

Aplicación de Invariantes Semánticas como Reglas de Integridad en Generalización Digital

M. Moreno, S. Levachkine, M. Torres, R. Quintero y B. Martínez

Laboratorio de Geoprocesamiento,
Centro de Investigación en Computación
Instituto Politécnico Nacional
07738, México, D.F.

Tel. (55) 5729-6000 ext. 56558 Fax (55) 5586-2936

e-mail: {marcomoreno, palych, mtorres, quintero}@cic.ipn.mx, amartinez@saqitario.cic.ipn.mx

RESUMEN

El presente artículo describe la aplicación de reglas de integridad a Generalización, las cuales son representadas por invariantes semánticas, que son grupo especial de relaciones y propiedades que no cambian, a pesar de la escala. Además se describen los aspectos de las propiedades y relaciones que son cubiertos; topológico, geométrico, localizacional, direccional y lógico. Se define el conjunto de operadores de descripción, que se utilizan para representar las invariantes que poseen los mapas digitales. Adicionalmente, se muestra el uso de invariantes semánticas como mecanismo para evaluar la calidad en los datos antes y después de generalizar, permitiendo modificar los parámetros de las funciones de generalización. Se utiliza como caso de estudio, la temática de redes hidrológicas en escala 1:50,000.

Palabras clave:

Generalización, invariantes semánticas, redes hidrológicas, sistema de información geográfica.

I. INTRODUCCIÓN

La generalización cartográfica es un proceso muy importante dentro de la elaboración de mapas. Las limitantes sobre el contenido están definidas por dos elementos principalmente; la escala y el tema, una variación en cualquiera de ellos es trascendental en el contenido. Una tendencia desarrollada en los años recientes es el control del contenido utilizando reglas de integridad, algunos de las investigaciones más relevantes en este sentido son las de Ruas [1], Harrie [2] y Barrault [3].

La generalización es un proceso fundamental como proceso de maximización del contenido de información en la construcción, mantenimiento y comunicación de bases de datos espaciales [4]. La Generalización Digital se define como los procesos de derivar de una fuente datos un conjunto de datos digitalmente codificados a través de la aplicación de

transformaciones espaciales y de atributos. objetivos son: reducir la cantidad de objetos representar consistentemente los datos cartografiados de acuerdo con el propósito del mapa y los usuarios [5].

El concepto de reglas de integridad fue aplicado primera vez a generalización por Beard [6]. Las reglas de integridad se aplican para identificar cuando como se deben utilizar los algoritmos generalización Además de utilizarse para detectar conflictos

Las reglas de integridad incluyen a las propiedades relaciones que poseen los datos espaciales, que conjunto definen la *semántica espacial* de un mapa [7]. Para cada escala, las propiedades se manifiestan con ciertas peculiaridades, existe un grupo propiedades denominadas *invariantes semánticas*. Las *invariantes semánticas* son un grupo propiedades de los objetos espaciales que conservan a cualquier escala [8].

Es posible emplear a las invariantes semánticas como reglas de integridad, ya que describen peculiaridades de cada mapa y definen el conjunto reglas que establecen como deben representarse objetos espaciales. Las invariantes pueden emplearse con el fin de realizar la correcta representación cartográfica. Un mecanismo para representar invariantes semánticas es a través de los operadores de descripción [8].

La implantación de un sistema que elabore descripciones de mapas requiere una interpretación de la situación geográfica; en [9] se plantea la primera interpretación de datos vectoriales, esta se aplica mapas catastrales. El primer intento de uso técnicas de Inteligencia Artificial para la interpretación automática de mapas vectoriales se puede encontrar en [10].

El presente artículo muestra la utilización de invariantes como reglas de integridad durante proceso de generalización. En la sección II presenta la descripción de las propiedades relaciones que tienen los objetos espaciales, posteriormente en la sección III se describen operadores de descripción y en la sección IV

muestra como se aplican los operadores de descripción en generalización.

II. PROPIEDADES DE LOS OBJETOS ESPACIALES

De acuerdo a su naturaleza es posible clasificar propiedades de objetos espaciales como sigue:

- 1) *Propiedades de localización*: Están de acuerdo a la localización de los objetos. Las localizaciones son representadas por valores numéricos que expresan coordenadas.
- 2) *Propiedades Geométricas*: Dependen de la medición de distancias. Como el área, perímetro y longitud. Su dominio es típicamente numérico.
- 3) *Propiedades Topológicas*: Establecen las relaciones que son invariantes bajo transformaciones geométricas (translación, rotación y escala). Los elementos topológicos son generalmente representados por valores nominales.
- 4) *Propiedades direccionales*: Ellos están de acuerdo a la orientación. Generalmente, un elemento direccional, es representado por valores nominales.

Los objetos georeferenciados tienen también propiedades no-espaciales, como nombre de la capa, temperatura, etc. Muchas otras propiedades pueden ser extraídas de mapas, algunas son híbridas, en este sentido pueden unir las propiedades de dos o más categorías de elementos. Por ejemplo, las propiedades que expresan paralelismo o perpendicularidad entre líneas son topológicas y geométricas. Es topológica debido a que son invariantes con respecto a la rotación, translación y escala; es geométrica dado que su semántica (perpendicularidad o paralelismo) está basada en el ángulo entre ellas. La relación del "lejano-oeste", mezcla conceptos direccionales y geométricos, es otro ejemplo de las propiedades híbrida espacial. Finalmente, algunas características pudieron mezclar relaciones espaciales con las características no espaciales, tales como la característica que describe los caminos coplanares combinando la condición del paralelismo con el tipo de objetos espaciales (caminos). A este grupo de propiedades las podemos denominar como *propiedades lógicas*.

Un mapa temático está compuesto por objetos espaciales; el grupo de objetos que pertenecen a una temática y son representados por la misma primitiva de representación (Objetos puntuales (O_p), Objetos lineales (O_l), Objetos areales (O_a)) forman un sistema de objetos espaciales (S).

Las relaciones espaciales frecuentemente son utilizadas en los Sistemas de Información Geográfica

(GIS) como respuesta a consultas realizadas por los usuarios. Las relaciones pueden clasificarse en dos categorías *intrínsecas* y *extrínsecas*; las *intrínsecas* (R_i) se refieren a las que involucran la interacción con elementos del mismo sistema de objetos. Por otro lado, las *extrínsecas* (R_e) son las relaciones existentes con otros sistemas de objetos.

Las invariantes semánticas que existen en los objetos espaciales son muy específicas, por ejemplo, si un poblado es vecino de otro o está al lado de una carretera, a cualquier escala debe conservarse esta relación.

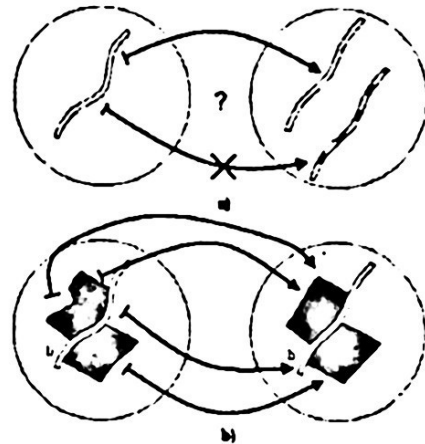


FIGURA 2. INVARIANTES, A) INVARIANTE NO-ESPACIAL B) INVARIANTE TOPOLOGICA

III. OPERADORES DE DESCRIPCIÓN

La descripción del terreno es la conjunción de elementos atributivos y relacionales, los cuales son generados automáticamente por los mapas vectorizados. Existen dos principales problemas en la automatización del proceso de descripción: (1) la elección del conjunto de elementos y (2) la definición de los métodos computacionales para su extracción. Para los expertos interesados en la automatización de la identificación de algunos elementos morfológicos en mapas topográficos es crucial.

Un gran número de elementos y relaciones espaciales pueden extraerse de mapas vectoriales. Un atributo es un elemento que indica la propiedad de un objeto espacial y puede representarse por una función unaria o predicado. La relación es un elemento entre dos o más objetos y se puede representar por una función n -aria ($n < 1$) o predicado. Las relaciones espaciales definen las condiciones actuales de la localización de objetos.

El conjunto de operadores definido debe ser lo más general posible. Los operadores deberán ser implantados, de manera que se realicen las descripciones de forma (semi)automática.

El conjunto de operadores desarrollados debe facilitar la descripción de las relaciones más importantes que se presentan en un mapa, entre los diferentes sistemas de objetos espaciales. Los aspectos que deben cubrir serán de índole topológica (τ), geométrica (γ), localizacional (λ), direccional (δ) y lógica (ℓ). La tabla 1, muestra algunos ejemplos de operadores que pueden construirse.

TABLA I.
ALGUNOS OPERADORES DE DESCRIPCIÓN

Operador	Definición	Tipo	Dominio	
			Tipo	Valores
ArctoPnt (A,P)	Relación entre un arco A y punto P	γ	N Numérico	[0... Tamaño de celda]
PlytoPnt (A,P)	Relación entre un Área A y punto P	τ	Booleano	{verdadero, falso}
ArctoArc1 (A,B)	Relación entre un arco A y un arco B	τ	Nominal	conectado, no conectado
ArctoArc2 (A,B)	Relación entre un arco A y un arco B	ℓ	Nominal	casi perpendicular, casi paralelo

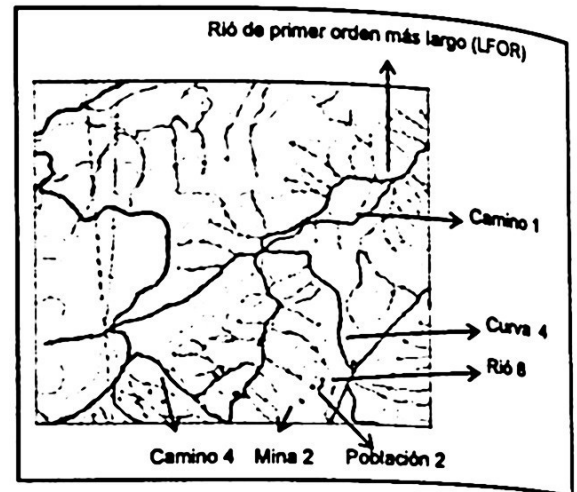
La figura 2 muestra un ejemplo de una descripción generada para un grupo de objetos que se representan en un mapa. En el caso de estas investigaciones se utilizarán redes hidrológicas, por esta razón se considera el uso del río más largo de orden uno (LFOR), utilizando la clasificación CLAJER [11]. Se considera esta clasificación ya que con esta clasificación se destaca el río con la mayor longitud, que generalmente es el objeto de mayor extensión en el mapa.

De la descripción realizada al mapa de la figura 1 se obtienen los siguientes resultados.

1. *ArctoPnt (LFOR, Mina2) = 800mu*, define la distancia entre la mina 2 y el punto más cercano de LFOR, con esto puede establecerse una relación de distancia que no debe romperse.
2. *ArctoArc1 (LFOR, Autopista 1) = conectado*, se establece que existe una conexión entre dos elementos de diferentes sistemas de objetos, en este caso el LFOR y la autopista 1.
3. *ArctoArc1 (LFOR, Camino 4) = no conectado*, se establece que no existe conexión entre estos dos objetos, en este caso el LFOR y el camino 4.
4. *ArctoArc2 (LFOR, Camino 1) = casi perpendicular*, en esta descripción se establece que el Camino 1

tiene una trayectoria que en cierto sentido perpendicular a LFOR.

De la descripción anterior se observa que descripciones que se han hecho consisten de aspectos invariantes, como conectado y perpendicular. El proceso de descripción se de manera detallada en [8].



Description Cell: 15

{
ArctoPnt (LFOR, Mina2) = 800mu,
PnttoPnt (Mina2, Población2) = 100mu,
ArctoArc1 (LFOR, Autopista 1) = no conectado,
ArctoArc1 (LFOR, Camino 4) = conectado,
ArctoArc2 (LFOR, Camino 1) = casi perpendicular
 ...
 }

FIGURA 2. EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN

IV. APLICACIÓN EN GENERALIZACIÓN

A manera de caso de estudio, los operadores utilizados para describir un mapa hidrológico después de la generalización. Las descripciones se elaboran serán comparadas. La comparación permitirá encontrar las diferencias en topológicos y geométricos, que rompen propiedades básicas de los sistemas de espaciales (*inconsistencias*) o situaciones de espacial. La identificación de dichas inconsistencias permitirá visualizar con claridad los errores originados por la generalización. El método a emplear para de las descripciones en generalización se muestra la figura 3. El método consiste en comparar descripciones realizadas a los datos antes y de generalizar. De dicha comparación se identifica a ciertos objetos que rompan con las reglas de integridad del mapa, es decir, se localizarán inconsistencias. Y podrán ser re-parametrizadas.

funciones de generalización, para evitar los conflictos espaciales.

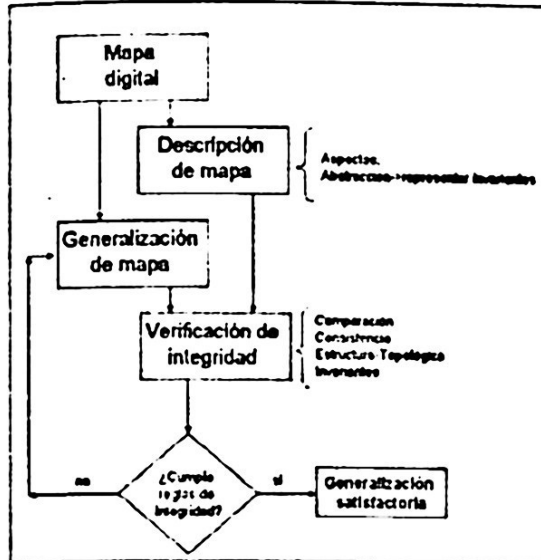


FIGURA 3. MÉTODO DE APLICACIÓN EN GENERALIZACIÓN

En la figura 4, aparece un ejemplo de la descripción de aplicada a generalización. Se realiza un cambio de escala para la red hidrológica y curvas de nivel de 1:50,000 a 1:250,000.

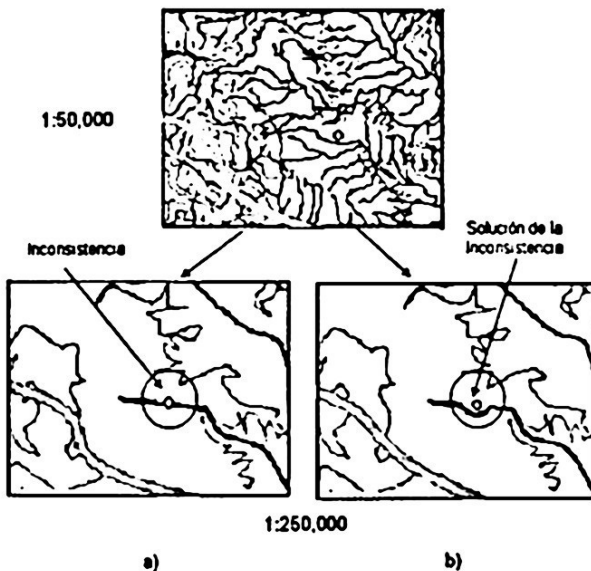


FIGURA 2. APLICACIÓN EN GENERALIZACIÓN DE LAS DESCRIPCIONES DE MAPA.

En a) y b) se muestran dos situaciones de cambio de escala: a) Presenta el caso donde se origina una inconsistencia. Dicha inconsistencia es originada por una población (representada por un punto) que originalmente estaba en la parte superior del río después del cambio de escala, por la acción de los operadores de generalización [6] hace que el punto coincida con el río. En otras palabras una inconsistencia es originada por una invariante que no se cumple. En b) es corregida dicha inconsistencia modificando los parámetros de los operadores de generalización.

Adicionalmente, el proceso de descripción se puede utilizar para evaluar la consistencia de los datos digitales antes de cualquier procesamiento de los datos. Esto ayuda a obtener mejores resultados al término del proceso realizado. Es posible evaluar sus características geométricas y topológicas.

Para realizar la corrección de los datos espaciales se utiliza un método sustentado en aspectos topológicos, basado en las relaciones espaciales del modelo 4-intersección [9]. La identificación de inconsistencias se basa en la evaluación de las relaciones espaciales, por lo tanto, la geometría y topología de los datos espaciales es analizada.

Existen investigaciones como el proyecto AGENT [12], desarrollado por instituciones europeas. En AGENT se realiza la generalización con base en agentes, permitiendo la verificación de los datos generalizados en aspectos de orientación, geométricos, topológicos y de densidad. Sin embargo, las técnicas desarrolladas en AGENT solo se han aplicado a mapas catastrales y no son utilizadas en su totalidad las propiedades propias de cada temática.

V. CONCLUSIÓN

Las reglas de integridad que definen a un grupo de objetos espaciales, permite identificar las situaciones de error cuando se presentan. En este caso las reglas de integridad las definen las *invariantes semánticas*. El uso de *invariantes semánticas*, presenta una alternativa interesante para la resolución de problemas de índole cartográfica. Se describió parte del estudio acerca de las propiedades de los datos espaciales, que pueden ser aprovechadas para describir las características de objetos espaciales y almacenarlas de manera que puedan utilizarse durante el procesamiento de cartografía digital.

El grupo de operadores de descripción facilita la evaluación de la calidad en los datos espaciales podrá utilizarse en diversos casos. La aplicación en generalización resulta un apropiado caso de estudio para mostrar la utilidad de la descripción de mapas, ya

que se pueden evaluar los datos antes y después de generalizarlos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo queremos dar las gracias al Instituto Politécnico Nacional (IPN), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación (CGPI) por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] A. Ruas, "Modèle de généralization de données géographiques à base de constraints et d'autonomie" Ph.D. thesis, Université de Mame-la-Valleé, France, 1999
- [2] L. Harrie L. (1999) "The Constraint Method for Solving Spatial Conflicts in Cartographic Generalization", *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1), 1999, pp. 55-69
- [3] M. Barrault, N. Regnaud, C. Duchêne, K. Haire, C. Baeijs, Y. Demazeau, P. Hardy, W. Mackaness, A. Ruas and R. Weibel (2001) "Integrating multi-agent, object-oriented and algorithmic techniques for improved automated map generalization", in *Proceedings 20th International Cartographic Conference*, Beijing, China, vol. 3, 2001, pp. 2110-2116.
- [4] J.C. Müller, "Generalization of spatial databases". In Maguire D.J., Goodchild M.F. and Rhind D.W. (eds): *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. London: Longman, 1991
- [5] R. B. McMaster, and K. S. Shea. "Generalization in Digital Cartography", Washington DC: Association of American Geographers, 1992.
- [6] M. Beard M. "Constraints on Rule Formation", in Buttenfield B., and McMaster R. (eds), *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*. London, U.K.: Longman, 1991, pp. 121-135.
- [7] M. Torres, "Semantics Definition to represent Spatial Data", In: Levachkine, S., Ruas, A., Bodansky, E. (eds.). *eProceedings of the International Workshop on Semantic Processing of Spatial Data (GEOPRO 2002)*, Mexico City, Mexico 2002.
- [8] M. Moreno, "Map Description as Intelligent tool of automatic Map Generalization", In: Levachkine, S., Ruas, A., Bodansky, E. (eds.). *eProceedings of the International Workshop on Semantic Processing of Spatial Data (GEOPRO 2002)*, Mexico City, 2002
- [9] J. Den Hartog, B. T. Holtrop, M. E. de Gunst, and E. P. Oosterbroek, "Interpretation of Geographic Vector-Data in Practice". In A.K. Chhabra and D. Dori (eds.), *Graphics Recognition Recent Advances in Lecture Notes in Computer Science* 1941, Berlin, Springer, 2000.
- [10] F. Esposito, A. Lanza, D. Malerba, Semeraro, "Machine learning for map interpretation: an intelligent tool for environmental planning". *Artificial Intelligence*. 11(7-8), 1997, pp. 673-695.
- [11] M. Moreno, "La Generalización Automática de Información Geográfica Multiescala" M.S. Centre for Computing Research, National Polytechnic Institute, Mexico City, Mexico, <http://geo.cic.ipn.mx> (in Spanish).
- [12] S. Lamy, A. Ruas, Y. Demazeu, M. Jackson Mackaness and R. Weibel, "The Application of Agents in Automated Map Generalisation", *Proceedings of International Cartographic Conference*, Ontario, Canada, August 20, 1999 (article <http://agent.ign.fr/public/ica/paper.pdf>).