

Modelado de datos geotemporales utilizando el enfoque de orientación por objetos

Geotemporal data modeling using the object-oriented approach

F. E. Narciso*, I.M. Besembel
Departamento de Computación, Facultad de Ingeniería, ULA
Mérida 5101, Venezuela
*fnarciso@ing.ula.ve

Resumen

Actualmente, se están desarrollando sistemas de información geográfica temporal (SIGT), los cuales consideran fenómenos geográficos que cambian en el tiempo, permitiendo así extender las capacidades de los sistemas de información geográfica. Dado que las capacidades de un SIGT dependen del modelo de datos que lo soporta, en este artículo se discuten los fundamentos del modelado de datos en el marco de los SIGT. Se presentan algunos aspectos importantes que tienen influencia en el diseño de un modelo de datos geotemporales, que permiten la representación y manipulación de datos geotemporales requeridos por los SIGT, de tal manera de satisfacer la visión que tiene el usuario del mundo real. El objetivo primario de este artículo es utilizar el enfoque de orientación por objetos para modelar datos geotemporales y presentar dos modelos de datos que permiten determinar qué tan bien este enfoque satisface los requerimientos estructurales impuestos por los SIGT.

Palabras claves: SIGT; SIG, sistema de información geográfica temporal; modelo de datos orientado por objetos, modelo de datos geotemporales.

Abstract

Actually, temporal geographic information systems (TGIS) are being developed to work with geographic phenomena that change over time, thus allowing to extend the capabilities of geographic information systems (GIS). Since the capabilities of a TGIS depend on the underlying data model, this paper discusses the fundamentals of data modeling in the framework of TGIS. Some important aspects that have influence in the design of a geotemporal data model are given, which allow the representation and support the manipulation of the geotemporal data required in TGIS in a way that satisfies the user's vision of the real world. The main objective of this paper is to use the object oriented approach for geotemporal data modeling, and present two data models in order to determine how well this approach satisfies the structural requirements imposed by TGIS.

Key words: TGIS, GIS, temporal geographic information system, object oriented data model, geotemporal data model.

1 Introducción

En muchas aplicaciones de computación, el modelado de datos es una tarea difícil. Esta aseveración es especialmente cierta en el campo de la geografía. Los fenómenos geográficos son, por naturaleza, muy complejos, así que no es sorprendente que su representación y manipulación en la computadora puedan también ser complejas. Esta complejidad se incrementa cuando se considera la gran diversidad de elementos geográficos que forman parte de un fenómeno geográfico.

Existen cuatro razones principales que justifican esta

dificultad para modelar fenómenos geográficos. En primer lugar, tal y como se muestra en la Fig. 1, los elementos geográficos son multidimensionales, ya que están formados por atributos multimedia, atributos geográficos y atributos temporales. En segundo lugar, la definición de la dimensión geográfica es en este caso compleja, ya que los fenómenos geográficos (Aunque generalmente los adjetivos espacial y geográfico se usan como sinónimos, estos tienen diferente significado. El adjetivo geográfico se refiere al espacio terrestre, mientras que el adjetivo espacial se refiere a cualquier espacio. Para abreviar, en este artículo se usa el prefijo geo para hacer referencia al adjetivo geográfico)

usualmente están caracterizados por patrones irregulares y complejos. Aspectos tales como la forma, la longitud, el área y el volumen deben ser considerados. En tercer lugar, existen numerosas y complejas relaciones espaciales entre los elementos geográficos. Finalmente, la inclusión de la dimensión temporal obviamente agrega más complejidad, en términos de la representación de los datos y la definición de relaciones temporales y geotemporales (Aangeenbrug, 1991; Aronoff, 1993). A todo esto se le suma el hecho que las personas adquieren a lo largo de sus vidas un gran conocimiento del ambiente geográfico, dado que pasan sus vidas enteras en dicho ambiente y esto les capacita para describirlo de una manera muy detallada.

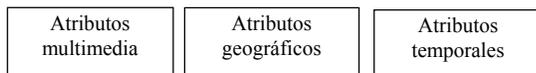


Fig. 1 Componentes de un elemento geográfico

Dado que los sistemas de información geográfica-temporal (SIGT) manejan información relacionada con fenómenos geográficos que cambian en el tiempo, estos necesitan modelos de datos geotemporales que soporten la representación abstracta de tales fenómenos. Si un SIGT no está basado en un buen modelo de datos geotemporales, entonces no soportará apropiadamente las consultas geográficas, temporales y geotemporales (búsqueda y recuperación) ni el análisis (estadístico, exploratorio, comparativo y predictivo) requeridos por los usuarios para manipular fenómenos geográficos. Por lo tanto, el propósito del modelado de datos geotemporales consiste en identificar y describir completa y correctamente los elementos geográficos requeridos por los SIGT y modelarlos en conjunto con sus relaciones siguiendo los lineamientos de algún enfoque de modelado de datos.

2 Proceso de modelado de datos geotemporales

Básicamente, los modelos son los medios que permiten la descripción de fenómenos del mundo real. En términos generales, (Smyth 1998) define un modelo geográfico como "una abstracción realista de todo o parte del mundo físico o de una parte del ambiente construido o alterado que se puede manipular para analizar el pasado, definir el presente y considerar las posibilidades del futuro."

En el contexto de SIG, (Bernhardsen 1992) establece que los modelos "delinean los conceptos y los procedimientos necesarios para traducir observaciones del mundo real a datos que son significativos en SIG." y define el modelado de datos como "el proceso de interpretar la realidad usando un modelo del mundo real y un modelo de datos."

El diagrama de la Fig. 2 no sólo proporciona una representación visual estándar del proceso de modelado de

datos geotemporales, sino que puede ayudar a la comprensión de tal proceso. Esta figura muestra que es necesario diseñar tres modelos, un modelo del mundo real, un modelo conceptual de datos y un modelo físico de datos. Después del diseño, el modelo conceptual y el físico se deben implementar en ambientes de programación.

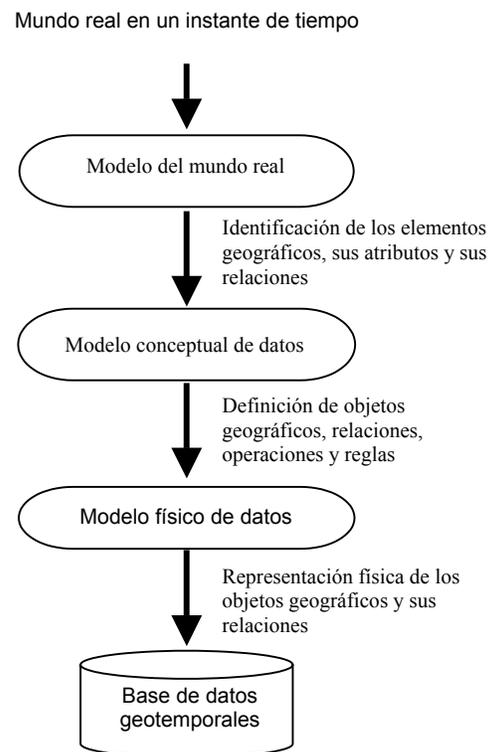


Fig. 2. Proceso de modelado de datos geotemporales

Generalmente, el modelado de datos geotemporales es un proceso de abstracción de la representación de un fenómeno del mundo real a su representación digital en la computadora. Dada una porción específica del mundo real en un instante de tiempo determinado, el diseño del modelo del mundo real implica la identificación y la clasificación de los elementos geográficos, y para cada uno de estos, la identificación de sus atributos multimedia, geográficos y temporales, además de las relaciones entre los elementos geográficos. La entrada a esta fase puede provenir de una gran variedad de fuentes, tales como: datos provenientes de observaciones, imágenes digitalizadas, fotografías aéreas, interpretación de fotografías, sensores remotos, sistemas de posicionamiento global (GPS), datos provenientes de satélites, datos textuales, diseño asistido por computadoras (CAD) y transferencia de datos.

El modelo de datos no es más que otra manera de representar la realidad. Según (Yuan 1996), los modelos de datos "representan la base conceptual de un sistema de información; estos definen los objetos, las relaciones, las operaciones, y las reglas para mantener la integridad de la base de datos". El modelo físico de datos permite la

representación del modelo conceptual de datos en términos de estructuras de datos bien conocidas, tales como: conjuntos, matrices, listas, registros, índices de acceso, etc., en las cuales se almacenan los datos digitales para generar la base de datos geotemporales.

La importancia del proceso de modelado de datos geotemporales radica en que éste determina el éxito de los SIGT.

3 Enfoque de orientación por objetos para modelar datos geotemporales

Una forma que puede ser útil en el diseño de un modelo de datos consiste en tomar algún modelo de datos ya desarrollado y considerar si se puede extender, modificar y/o combinar con otro para lograr la funcionalidad deseada.

Intuitivamente, el modelo de datos orientado por objetos parece ser el enfoque más apropiado para diseñar modelos de datos geotemporales. En el contexto de este artículo, el criterio principal para seleccionar este enfoque es su capacidad para modelar los elementos geográficos que forman parte de un fenómeno geográfico como objetos complejos.

Puesto que este enfoque es bastante conocido, esta discusión se concentrará en su importancia en el campo de SIGT. Para una revisión completa de los fundamentos teóricos del modelo de datos orientado por objetos, el lector puede consultar (Blaha y Premerlani 1998), (Kroha 1993), (Lausen y Vossen 1998), y (Rumbaugh y col. 1991).

Por un gran número de razones, el modelo de datos orientado por objetos ha sido seleccionado como medio para representar datos en SIG y SIGT. Una de estas razones es el hecho de que este enfoque permite soportar semántica en los modelos de datos. Según (Nyerges 1991), existen cuatro abstracciones que añaden significado a la información geográfica. Estas abstracciones son: clasificación (instancia de), asociación (miembro- de), generalización / especialización (es - un) y agregación / composición (parte-de). Éstas son también las bases del enfoque orientado por objetos. (Montilva 1993) coincide con el punto de vista de (Nyerges 1991) cuando afirma que "los modelos de datos orientados a objetos incluyen constructos que capturan mucho más significado del dominio de una aplicación que los constructos de modelos de datos tradicionales".

(Bernhardsen 1992) afirma que "las bases de datos jerárquicas, relacionales y de redes son esencialmente útiles para tareas administrativas. Por lo tanto, no son particularmente apropiadas para representar un modelo de datos conceptual de una realidad geográfica." Él afirma que "las bases de datos orientadas a objetos procuran superar estas dificultades representando más fielmente el mundo real, que abarca desde objetos homogéneos hasta objetos complejos, con variadas relaciones internas y externas".

Según Pissinou y col. (1993), "el enfoque de orientación por objetos es más apropiado para SIG que

otros enfoques existentes" e identifican seis componentes requeridos por la próxima generación de SIG, los cuales se muestran en la Fig. 3.

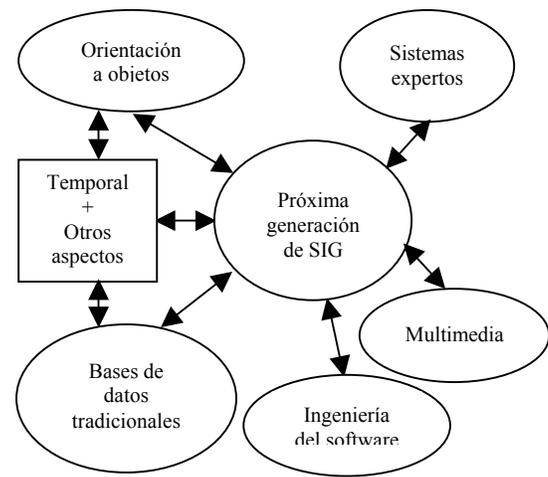


Fig. 3. Tecnologías para la próxima generación de SIG

(Worboys 1994), presenta algunos ejemplos de software de SIG orientado por objetos tales como TIGRIS, Smallword GIS y GEO++, y resume el trabajo que se está realizando para introducir el componente tiempo en este enfoque. Otros autores que sostienen la conveniencia de este enfoque son: (Adams y col. 1993), (Davis y Vasconcelos 1994), (Montgomery 1995), (Luo y Jones 1995), (Adam y Gangopadhyay 1997) y (Smyth 1998).

Desde el punto de vista de las autoras de este trabajo, existen tres razones que justifican el uso de este enfoque. Primero, es importante mantener las tendencias actuales para desarrollar software comercial y no comercial, que utilizan la tecnología de orientación por objetos en bases de datos.

La segunda razón es que el modelo orientado por objetos es lo suficientemente flexible, de modo que puede ser combinado, por ejemplo, con el modelo vectorial, ampliamente usado en SIG. Esto permitiría el diseño de un modelo de datos orientado por objetos para SIGT, que utilizaría los tipos de datos del modelo vectorial, por ejemplo punto, línea y polígono, para modelar el componente geográfico de un elemento geográfico, así como algunas de sus operaciones y relaciones estándares. Detalles completos del modelo vectorial pueden encontrarse en (Peuquet y Marble 1990), (Maguire y col. 1991), (Bernhardsen 1992), (Langran 1993), (Besembel 1999), (Narciso 1999).

La tercera razón es la capacidad de este enfoque para representar objetos complejos, así como su capacidad para modelar relaciones complejas, que le convierten en un buen candidato para representar las dimensiones geográficas y temporales. Considerando que la inclusión de estas dimensiones agrega más complejidad en términos de la representación de datos y de la definición de operaciones y

relaciones, los fundamentos teóricos y prácticos del enfoque de orientación por objetos aseguran el soporte necesario para manejar las complejidades introducidas por estas dimensiones.

En resumen, estas consideraciones acerca del enfoque de orientación por objetos permiten ayudar a los diseñadores de SIGT a convertir sus buenas ideas en SIGT exitosos ya que:

- Añaden significado a la información geográfica, puesto que permite capturar la semántica de objetos complejos.
- Representan el mundo real más fielmente, ya que permite representar los elementos geográficos a través de objetos.
- Introducen nuevos tipos de datos (incluyendo tipos de datos temporales), operaciones y relaciones debido a su capacidad para definir, describir y organizar muchos tipos de objetos complejos.
- Mejoran el nivel de implementación permitiendo el uso de los conceptos básicos de un modelo orientado por objetos (objetos, clases, asociaciones, agregaciones y herencia), la combinación de estructura y comportamiento (tipos abstractos de datos) y la modularidad.
- Permiten que los SIGT manejen cada uno de los tres componentes de un elemento geográfico de manera individual, en pares o simultáneamente, dependiendo de sus requerimientos específicos.

4 Modelos de datos: GEN-STGIS y D/K extendido

La revisión teórica precedente acerca del enfoque de orientación por objetos en el marco de SIGT, intenta proporcionar una perspectiva útil para estudiar, comparar y diseñar modelos de datos para SIGT, de modo que pudieran capturar los atributos de los elementos geográficos.

Para ilustrar el uso del enfoque de orientación por objetos en el modelado de datos geotemporales, se presentan en esta sección dos modelos de datos que han sido diseñados usando este enfoque.

En 1999, Narciso propone un nuevo modelo de datos orientado por objetos para SIGT, llamado modelo de datos de propósito general para SIG geotemporales (GEN-STGIS, por sus siglas en inglés), como parte de su tesis doctoral. Este modelo utiliza las capacidades de los SIG estándares, embebidos en el espacio euclidiano 2-dimensional y los conceptos bien conocidos en bases de datos temporales: tiempo válido y tiempo transaccional (Narciso, 1999). La estructura básica de este modelo se describe por medio de tres diagramas de clases (véanse las Figs. 4, 5 y 6) usando la notación proporcionada por el Lenguaje de Modelado Unificado (UML, por sus siglas en inglés). Detalles completos de esta notación se pueden encontrar en (Muller 1997).

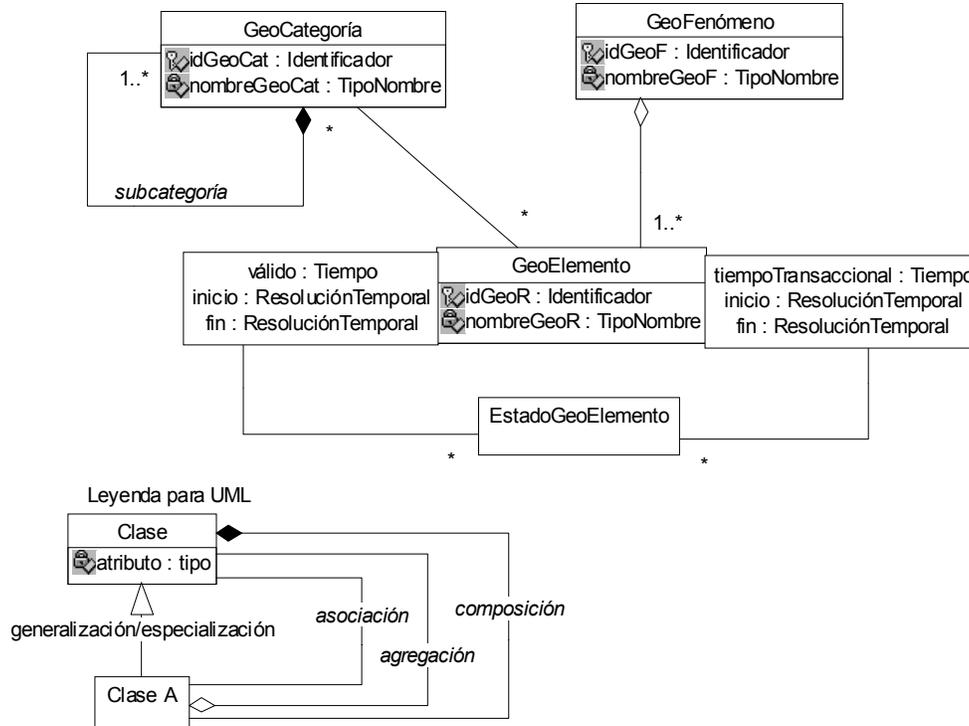


Fig. 4. Diagrama de clases para fenómenos geográficos

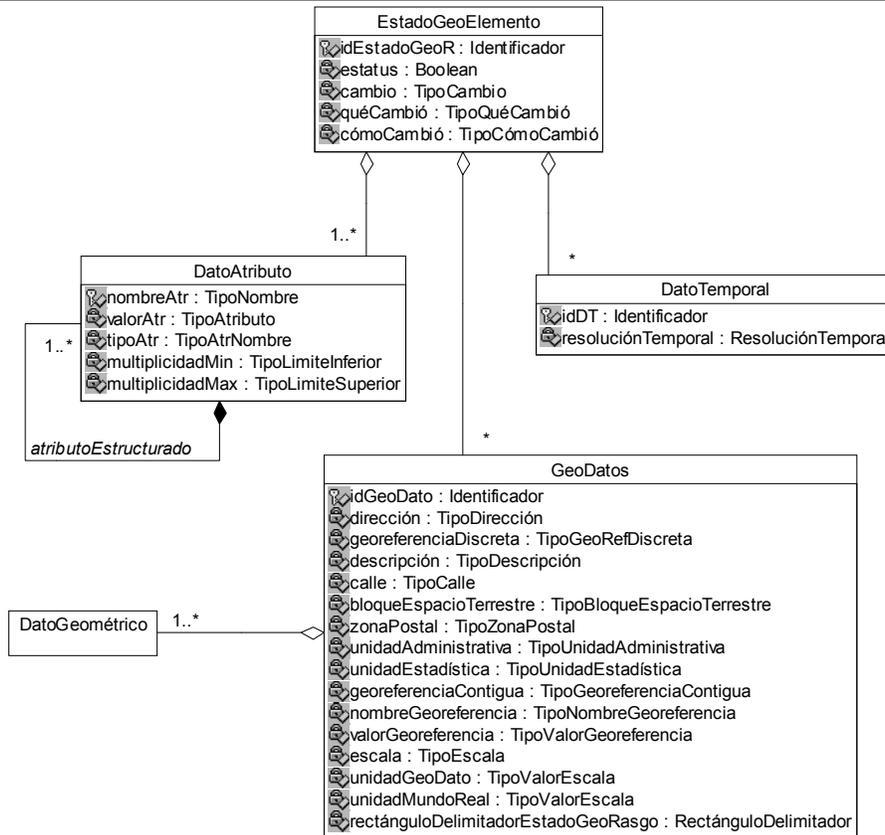


Fig. 5. Diagrama de clases para los estados de los elementos geográficos

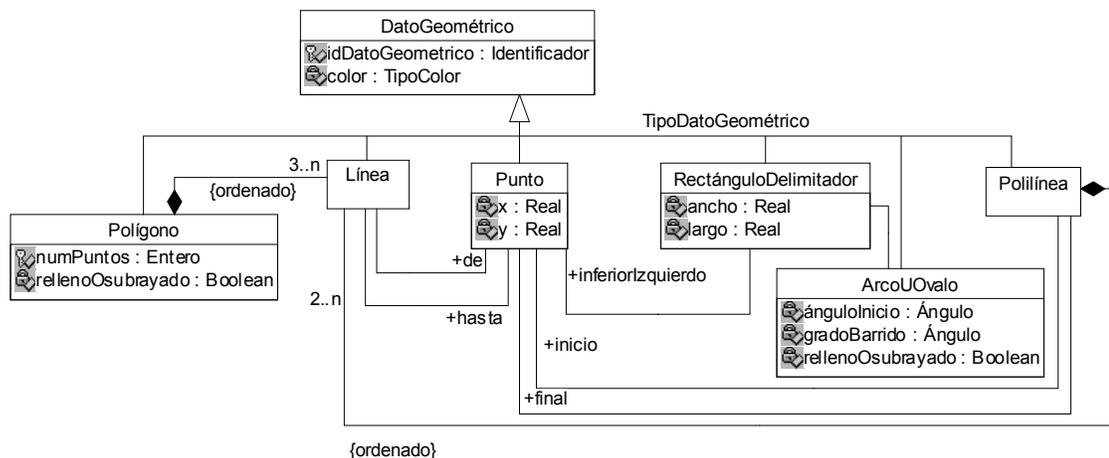


Fig. 6. Diagrama de clases para datos geométricos

Según se muestra en la Fig. 4, la clase GeoFenómeno describe los fenómenos geográficos, que se componen de uno o más elementos geográficos. La clase GeoElemento representa un grupo de elementos geográficos que comparten los mismos atributos, representación geográfica y temporal, operaciones, relaciones y semántica. La clase GeoCategoría, la cual puede ser estructurada y compuesta de subcategorías geográficas, describe las categorías geográficas en las que, dependiendo de determinadas

características, se pueden clasificar los elementos geográficos.

Un elemento geográfico se puede describir en términos de sus estados, los cuales son representados por la clase EstadoGeoElemento. Según se muestra en la Fig. 5, un objeto de la clase EstadoGeoElemento tiene tres elementos: atributo, geográfico y temporal. Estos elementos corresponden a un período específico de tiempo, representado por su tiempo válido y su tiempo transaccional

(ver Fig. 4).

El último diagrama de clases (ver Fig. 6) define los seis tipos básicos de datos geométricos que se requieren para modelar los atributos geográficos de los elementos geográficos en el sistema de coordenadas cartesianas. Estos tipos son puntos, líneas, arcos, polilíneas, polígonos y rectángulos delimitadores.

El segundo modelo de datos orientado por objetos para SIGT es parte del trabajo propuesto por (Besembel 1999) en su tesis doctoral. Este modelo es una extensión del modelo D/K propuesto por (Montilva 1993) el cual soporta objetos espacio-temporales y grafos.

La Fig. 7 muestra tal extensión resumida, basada en la consideración de un espacio n-dimensional, representado según el modelo vectorial, especializando las clases espaciales en clases geográficas. Se consideran grafos, objetos y relaciones espaciales y temporales, así como clases gráficas. Para el detalle de estas clases (atributos y

métodos) referirse a (Montilva 1993) y (Besembel y Montilva 2000). Para la representación espacial y temporal con cualquier número de dimensiones, se usan las clases HR e Intervalo. En específico, se soporta 2D ó 3D en el espacio geográfico y 2D o más para el tiempo, esto permite el uso de las dos dimensiones estándares de tiempo, a saber: tiempo válido y tiempo transaccional.

La clase HR mantiene hiper-rectángulos, que son rectángulos n-dimensionales, donde cada dimensión se expresa como un intervalo y representa alguna de las dimensiones espaciales o temporales. La clase HR soporta también hiper-puntos, en tanto que un intervalo de longitud cero es un punto, así las diversas combinaciones de intervalos permiten cualquier conformación n-dimensional de los hiper-rectángulos. Además, este modelo resalta el hecho de que los objetos espaciales y temporales tienen diversas representaciones gráficas dependiendo de una escala y de una granularidad elegida, respectivamente.

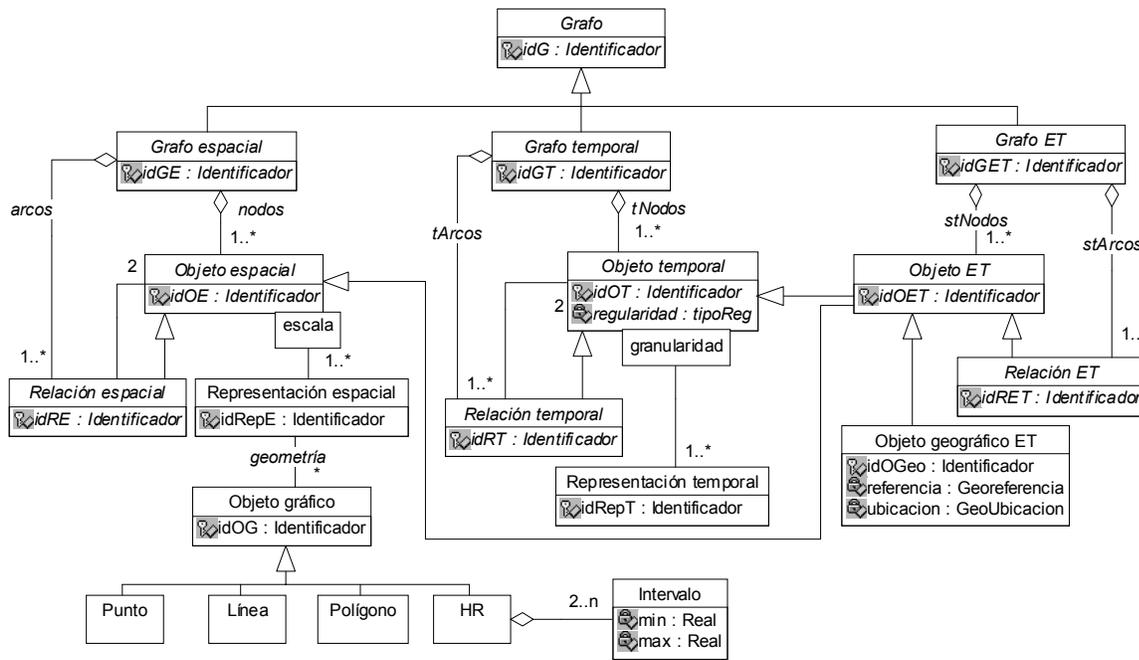


Fig. 7. Modelo D/K extendido

5 Conclusiones

Uno de los objetivos de este artículo consistió en discutir las ventajas del enfoque de orientación por objetos para modelar datos geotemporales. Esta discusión ha conducido a su aceptación para ser usado en el diseño de los dos modelos de datos geotemporales que aquí se presentan. Sin embargo, este tópico requiere más discusión y experimentación antes de que pueda ser universalmente aceptado, ya que la introducción comercial, prueba y aceptación de nuevas tecnologías toman siempre una

cantidad substancial de tiempo. Al igual que los diseñadores e implementadores, los usuarios de tecnologías tradicionales se resisten a adoptar nuevas tecnologías.

El modelo D/K extendido muestra la importancia de tener clases genéricas, de las cuales es posible crear nuevas clases que especialicen tales clases genéricas. En particular, la clase Objeto geográfico ET es la especialización de un Objeto ET, que es básicamente espacial, especializado para agregar las propiedades especiales de los objetos geográficos, teniendo en cuenta que el espacio geográfico es un tipo especial de espacio.

Como consecuencia de la revisión del proceso para modelar fenómenos geográficos, esta investigación ejemplifica el uso del enfoque de orientación por objetos en el modelado de datos geotemporales. Por lo tanto, este enfoque puede ser utilizado para construir la nueva generación de SIGT debido a su flexibilidad, su modularidad y su capacidad para manejar las complejidades introducidas por las dimensiones geográficas y temporales.

Sin embargo, sería poco realista sugerir que el enfoque de orientación por objetos proporciona una solución definitiva al desarrollo de SIGT. Es necesario seguir investigando en el área antes de que algún modelo de datos apropiado esté disponible y sea aceptado por la comunidad de SIG.

Referencias

- Aangeenbrug R, 1991, A critique of GIS. In: Maguire D, Goodchild M, Rhind D (Eds.), Geographical information systems: Principles and applications, vol. 1. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England, pp. 101-107.
- Adam N y Gangopadhyay A, 1997, Database issues in geographic information systems, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Adams T, Tang A y Wiegand N, 1993, Spatial data models for managing subsurface data, Journal of Computing in Civil Engineering: Vol. 7, No 3, pp. 260-277.
- Aronoff S, 1993, Geographic information systems: A management perspective, WDL Publications, Ottawa, Ont., Canada.
- Bernhardsen, T, 1992, Geographic information systems, Viak IT, Arendal, Norway.
- Besembel I, 1999, An integrated index structure for object-oriented and spatio-temporal information systems, Ph.D. Dissertation, University of Leeds, Leeds - UK.
- Besembel I y Montilva J, 2000, Modelado de relaciones espacio temporales en aplicaciones orientadas por objetos, Ciencia e Ingeniería, Vol. 21, No 2, pp. 19-23.
- Blaha M y Premerlani W, 1998, Object-oriented modeling and design for database applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Davis C y Vasconcelos K, 1994, Object-oriented GIS in practice, In: Proceeding of the urban and regional information systems association conference, 1, pp. 786-795. <http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/urisa/ur94070.html>
- Kroha P, 1993, Objects and databases, McGraw-Hill Book Co., London, New York - USA.
- Langran G, 1993, Time in geographic information systems, Taylor & Francis, London, England; Washington, DC - USA.
- Lausen G y Vossen G, 1998, Models and languages of object-oriented databases, Addison-Wesley, Harlow, England; Reading, Mass. - USA.
- Luo L y Jones C, 1995, A deductive database model for GIS, In: Fisher, P. (Eds.), Innovations in GIS 2: Selected Papers from the Second National Conference on GIS Research UK, Taylor & Francis, London; Bristol, PA, pp. 33-42.
- Maguire D, Goodchild M y Rhind, D, 1991, Geographical information systems: Principles and applications, vol. 1, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England.
- Montgomery L, 1995, Temporal geographic information systems technology and requirements: Where we are today, MSc Thesis, The Ohio State University, Columbus, Ohio. <http://thoth.sbs.ohiostate.edu/research/theses/>
- Montilva J, 1993, An integration method applied to the design of a data/knowledge model for multimedia and spatial applications, Ph.D. Dissertation, University of Leeds, Leeds, UK.
- Muller P, 1997, Modelado de objetos con UML, Ediciones Gestion 2000 y Eyrolles, Primera edición en español.
- Narciso F, 1999, A spatiotemporal data model for incorporating time in geographic information systems (GEN-STGIS), Ph.D. Dissertation, University of South Florida, Tampa, USA.
- Nyerges T, 1991, Representing geographical meaning, In: Bittenfield B & McMaster R. (Eds.), Map Generalization: Making rules for knowledge representation, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England, pp. 59-85.
- Peuquet D y Marble D, 1990, Introductory readings in geographic information systems, Taylor & Francis, London; New York - USA.
- Pissinou N, Makki K y Park E, 1993, Towards the design and development of a new architecture for geographic information systems, In: Proceedings of the 2nd International Conference of Information and Knowledge Management, Published by ACM, pp. 565-573.
- Rumbaugh J, Blaha M, Premerlani W, Eddy F y Lorensen, W, 1991, Object oriented modeling and design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Smyth S, 1998, A representational framework for geographic modeling. In: Egenhofer M & Golledge R. (Eds.), Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems, Oxford University Press, New York, pp. 40-62.
- Worboys M, 1994, Object-oriented approaches to georeferenced information, In: International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 8, No 4, pp. 385-399.
- Yuan M, 1996, Temporal GIS and spatio-temporal modeling, In: Proceedings of the 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. http://bbq.ncgia.ucsb.edu:80/conf/SANTA_FE_CD_ROM/sf_papers/yuan_may/may.html