

# Modelado de relaciones espacio-temporales en aplicaciones orientadas por objetos

## Modelling spatio-temporal relationships in object oriented applications

I. Besembel Carrera\* y J. Montilva Calderón

Grupo de Ingeniería de Datos y Conocimiento (GIDyC). Departamento de Computación.  
Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad de Los Andes. Mérida 5101, Venezuela

\*ibc@ing.ula.ve

### Resumen

*En este artículo se extiende un modelo de datos para soportar los objetos y sus interrelaciones temporales mediante la inclusión de nuevas clases denominadas: TemporalObject, TemporalRepresentation y TemporalGraph. El modelo temporal utilizado se basa en el modelo mixto, que considera una línea de tiempo discreta y totalmente ordenada, donde la primitiva es el intervalo. Esto permite el uso de puntos e intervalos de tiempo, considerando los puntos temporales como intervalos de longitud cero. Se define un objeto espacio temporal como el que tiene al menos una propiedad temporal y una espacial. Estas propiedades están representadas por datos temporales y espaciales, respectivamente. Pueden representarse por (**objId**, **mbr**, **t**, **att**) donde **objId** es el identificador del objeto, **mbr** es el mínimo rectángulo que cubre completamente al objeto indicando su localización y forma espacial, **t** es la descripción de sus características temporales y **att** es el conjunto de otros atributos que describen al objeto. Se consideran tres grupos de interrelaciones denominadas: espacio-temporales, espaciales y temporales. Dentro de las espacio-temporales sólo se tratan las interrelaciones topológicas entre rectángulos de  $d$ -dimensiones ( $dD$ ), denominados hiper-rectángulos, donde las dimensiones espaciales y temporales se tratan homogéneamente. Un objeto que es instancia de la clase de los objetos espacio-temporales (STObject) hereda la representación espacial y temporal de las clases SpatialObject y TemporalObject, pero internamente se almacena de una manera uniforme mediante la aplicación de funciones de transformación. Así, un objeto de la clase STObject tiene una única representación que unifica las anteriores. Un grafo espacio temporal es un grafo compuesto de nodos que son objetos espacio-temporales y aristas que son interrelaciones espacio-temporales diferentes de las topológicas*

**Palabras Claves :** Bases de datos, orientadas por objetos, temporales

### Abstract

*In this paper, we extend a data model to support temporal objects and relationships by including new classes named TemporalObject, TemporalRepresentation, and TemporalGraph. The temporal extension to the model is based on the mixed model, which consider a linear, totally ordered and discrete time line, where intervals are its primitives. We define a spatio-temporal object as an object that has at least one spatial and one temporal property. These properties are represented by spatial and temporal data, respectively. It can be represented by a four-tuple (**objId**, **geom**, **t**, **att**) where **objId** is the object identifier, **geom** is the geometry that indicates the spatial location and shape of that object, **t** is the description of the temporal characteristics of that object, and **att** is a set of other attributes that describes the object. We consider three groups of relationships, namely: spatio-temporal, spatial, and temporal. In the spatio-temporal, we only consider the topological relationships among  $d$ -dimensional rectangles, called here hyper-rectangles, where spatial and temporal dimensions are treated homogeneously. An object instance of the spatio-temporal object (STObject) inherits spatial and temporal representation, but internally it is stored in a uniform manner by applying transformation functions to it. Thus, a STObject has a unique representation, which unifies its representation. Our model provides support for representing networks through the notion of spatio-temporal graphs. A spatio-temporal graph is a graph composed of nodes which are spatio-temporal objects and arcs (edges) that are spatio-temporal relationships other than topological ones.*

**Key words:** Database modelling, spatio-temporal object-oriented models, spatio-temporal databases.

## 1 Introducción

Este artículo propone una extensión al modelo integrado de datos y conocimiento, denominado modelo D/K, el cual es un modelo de datos orientado por objetos que provee capacidades de representación de conocimiento (Montilva, 1994). En muchas de las aplicaciones de ingeniería, un aspecto importante de los procesos de modelado de datos y representación del conocimiento es la representación de las propiedades espaciales y temporales y de las interrelaciones entre los dominios de las entidades. En los sistemas de transporte, la planificación de rutas puede ser modelada utilizando un digrafo cuyos nodos representan entidades (e.g. aeropuertos, estaciones de metro e intersecciones de carreteras) y cuyas aristas capturan las conexiones entre los nodos. Por otra parte el movimiento de un nodo a otro requiere alguna forma de representación temporal como son los horarios.

La extensión espacial del modelo D/K usa la representación vectorial para modelar los objetos espaciales y sus interrelaciones. Un conjunto de clases están presentes en el modelo, entre ellas se encuentran: *SpatialObject*, *SpatialRepresentation* y *SpatialGraph*. Así también, el soporte de los objetos temporales y sus interrelaciones se hace mediante la inclusión de un conjunto de clases denominadas: *TemporalObject*, *TemporalRepresentation*, y *TemporalGraph*. Esta extensión temporal está basada en el modelo mixto (Langran, 1989, Snodgrass, 1992), el cual considera el tiempo lineal, discreto y totalmente ordenado cuya primitiva es el intervalo. Esto permite que los puntos en el tiempo sean también considerados y expresados como intervalos de longitud cero.

El resto de este artículo está organizado de la forma siguiente: la sección 2 define los objetos espacio temporales. La sección 3 presenta las principales relaciones espacio temporales. La extensión del modelo D/K se incluye en la sección 4, ella soporta objetos, interrelaciones y grafos espacio temporales. La sección 5 ilustra como implementar las clases mencionadas siguiendo la notación UML (Unified Modelling Language) (Muller, 1997). Finalmente, se incluyen las conclusiones en la sección 6.

## 2 Objetos espacio temporales

Un objeto espacio temporal se define como un objeto que al menos tiene una propiedad espacial y una temporal (Bessembel y Roberts, 1997). La figura 1 muestra la estructura y el comportamiento de los objetos espacio temporales (*STObject*) las cuales son heredadas de las clases *SpatialObject* y *TemporalObject*, respectivamente.

Las propiedades geométricas (localización y forma) de un objeto espacio temporal dependen de la escala que se está usando para representar dicho objeto en el espacio. Existe por cada escala una representación espacial del objeto compuesta de uno o más objetos gráficos de tipo punto, línea o polígono. Similarmente, la representación temporal de un objeto espacio temporal dependerá de la granularidad

que está asociada a dicho objeto. Para una granularidad dada (segundos, minutos, años, etc.), la propiedad temporal del objeto se representa como un conjunto de intervalos de tiempo que determinan su existencia en el tiempo. Un objeto espacio temporal se puede representar por una 4-upla (*objId*, *geom*, *t*, *att*) donde *objId* es el identificador del objeto, *geom* es su localización y forma espacial, *t* es la descripción de sus características temporales y *att* es un conjunto de otros atributos que describen otras propiedades diferentes de las espaciales y temporales.

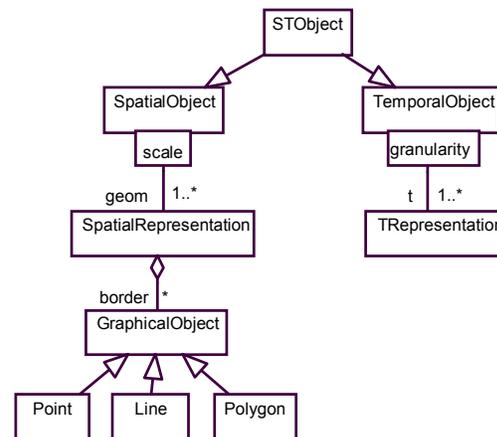


Figura .1. Clases espacio temporales.

Un grafo espacio temporal es un grafo compuesto de nodos que son objetos espacio temporales y de aristas que definen sus relaciones espacio temporales, las cuales se presentan en la sección siguiente.

## 3 Relaciones espacio temporales

Se consideran tres grupos de relaciones denominadas: espaciales, temporales y espacio temporales. Las entidades espaciales están asociadas por múltiples relaciones, como son: las topológicas (separación, contenidoEn, solapamiento y cobertura), las direccionales (arriba o norte, abajo o sur, izquierda o este y derecha u oeste) y las de proximidad (cerca, lejos y entre). Las relaciones topológicas han sido tratadas y descritas por M. Egenhofer en (Egenhofer y Frank, 1988, Egenhofer, 1989, Egenhofer y Herring, 1990, Egenhofer y Franzosa, 1991). La tabla 1 presenta estas relaciones utilizando la notación orientada por objetos que representa la relación asociada, i. e. Si **k.separado(m) = cierto**, entonces los objetos **k** y **m** están separados. El símbolo **b** indica el borde del objeto espacial e **i** indica su interior. Cada una de las columnas siguientes describe el resultado de la intersección catalogado como: vacío ( $\emptyset$ ) o no vacío ( $\neg\emptyset$ ). Las intersecciones pueden ser entre sus bordes ( $b \cap b$ ), entre sus interiores ( $i \cap i$ ) y sus combinaciones.

Las relaciones direccionales o de posición fueron presentadas por W. Kim, J. Garza, y A. Keskin en (Kim y col.,

1993). Este conjunto de relaciones se muestran en la tabla 2 donde **mbr** es el mínimo rectángulo que cubre el objeto, el cual se considera como  $[xi, xs, yi, ys]$  y cada componente del **mbr** está referida como **mbr.componente**. Un objeto espacial **k** está arriba de otro objeto espacial **m** si el **mbr** de **k** intercepta el **mbr** definido por  $[-\infty, \infty, m.y_s, \infty]$ . Cálculos similares se hacen para el resto de los operadores.

Tabla 1. Relaciones topológicas entre dos objetos **k** y **m**.

Operador	$b \cap b$	$i \cap i$	$b \cap i$	$i \cap b$
k.separado(m)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
k.contieneA(m)	$\emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\neg \emptyset$
k.dentro(m)	$\emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$
k.toca(m)	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
k.igual(m)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
k.cubre(m)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\neg \emptyset$
k.cubiertoPor(m)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$
k.solapa(m)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$

Tabla 2. Relaciones direccionales entre objetos espaciales.

Operador	Relación
k.arriba(m)	$k.y_i \geq m.y_s$
k.abajo(m)	$k.x_i \geq m.x_s$
k.izquierda(m)	$k.y_s \leq m.y_i$
k.derecha(m)	$k.x_s \leq m.x_i$
k.dirArriba(m)	$k.arriba(m) \wedge m.x.cubre(k.x)$
k.dirAbajo(m)	$k.abajo(m) \wedge m.x.cubre(k.x)$
k.dirIzquierda(m)	$k.izquierda(m) \wedge m.y.cubre(k.y)$
k.dirDerecha(m)	$k.derecha(m) \wedge m.y.cubre(k.y)$
k.arribalIzquierda(m)	$k.arriba(m) \wedge k.izquierda(m)$
k.arribaDerecha(m)	$k.arriba(m) \wedge k.derecha(m)$
k.abajolIzquierda(m)	$k.abajo(m) \wedge k.izquierda(m)$
k.abajoDerecha(m)	$k.abajo(m) \wedge k.derecha(m)$

Las relaciones de proximidad se mencionan también en (Kim y col., 1993). De las allí mencionadas se escogieron tres, a saber: cerca, lejos y entre. La tabla 3 presenta estos operadores y sus relaciones con los operadores topológicos para un valor dado denominado delta ( $\Delta$ ), el cual indica la unidad especificada para calcular si un **mbr** solapa objetos cerca del objeto buscado.

Las relaciones temporales se tratan en (Besembel y Roberts, 1997) y son mostradas en la tabla 4. Para los operadores: adyacente, sigue y precede se necesita la especificación de un borde para diferenciar entre el borde inferior (**bi**) y el superior (**bs**), y además una unidad de tiempo (TU) para evaluar la proximidad en tiempo como la utilizada en las relaciones espaciales. En esta tabla **q** y **t** son dos objetos temporales.

Como relaciones espacio temporales se consideran solamente las topológicas entre los rectángulos en dimensiones llamados aquí **hiper-rectángulos**, donde las dimensiones espaciales y temporales se tratan homogéneamente. Una dimensión por cada dimensión espacial, X e Y

si se tienen objetos espaciales en 2D y una dimensión por cada dimensión temporal, tiempo válido si se tienen objetos temporales en 1D. Esto es posible porque se considera cada representación de las d-dimensiones como intervalos, así un hiper-rectángulo está compuesto de **d** intervalos, uno por cada dimensión.

Tabla 3. Relaciones de proximidad entre objetos espaciales.

Operador	Relación	P
k.cerca(m)	k.solapa(p)	$(x_{im}-\Delta, x_{sm}+\Delta, y_{im}-\Delta, y_{sm}+\Delta)$
k.lejos(m)	k.separado(p)	
k.entre(m, j)	k.solapa(p)	$(\text{Min}(x_{im}, x_{ij}), \text{Max}(x_{sm}, x_{sj}), \text{Min}(y_{im}, y_{ij}), \text{Max}(y_{sm}, y_{sj}))$

Tabla 4. Relaciones temporales entre objetos.

Operador	$b \cap b$	$i \cap i$	$b \cap i$	$i \cap b$	(bi, bs)
q.antes(t)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$q.b < t.b$
q.despues(t)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$q.b > t.b$
q.durante(t)	$\emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	
q.solapa(t)	$\emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	
q.toca(t)	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	
q.igual(t)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	
q.comienza(t)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	$\neg \emptyset$	
q.termina(t)	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\neg \emptyset$	$\emptyset$	
q.adyacente(t)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$(t.bi - q.bs = TU) \vee (q.bi - t.bs = TU)$
q.sigue(t)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$q.bi - t.bs = TU$
q.precede(t)	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$t.bi - q.bs = TU$

En general es posible combinar las relaciones espaciales y temporales para ser usadas para responder preguntas o consultas espacio temporales, pero sólo se consideran aquí las relaciones topológicas en dD.

#### 4 Extensión del modelo D/K para soportar objetos espacio temporales

De acuerdo a R. Snodgrass en (Snodgrass, 1992, Kim, 1995), hay tres enfoques para incorporar objetos que varían con el tiempo en un Sistema Manejador de Bases de Datos Orientadas por Objetos (SMBDOO). El primer enfoque es utilizar directamente el modelo orientado por objetos y el usuario es responsable del manejo de la semántica del tiempo válido, el cual normalmente se piensa como lineal. El segundo enfoque es la utilización de extensiones generales del modelo de datos, que habiéndose ya hecho, sirven después para soportar la temporalidad. Finalmente, el tercer enfoque incorpora el tiempo al modelo de datos por medio de constructos especiales que manejan los objetos que varí-

an en el tiempo. Este último enfoque se utiliza para soportar datos históricos a través del tiempo válido y versiones a través del tiempo transaccional, como lo menciona L. Valet en (Valet, 1996). En este trabajo se sigue este tercer enfoque. La figura 2 presenta el resumen de la extensión del modelo D/K utilizando los diagramas UML. Una instancia de la clase STObject hereda los atributos espaciales y temporales, pero internamente se almacena de una forma uniforme aplicándole unas funciones de transformación para su tratamiento homogéneo. Así, un STObject tiene una representación única que lo unifica. Un grafo espacio temporal (STGraph) es un grafo compuesto de nodos que pertenecen a la clase STObject y aristas que representan las relaciones entre los nodos, diferentes de las topológicas.

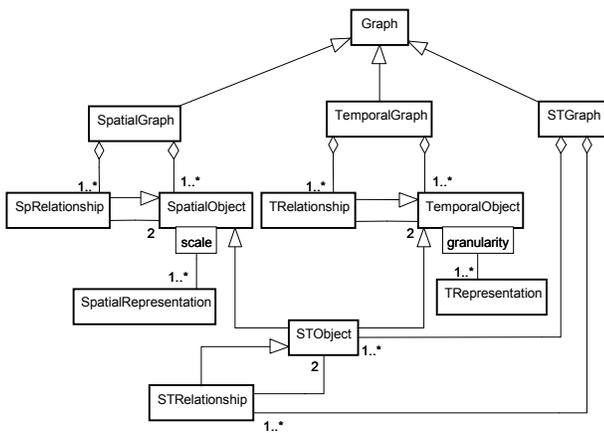


Figura 2. Extensión del modelo D/K para soportar clases temporales y espacio temporales.

### 5 Implementación

Originalmente el modelo D/K fue diseñado para extender el lenguaje Smalltalk-80, para soportar los constructos, operaciones y reglas de modelado del modelo. Aquí se utiliza la notación UML en vez de la utilizada en la implementación del modelo D/K. La figura 3 presenta una breve descripción de las clases nuevas que fueron presentadas en la figura anterior.

Una instancia de la clase TemporalObject tiene un nombre, un tipo, una regularidad que puede ser periódica o no y su granularidad. Las relaciones temporales definidas entre los objetos temporales pueden ser diferentes a las definidas en la sección 2, pues estas se utilizan en los grafos temporales. La representación temporal contiene el intervalo de tiempo que depende de su granularidad que puede estar definida en segundos, horas, años, etc. El modelo también soporta mapas de tiempo representados por un grafo temporal.

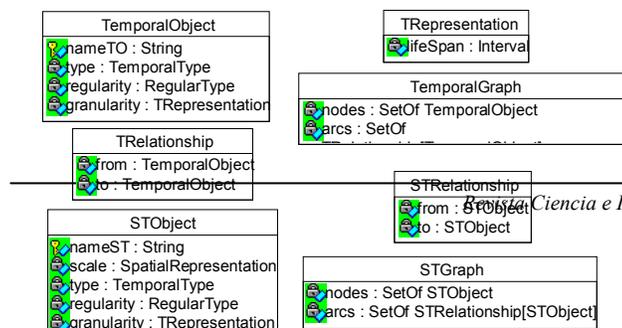


Figura 3. Notación UML para las clases nuevas del modelo D/K.

Un objeto espacio temporal tiene un nombre, una representación espacial, un tipo temporal, su regularidad y su granularidad. Las relaciones espacio temporales pueden ser las ya definidas u otras relaciones para conectar los objetos espacio temporales en los grafos espacio temporales.

Finalmente, un grafo espacio temporal puede ser soportado mediante la consideración de un conjunto de objetos espacio temporales y sus conexiones en el grafo.

El comportamiento de las clases no está incluido en la figura 3 por falta de espacio, pero todas ellas contienen un conjunto de métodos clasificados como: constructores, observadores, transformadores y destructores.

### 6 Conclusiones

Los principales beneficios del modelo D/K extendido son: (1) su habilidad para capturar las propiedades y relaciones espaciales, temporales y espacio temporales de las entidades de un dominio de aplicación y (2) su pertinencia para modelar aplicaciones basadas en redes mediante el reuso de las clases espaciales, temporales y/o espacio temporales para soportar los diversos tipos de grafos.

Actualmente, este modelo extendido está siendo utilizado para expresar el modelo de una base de datos botánicos (Besembel y col., 1998), donde las plantas tienen una localización geográfica y una distribución en este espacio, así como una variación en el tiempo.

### Referencias

Besembel, I. y Roberts, S., 1997, "Indexing spatio-temporal objects". *Proc. of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics*. SCI'97/ISAS'97.  
 Besembel, I., Hernández, D., Gaviria, J. y Estrada, J., 1998, "Botanical database modelling." *Proc. of the IASTED Int. Conference on Modelling and Simulation*. Pittsburg.  
 Egenhofer, M. and Frank, U., 1988, "Designing object-oriented query languages for geographic information systems: human interface aspects". *Proc. of the 3<sup>rd</sup>. International Symposium on Spatial Data Handling*.  
 Egenhofer, M., 1989, "A formal definition of binary topological relationships". *Proc. Of Data Organization and Algorithms*. Springer-Verlag.  
 Egenhofer, M. and Herring, J., 1990, "A mathematical framework for the definition of topological relationships".

*Proc. of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling.*

Egenhofer, M. and Franzosa, R., 1991, "Point-set topological spatial relations". *International Journal on Geographical Information Systems*. 5. 2. 161-174.

Kim, W., Garza, J. y Keskin, A., 1993, "Spatial data management in database systems: research directions". *Advances in Spatial Databases. 3<sup>rd</sup>. Int. Symp. SSD'93. Springer-Verlag.*

Kim, W., 1995, *Modern database systems. The object model, interoperability and beyond.* ACM Press and

Addison-Wesley.

Langran, G., 1989, "A review of temporal databases research and its uses in GIS applications". *Int. Journal on Geographical Information Systems*. 3. 3. 215-232.

Montilva, J. A. 1994, "A formal definition of an object-oriented data/knowledge model". *Proc. Of the IV Iberoamerican Congress on Artificial Intelligence.* Caracas.

Muller, P.-A., 1997, *Modélisation objet avec UML.* Eyrolles, Francia.

Snodgrass, R., 1992, *Temporal databases. Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographical space.* Springer-Verlag.

Snodgrass, R., 1992, Temporal databases. Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space. *Int. Conference on GIS.* Springer-Verlag. 22-64.

Valet, L., 1996, *An object-oriented approach to the modelling of time-varying spatial data.* PhD thesis, School of Computer Studies, University of Leeds. Leeds-U.K.