran mayoría de redes hidrológicas tienen únicamente una salida.
- Están siempre delimitadas por un parte aguas.
- El drenaje presenta configuraciones diversas, originadas por la topografía.
- Existen diversas configuraciones (ver Fig. 3).
- El flujo siempre sigue solamente una dirección.
- La altura donde comienza cualquier red, siempre es mayor que la altura del punto donde termina.
- Todos los objetos que forman la red poseen información sobre la cantidad de flujo.
- Es posible representar cualquier red utilizando únicamente la dirección del flujo.
- El flujo se puede clasificar por los cauces que forma.
- La representación de algunos objetos cambia con respecto a la escala.



a) Configuración "arco-arco"



b) Configuración "arco-área-arco"

Fig. 3. Configuraciones de las redes hidrológicas.

Cuando se han encontrado las características que describen el comportamiento del fenómeno de interés puede establecerse una estrategia de generalización, que consiste en establecer los pasos a seguir para generalizar.

La parte esencial de la generalización, es la selección de los elementos que deben ser conservados, es en este punto donde hay que cuantificar a los objetos, por su importancia dentro del sistema cartografiado.

3.2 Clasificación

Partiendo de los resultados del análisis, y de los objetivos de la generalización, es posible definir como se clasificarán los objetos de la capa de estudio.

La clasificación durante la generalización, se usa para un propósito específico e involucra la aglomeración de datos en grupos con características similares. Las características a clasificar de los objetos definen las formas, propiedades e importancia que tienen dentro del sistema.

Existen tres aspectos, que pueden utilizarse para clasificar a los objetos. Estos aspectos son: cuantitativos, cualitativos, y lógicos. El primero se refiere a las dimensiones que tienen los objetos. Las dimensiones abarcan aspectos de longitud, área, perímetro, etc. Por ejemplo, agrupar en una categoría a todas las áreas mayores a 200 m², de aquí que se refiera a las propiedades geométricas de los objetos.

El aspecto cuantitativo admite el uso de un gran número de alternativas, para clasificar objetos, por el simple hecho de que cualquier propiedad descriptiva inherente a los objetos puede ser utilizada como una variable cuantitativa. Como es el caso de aquellas áreas que tengan vegetación similar o visto desde un enfoque geológico, agrupar a los suelos que por su composición sean susceptibles a inundación. Existen casos donde los objetos espaciales son transformados en su estructura topológica, para simplificar la clasificación, como es el caso de una transformación “puntos – área”, por ejemplo con algunos pozos muy cercanos que comparten en conjunto muchas características.

La experiencia humana puede ser emulada utilizando el aspecto lógico, ya que a determinados objetos se les da una importancia relativa, que en más de un caso no significa que el objeto sea grande, simplemente por alguna característica destaca de los otros. Como es el caso de algunas poblaciones que aparecen en los mapas, por su importancia histórica únicamente.

Este aspecto es utilizado para complementarse con las clasificaciones geométricas y descriptivas de los objetos, o dicho de otra forma como un complemento de la clasificación cuantitativa y cualitativa; lo que significa que, los aspectos no son exclusivos y pueden complementarse para lograr mejores resultados. Un ejemplo muy claro de el aspecto lógico es el río Missouri – Mississippi, que en realidad son dos flujos, pero ambos son considerados como principales, siendo cartográficamente correcto considerar como principal solo a uno de ellos.

La Fig. 4 muestra las diferentes alternativas de clasificación, de redes hidrológicas con configuraciones “arco-arco”, considerando los criterios cuantitativo, cualitativo y lógico.

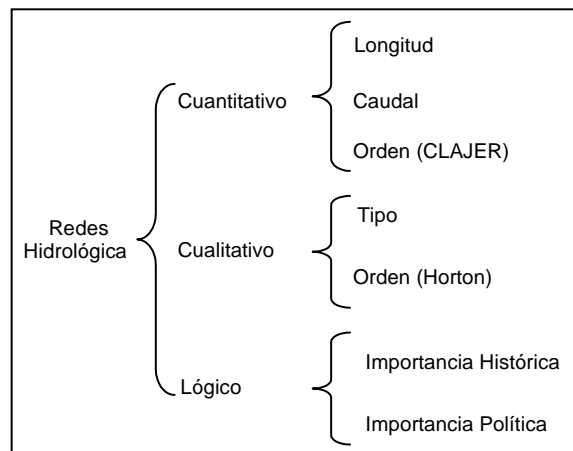


Fig. 4. Clasificaciones de las redes hidrológicas.

En la Fig. 5. se muestran las alternativas de clasificación utilizando órdenes, la primera es una clasificación que se utiliza para cuantificar el número de cauces que tiene una estructura hidrológica, establecida por Robert Horton (Horton, 1920) y la otra es una Clasificación Jerarquizada por Longitud (CLAJER) (Moreno, 2001), que es clasificación cartográfica que permite cuantificar a los elementos de la red, considerando su longitud en conjunto.

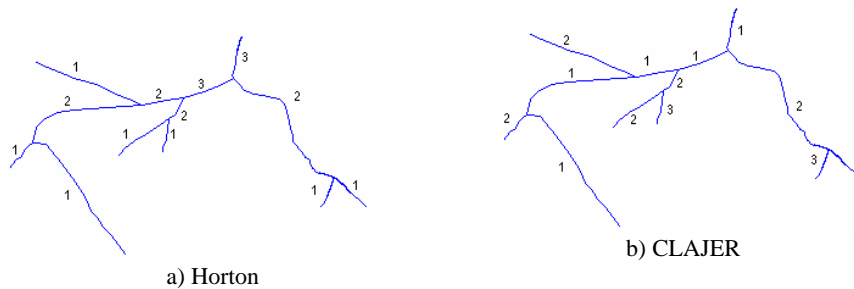


Fig. 5. Clasificaciones usando orden.

Hay clasificaciones que son muy variadas son originadas por la construcción del fenómeno, pueden tener diversas representaciones, como es el caso de poblaciones, y para este caso se clasifican en dos grupos, que dependen del área y del número de habitantes (ver Fig. 6).

Existen algunos fenómenos que por su naturaleza pueden estar formados por objetos de diferente naturaleza topológica, es por eso que debemos considerar un procedimiento para evaluarlo de manera conjunta. Para el caso de las redes hidrológicas construidas por corrientes y cuerpos de agua (configuración “arco-área-arco”) es necesario cuantificar el flujo, debido a que es el parámetro que cuantifica a la red en su totalidad. De esta forma obtenemos algunos datos de gran importancia como el tamaño de la red, flujos de mayor longitud, etc.

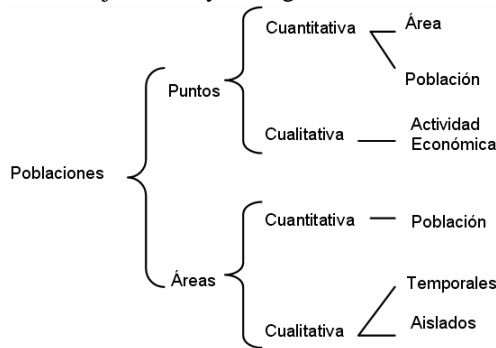


Fig. 6. Clasificación de poblaciones.

Existen algunos fenómenos que por su naturaleza pueden estar formados por objetos de diferente naturaleza topológica, es por eso que debemos considerar un procedimiento para evaluarlo de manera conjunta. Para el caso de las redes hidrológicas construidas por corrientes y cuerpos de agua (configuración “arco-área-arco”) es necesario cuantificar el flujo, debido a que es el parámetro que cuantifica a la red en su totalidad (ver Fig. 7). De esta forma obtenemos algunos datos de gran importancia como el tamaño de la red, flujos de mayor longitud, etc.

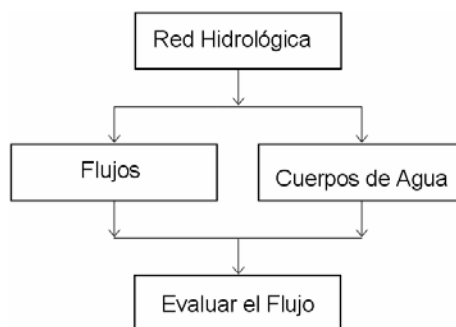


Fig. 7. Proceso de Evaluación de flujo.

Una vez que son conocidas las diversas alternativas de clasificación, es necesario elegir cual es la adecuada para el caso específico, de esto depende en gran parte el éxito de la generalización.

3.3 Selección / Eliminación de Objetos

Cuando se clasifica la información es necesario establecer cuales son las restricciones para seleccionar los elementos que describan la naturaleza del fenómeno que se va a cambiar de escala.

Los criterios de selección dependen en gran parte del objetivo de la generalización y del proceso de clasificación utilizado. Se debe ser muy cuidadoso en esta etapa debido a que pueden originarse algunas incongruencias en la representación del fenómeno. La Tabla 1 muestra un ejemplo, de como se aplican estos criterios a una red hidrológica, clasificada usando una CLAJER.

Tabla 1. Criterios de selección para una red hidrológica, representada por el flujo.

Modificación	Criterios
1:50,000 – 1:100,000	Orden 4 con longitud mayor o igual a 1500 m Orden 3 con longitud mayor o igual a 1800 m Orden 2 con longitud mayor o igual a 2000 m Orden 1 todos los arcos
1:100,000 – 1:250,000	Orden 2 con longitud mayor o igual a 3000 m Orden 1 con longitud mayor o igual a 5000 m

3.4 Transformaciones de Objetos

Al generalizar los objetos cartográficos estos pueden sufrir transformaciones en su representación gráfica por lo que se afecta el contenido del mapa. Las transformaciones de representación que sufren los objetos son las que se definen en la Tabla 2. (Moreno, 2001).

Tabla 2. Criterios de selección para una red hidrológica, representada por el flujo.

Objeto	Después de Generalizar		
Puntos	Puntos	Líneas	Áreas
Líneas	Puntos	Líneas	Áreas
Áreas	Puntos	Líneas	Áreas

Cada una de las transformaciones de objetos puede ser tratada como algún operador de generalización o bien como alguna operación de análisis de un GIS, por razones de conveniencia se ha decidido nombrarlas Transformaciones (ver Tabla 3).

Tabla 3. Tabla de equivalencia entre operadores de generalización y transformaciones.

Objeto	Después de Generalizar	
Puntos		Agregación
Líneas	Colapsado	Asociación
Áreas	Colapsado	

Las transformaciones son realizadas para tener una mejor abstracción del concepto que representan, pueden ser realizadas en cartografía digital por medio de los operadores de generalización (McMaster and Shea, 1992). Por ejemplo, la Fig. 8 contiene algunas transformaciones de objetos puntuales, donde se aprecian los cambios en estructura de los fenómenos representados como puntos, los casos van desde la transformación “punto-punto” hasta “puntos-área”. Para realizar este tipo de transformaciones hay que tomar en cuenta las características esenciales del fenómeno a representar.

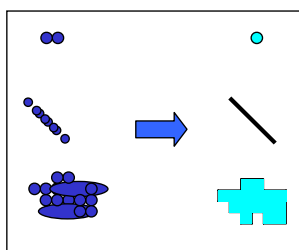


Fig. 8. Transformaciones de objetos puntuales.

Una modificación en la temática del mapa, puede también afectar la representación gráfica de los objetos, el tema define en gran parte que datos son visualizados. Las transformaciones a objetos lineales, son originadas por cambios en escala, podemos decir que se utilizan para resaltar la estructura de los objetos. La Fig. 9 presenta a los objetos lineales, primero transformándose en objetos puntuales y lineales en areales.

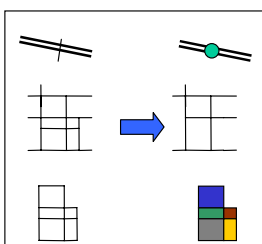


Fig. 9. Transformaciones de objetos lineales.

Los objetos areales también sufren transformaciones en su construcción, como es el caso de la Fig. 10, donde aparecen algunos casos, como un objeto areal que tiene una área muy pequeña, al cambiar la escala es representada como un punto, por otra parte se muestra un río, modificando la escala se representa su flujo por medio de líneas, y por último todas las áreas que cubren cierta zona al variar la escala son representadas como solo una área.

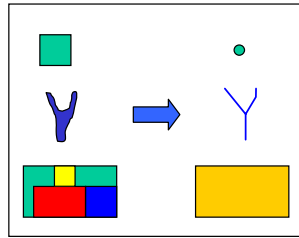


Fig. 10. Transformaciones de objetos areales.

Para realizar correctamente la transformación de los objetos espaciales es necesario, establecer criterios específicos que definan como y en que casos se realizarán las transformaciones. La Tabla 4 muestra como se realizan para el caso de las redes hidrológicas, en lo que respecta a los cuerpos de agua (INEGI (1), 1998) (INEGI(2), 1998).

Tabla 4. Criterios de representación de cuerpos de agua.

Escala	Superficie (m ²)	Ancho(m)
1:50,000(min)	2,500	25
1:250,000(min)	62,500	125

De la tabla anterior, se puede ver como serán las transformaciones de los cuerpos de agua que no cumplan las condiciones establecidas para su representación en otra escala y formen parte de la red como enlace, como es el caso de una red “arco-área-arco” (ver Fig. 3b). Para auxiliar la selección de criterios se puede utilizar un árbol de decisión como el que se muestra a continuación (ver Fig. 11), donde se marcan las transformaciones posibles de los objetos areales que formen parte de la red hidrológica. Conviene hacer la aclaración que la cuantificación será de acuerdo al flujo, pero las transformaciones se llevarán a cabo sobre la capa de cuerpos de agua (áreas). Las transformaciones realizadas a determinados objetos facilitan la representación de los fenómenos de una forma más adecuada.

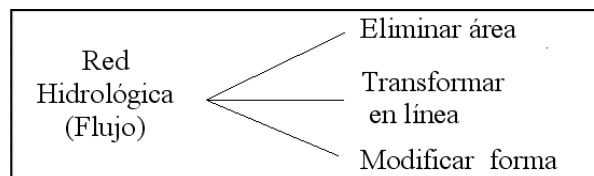


Fig. 11. Árbol de decisión para transformaciones de cuerpos de agua.

3.5 Simplificación de Líneas

La simplificación de las líneas es una etapa que permite dar una mayor calidad gráfica a los datos, para que su apariencia sea adecuada para la escala. La simplificación puede ser ejecutada en gran parte de GIS comerciales y experimentales.

4 Analizador Semántico como parte del Sistema de Generalización Automática

Una vez que se han mencionado las reglas para generalizar utilizando un GIS y algunas condiciones para ello. Podemos resaltar que son requeridos una gran cantidad de criterios, todo ello para cambiar la escala adecuadamente. Por lo que cada vez que es necesario llevar a cabo dicha modificación, tenemos que establecer las condiciones para realizarlo.

El Analizador Semántico se propone como un auxiliar para que automáticamente seleccione los criterios que manipularan las funciones de generalización, es decir, propondrá los parámetros de acuerdo a información contenida en su base de conocimiento, para el fenómeno que sea seleccionado para modificarlo en escala (ver Fig. 12).

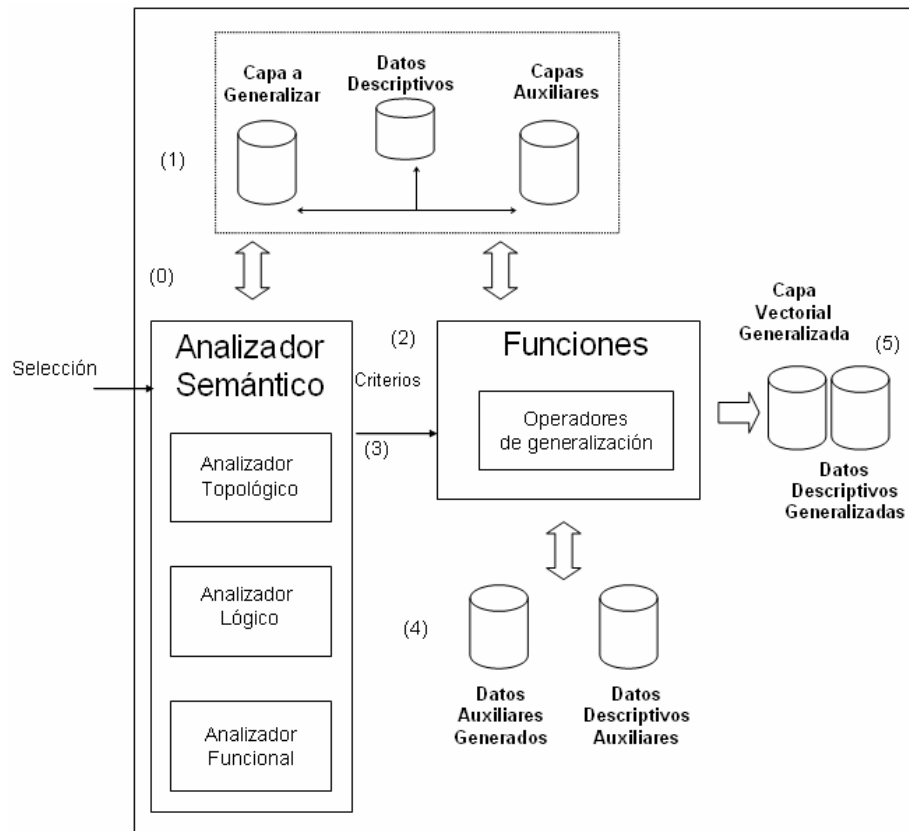


Fig. 12. El sistema de generalización con el analizador semántico.

El medio para seleccionar el fenómeno a generalizar será indicando al Analizador Semántico cual será este fenómeno a generalizar, así como también se debe especificar la magnitud del cambio de escala. Éste a su vez, estará compuesto por *tres* analizadores: Topológico, Lógico y Funcional. Estos interactuarán en conjunto para ejecutar la mejor alternativa para generalizar. Se ha considerado evaluar estos aspectos en conjunto ya que por la interacción de ellos se define la semántica de los sistemas de objetos espaciales.

El Analizador Topológico se encargará de encontrar las relaciones que existen entre los objetos que intervienen en el fenómeno seleccionado. Hablando de redes hidrológicas encontrará aspectos como las capas que intervienen, el tipo de configuración que tiene la red, la relación que existe con otras capas, entre otras.

En lo que respecta al Analizador Funcional, se encargará de evaluar la estructura del fenómeno y de esa forma conocer su comportamiento, de acuerdo a reglas establecidas previamente, para cada una de las capas. Además debe verificar que la estructura de la capa vectorial conserve las características en cuanto a su construcción. Para el caso de flujos, debe verificar la dirección de los arcos que componen la red sea la correcta.

Por otro lado, el Analizador Lógico evalúa los aspectos cuantitativos, cualitativos y los de importancia administrativa, histórica, etc, que pueden o no depender directamente de la estructura y sus particularidades. El objetivo de utilizar este analizador es para que defina cuales serán los criterios a emplear por las funciones de generalización que se aplicarán a los objetos de cada una de las capas que sean modificadas en escala.

La utilización de Analizador Semántico, proporciona una alternativa para lograr una automatización efectiva, eficiente y consistente para un gran número de casos. Además de que será posible utilizarla para resolver problemas de

modificación de escala donde intervienen diversas capas, evitando así, errores en cuanto a las relaciones espaciales entre objetos de naturaleza diferente.

5 Resultados y Análisis Comparativo

Como se ha mencionado, el Analizador Semántico, resulta un excelente auxiliar para simplificar algunas tareas de la modificación de escala, todo para dar una mayor calidad a los datos vectoriales a la salida. Esto se debe a que se guardan las principales relaciones entre las capas de objetos, además de considerar una mayor cantidad de criterios.

El uso de las relaciones entre las capas de objetos, permite obtener una mejor modificación en escala. En la Fig. 13, aparecen dos alternativas de generalización, en ambas se muestra la modificación de dos capas, curvas de nivel y una red de flujo, que fueron generalizadas en forma independiente, sin utilizar el Analizador Semántico y utilizarlo. Puede observarse claramente en los detalles 2 y 3 que existen algunas incongruencias en cuanto a la construcción de las capas generalizadas, estas incongruencias originan errores de construcción de las capas. Este problema es posible resolverlo manipulando ambas capas simultáneamente y utilizando el Analizador Semántico, para encontrar las relaciones entre ambas capas.

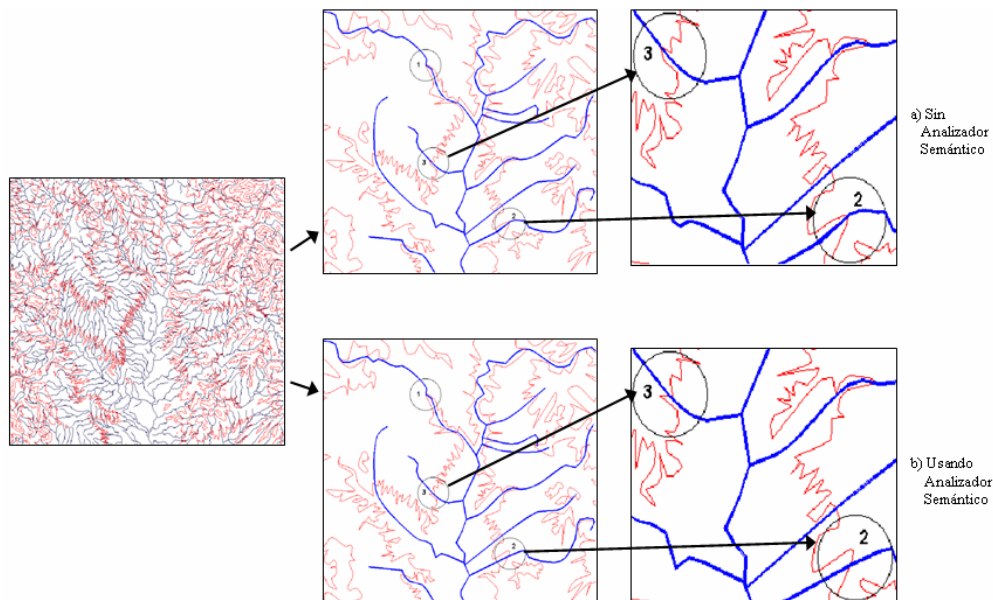


Fig. 13. Comparación de la modificación en escala para flujos y curvas de nivel, sin usar el Analizador Semántico y usándolo.

Se ha mencionado a lo largo de este artículo, la importancia de utilizar la mayor cantidad de capas posibles para no perder relaciones entre diversos sistemas de objetos que tienen un espacio común, esto por que existen fenómenos representados en diferentes capas y hay diversas capas interactuando entre sí. En la figura 14 se muestra el caso de una red de flujos, que forman parte de una red hidrológica de configuración “área-arco”, cuando es generalizada automáticamente utilizando únicamente los flujos. Los resultados obtenidos de esta manera, pueden no ser los más adecuados. En el caso presentado de flujos, se conservan las ramificaciones de principales ramificaciones (orden 1 y 2), para ambas alternativas de generalización y las diferencias son significativas, en cuanto a las estructuras generadas y las relaciones entre las capas de objetos espaciales.

El Análisis Semántico de capas vectoriales, resulta de gran ayuda, para llegar a una representación multiescala, debido a que el conocimiento de un mayor número de propiedades y características de ciertos sistemas de objetos permite definir su comportamiento a diferentes escalas.

En la realidad pueden presentarse un sin número de casos en los cuales el Analizador Semántico puede ser útil. La meta en este momento es resolver la mayor cantidad posible de ellos, para diversas configuraciones (arco-arco, arco-área-arco), de manera que los resultados sean acordes a la construcción topológica y lógica de las capas vectoriales

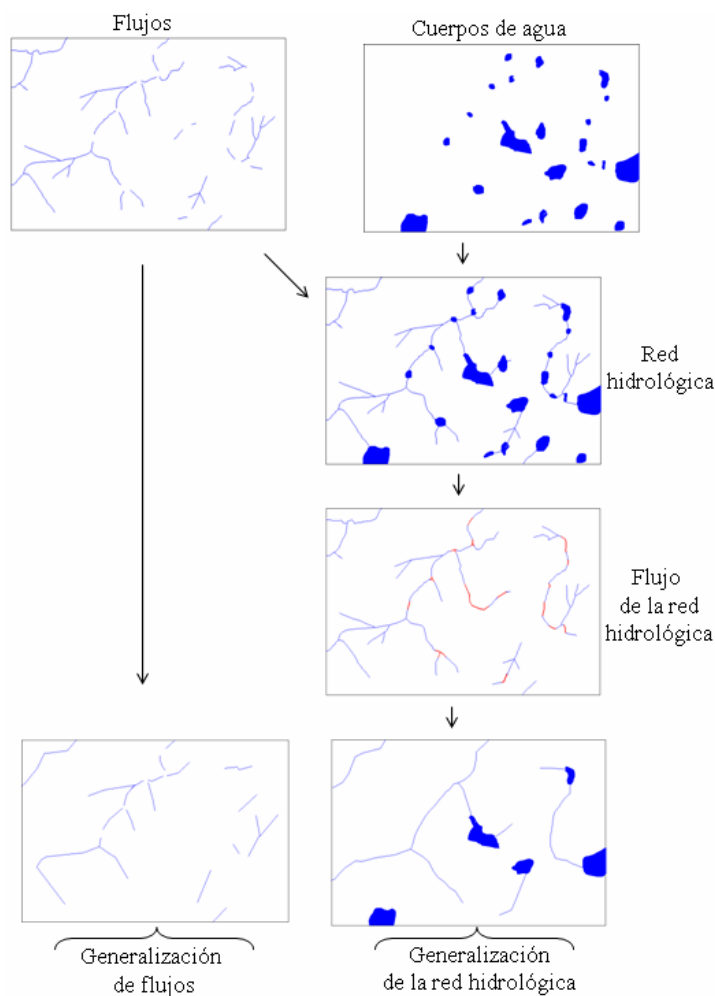


Fig. 14. Comparación de la modificación en una red de configuración área-arco.

6 Conclusiones

La generalización es un proceso cartográfico que se encuentra en estudio, debido a que su complejidad acarrea un sin número de problemas. El uso de un esquema adecuado, permite establecer las características básicas para obtener resultados adecuados, en cuanto a la construcción, representación y definición de los fenómenos espaciales. Lo más importante al cambiar la escala, es que posterior al cambio los sistemas de objetos conserven sus características topológicas y funcionales, de manera que los resultados que se obtengan conserven la consistencia y particularidades que los sistemas de objetos espaciales poseen.

Es muy conveniente recordar la importancia de analizar las características de los objetos en diferentes escalas, esto permite conocer como se comportan. Y de esta forma establecer como se generalizará. Hasta hoy no es posible resolver-

lo de manera universal, debido al gran número de casos que existen, pero con el uso del Analizador Semántico, será posible, resolver más casos que se presenten.

Las invariantes en estructura y comportamiento de datos espaciales, que puedan ser encontradas para cada uno de los sistemas cartografiados, hace posible realizar una amplia gama de casos. De aquí que utilizando el Analizador Semántico, permita atacar casos que hoy no pueden resolverse automáticamente. Además utilizando el Analizador Semántico, se consideran tres de los aspectos más importantes de cualquier objeto espacial, como son el aspecto Topológico, Funcional y Lógico, que son evaluados para evitar incongruencias. Como parte del Análisis Semántico Espacial, se obtienen las capas que intervienen en el fenómeno a modificar, así como las relaciones espaciales con otros fenómenos, aunque tengan un origen distinto. Esto ayuda a conocer mejor la interacción entre los diferentes objetos espaciales y permite disminuir los errores en cuanto a la representación de los objetos resultantes.

En el futuro la metodología de uso del Analizador Semántico será aplicada a la generalización de datos espaciales provenientes de mapas topográficos.

Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen al Centro de Investigación en Computación a la Coordinación General de Posgrado e Investigación y al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado para esta investigación. Asimismo, agradecen a los revisores por sus comentarios.

Referencias

1. **Agent Consortium**, "Selection of Basic Measures," (Agent Consortium,1999).
2. **Agent Consortium**, "Selection of Basic Algorithms," (Agent Consortium,1999).
3. **Armstrong, M. P.**, "Knowledge Classification and Organization for cartographic generalization," in *Map Generalization: Making Decisions for Knowledge Representation*. Edited by B. P. Buttenfield and R. B. McMaster, (London: Longman Group, 1991) 86-102.
4. **Brassel, K. E. ; and Weibel, R.**, "A Review and conceptual Framework of Automated Map Generalization," *International Journal of Geographical Information Systems*, 2 (3): 229-244 (1988).
5. **Buttenfield, B. P. ; and McMaster, R.B.**, *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, (Longman Group, 1991).
6. **Douglas, D. ; and Peuker, T.**, "Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature," *The Canadian Cartographer*, 2 (3): 112-122 (1973).
7. **Horton, R. E.**, "Drainage basins characteristics," *Eos Trans An Geophys Union*, (13): 250-361 (1932).
8. **Kilpeläinen, T.**, "Map Generalisation in the Nordic Countries," *Reports of the Finnish Geodetic Institute*, (Helsinki: Geodetiska Institutet, 1999).
9. **Kilpeläinen, T.**, *Multiple Representation and Generalization of Geo-Databases for Topographic Maps*, (Helsinki: Geodetiska Institutet, 1997).
10. **Kilpeläinen, T.** *Multiple Representations and Knowledge-based Generalization of Topographical Data*, (Helsinki: Geodetiska Institutet, 1992).
11. **McMaster, R. B. ; and Shea, K. S.**, "Cartographic Generalization in a Digital Environment: A Framework for Implementation," in *a Geographic Information System, in Proceedings of GIS/LIS'1988*, (San Antonio, Texas, 1995).
12. **McMaster, R. B. ; and Shea, K. S.**, *Generalization in Digital Cartography*, (Washington DC: Association of American Geographers, 1992).
13. **INEGI (1)**, *Diccionario de Datos Topográficos (Vectorial) Escala 1:250,000*, (México: National Institute of Statistics, Geography and Informatics ,1998).
14. **INEGI (2)**, *Diccionario de Datos Topográficos (Vectorial) Escala 1:50,000*, (México: National Institute of Statistics, Geography and Informatics, 1998).
15. **Molenaar, M.**, *An Introduction to the Theory of Spatial object Modelling for GIS.*, (Taylor & Francis, 1998).
16. **Moreno, M.**, "La Generalización Automática de la Información Geográfica Multiescala," *Centre for Computing Research*. M.S. Thesis in Spanish, (México: National Polytechnic Institute, 2001).
17. **Müller, Jean-Claude**, *GIS and Generalization*, (France: Taylor & Francis, 1995).
18. **Salitchev, K.A.**, *Cartografía (Traducción del Ruso)*, (Cuba: Editorial del pueblo, 1972).

Marco Moreno, Serguei Levachkine

19. **Töpfer, F. ; and Pillewizer, F.**, “The principles of selection,” *The Cartographic Journal*, (1966).
20. **Weibel, R.**, “Generalization of Spatial Data: Principles and Selected Algorithms,” *In van Kreveld: Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems, Lecture Notes in Computer Science*, (Springer-Verlag, 1997), 1340: 99-152.



Marco Moreno. Profesor investigador del Laboratorio de Geoprociamiento del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Ha sido autor y co-autor de más de 40 publicaciones en congresos y revistas. Colaborador de asociaciones como el Instituto Federal Electoral y Compañía Minera la Parreña. Sus áreas de interés abarcan cartografía digital, generalización automática, métodos de representación del conocimiento espacial y ontologías espaciales.



Sergei Levachkine. Profesor investigador del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional. Ha sido autor y co-autor de más de 150 publicaciones en congresos y revistas. Es egresado de la Universidad Estatal de Moscú (Lomonosov). Miembro del SNI. Sus áreas de interés abarcan cartografía digital inteligente, representación del conocimiento espacial, procesamiento semántico de datos digitales, ontologías y sistemas basados en conocimiento.