



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

MONOGRAFÍA  
BASES DE DATOS AVANZADAS

---

## Bases de Datos Espaciales y Temporales

---

*Autores:*

Federico Badaloni  
David Giordana

*Docentes:*

Claudia Deco  
Cristina Bender

Departamento de Ciencias de la Computación  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Av. Pellegrini 250, Rosario, Santa Fe, Argentina

19 de septiembre de 2020



# Resumen

El resumen de la monografía.

# Índice general

Índice general	IV
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Bases de Datos Espaciales</b>	<b>3</b>
2.1. Introducción . . . . .	3
2.2. Modelos Teóricos . . . . .	3
2.2.1. Realms . . . . .	4
2.2.2. Actualizaciones en realms . . . . .	5
2.2.3. Modelo Funcional . . . . .	6
2.2.4. Modelos Basados en Objetos . . . . .	7
2.2.5. SDTs . . . . .	7
2.2.6. Operaciones Espaciales . . . . .	8
2.3. Expandiendo sobre el espacio . . . . .	8
<b>3 Bases de Datos Temporales</b>	<b>9</b>
3.1. Introduccion . . . . .	9
3.2. Tiempo de Validez vs Tiempo de Transaccion . . . . .	9
3.3. Queries Temporales . . . . .	9
3.4. Modelos matematicos . . . . .	9
3.5. Representacion de imprecision . . . . .	9
3.6. Recta Temporal . . . . .	9
<b>4 Bases de Datos Espaciotemporales</b>	<b>11</b>
4.1. Introduccion . . . . .	11
4.2. El tiempo como una cuarta dimension . . . . .	11
4.3. Conceptos . . . . .	11
4.4. Queries espacio temporales . . . . .	11
4.5. Algunos modelos . . . . .	11
<b>5 Conclusiones</b>	<b>13</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>15</b>

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	v
-----------------------	---

<b>A Título del Apendice</b>	<b>17</b>
A.1. Título de la seccion . . . . .	17



# Capítulo 1

## Introducción

La idea general es presentar espaciales como algo practica-¿teoria, temporales como teoria-¿practica y despues espacio temporales como una mezcla de ambas culturas”.

Intro hablando sobre el marco general de la mono, detallando que va a tratar cada capitulo y como esta estructurada

En esta trabajo, se presentan conceptos generales y el estado actual de la investigación científica en el área de las Bases de Datos Espaciales, Temporales y Espacio-Temporales.

En el capitulo 1 se presentan conceptos sobre Bases de Datos Espaciales, antecedentes importantes en el procesamiento de datos espaciales como los sistemas GIS, los modelos teóricos que se usan actualmente, diversas aplicaciones y generalizaciones teóricas que nos serán útiles para combinarlas con modelos temporales.

En el capítulo 2 se presentan modelos de Bases de Datos Temporales, las distintas formas de modelarlas teóricamente, el consenso obtenido entre distintos modelos y posterior extensión al estándar SQL y se compara contra el proceso de desarrollo de las Espaciales.

En el capítulo 3 se examina como de la combinación de ambas ramas de investigación y desarrollo surgen las Bases de Datos Espacio-Temporales, las distintas tendencias heredadas de las diferencias historicas entre Temporales y Espaciales que derivan en una variedad de modelos especializados para aplicaciones especificas y se concluye con un análisis de como los autores de este trabajo ven la posible evolución de esta area





## Capítulo 2

# Bases de Datos Espaciales

### 2.1. Introducción

Los sistemas de bases de datos espaciales (SDBMS) son los DBMS que incorporan capacidades de representación y manipulación de datos geométricos en un marco de referencia dado.

La principal aplicación de los SDBMS son los Sistemas de Información Geográfica (GIS): software que provee mecanismos de análisis y visualización de de datos geográficos. Los datos geográficos son datos espaciales cuyo marco de referencia es la superficie terrestre. Los GIS implementan en sus herramientas un gran conjunto de técnicas desarrolladas por cartógrafos y que son previas al desarrollo de la informática. Este hecho dota a la investigación de las Bases de Datos Espaciales de un *carácter multidisciplinario* que puede señalarse como una de las causas del rápido avance de la misma.

A su vez, existen otras aplicaciones para los SDBMS tales como la representación de circuitos, datos astronómicos, moléculas y muchas otras. En general, los modelos teóricos son los mismos y lo que cambia es simplemente el marco de referencia en el que se representan los datos. En este trabajo haremos foco en las aplicaciones a los GIS, pero el lector no debe perder de vista que todos los conceptos discutidos son aplicables a estas otras áreas.

### 2.2. Modelos Teóricos

El desarrollo de modelos teóricos para las Bases de Datos Espaciales debe entenderse en el contexto histórico discutido en la sección anterior. Los primeros GIS implementaban todas las operaciones sobre datos espaciales a nivel de aplicación, guardando sus datos en bases de datos convencionales. A su vez, los primeros SDBMS intentaron simplemente mover esta lógica al nivel de base de datos, pero sin desarrollar un marco teórico. Posteriormente, algunos investigadores comenzaron a dar definiciones formales de Tipos de Datos Espaciales (SDTs).

En las secciones 2.2.1 y 2.2.2 analizaremos brevemente el Álgebra de RoSE [2] (Robust Spatial Extension), un modelo formal que consideramos uno de los más elegantes

y significativos del campo. Luego, en las secciones 2.2.3 y 2.2.4 veremos los principales paradigmas de modelado que se utilizan en los SDBMS actuales, el modelo funcional y el modelo basado en objetos.

### 2.2.1. Realms

Según Güting y Schneider [2], un modelo formal para Bases de Datos Espaciales debe ser:

- General: los objetos geométricos usados como valores de SDTs deben ser tan generales como sea posible. Por ejemplo, un valor región debe poder representar una colección de áreas disjuntas, cada una de las cuales puede tener agujeros. Mas precisamente, los dominios de los tipos de datos punto, línea y región deben ser cerrados respecto a la unión, intersección y diferencia de sus conjuntos de puntos subyacentes.
- Riguroso: la semántica de los SDTs, es decir, los posibles valores para los tipos y las funciones asociadas con las operaciones, deben estar definidas formalmente para evitar ambigüedades para el usuario y el implementador.
- De resolución finita: las definiciones formales deben tener en cuenta las capacidades de representación finitas de las computadoras. Delegarle al programador la responsabilidad de cerrar la brecha entre teoría y práctica en este punto lleva a errores numéricos y topológicos.
- Geométricamente consistente: distintos objetos espaciales pueden estar relacionados mediante restricciones geométricas. Las definiciones de los SDTs ayudan a mantener esa consistencia.

El Álgebra de RoSE se basa en la incorporación a los DMBSs del concepto de realm, un conjunto finito de puntos y segmentos sin intersecciones sobre los cuales se posicionan todos los datos espaciales de una base de datos. Con este enfoque, los datos no se crean al darle valor a un atributo, sino que se *seleccionan* del conjunto de valores existentes en el realm. Este modelo permite asegurar que el álgebra espacial es cerrada respecto a un realm. Es decir, que las primitivas geométricas y las operaciones sobre realms se definen sobre aritmética entera, libre de errores de redondeo que podrían aparecer si el modelo se definiera sobre un espacio euclídeo.

Otra ventaja de los realms es que permiten aislar todo el computo de puntos en las operaciones de actualización del realm. No se computan intersecciones durante consultas de búsqueda.

Para mapear los segmentos con intersecciones de una aplicación a un conjunto de segmentos sin intersecciones de un realm, se utiliza redibujado y geometría de resolución finita [1].

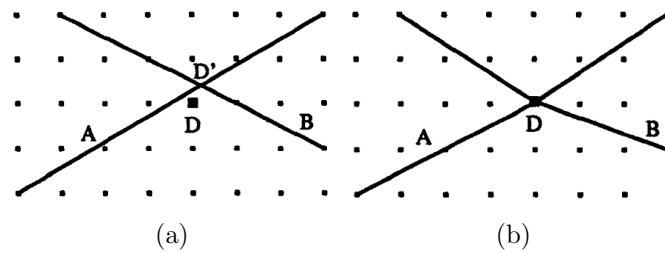


Figura 2.1: Redibujado de la intersección de dos segmentos.

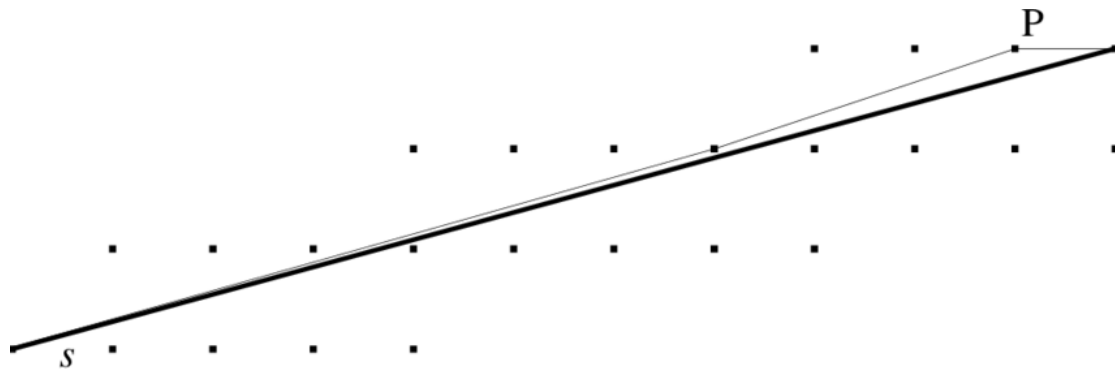


Figura 2.2: Envoltura de un segmento.

### 2.2.2. Actualizaciones en realms

Veamos mas en detalle que ocurre en este modelo cuando se realiza una actualización que requiere la insercion de un nuevo segmento. Esto es importante porque los datos geométricos provenientes de la aplicación no son no-intersecantes como requiere el modelo. El problema fundamental es que usualmente los puntos de intersección no se corresponden con puntos de la grilla del realm. La solución es aplicar redibujado: se modifican los segmentos de forma tal que la intersección se mueva al punto mas cercano que sí esté en la grilla.

Esto puede verse en las figuras 2.1a y 2.1b: la intersección entre los segmentos A y B ( $D'$ ) no se corresponde con un punto de la grilla, pero podemos partir a cada uno de ellos en dos, de manera que todos los segmentos resultantes tengan a D como uno de sus extremos.

Pero ahora nos surge un nuevo problema que es la preocupación de que aplicando esta operación sucesivamente los segmentos se modifiquen cada vez mas, introduciendo cada vez mas error en la representacion. Podemos acotar este error que se introduce, usando el concepto de envoltura. La envoltura de un segmento es el conjunto de puntos de la grilla que se encuentran inmediatamente arriba, debajo o sobre el segmento. Si establecemos entonces la restriccion de que los puntos a usar para el redibujado deben caer sobre la envoltura del segmento, tenemos una cota para el error: la distancia entre puntos en la grilla. La figura 2.2 muestra un ejemplo de envoltura de un segmento.

De esta forma, Güting y Schneider definen un conjunto de operaciones geométricas primitivas robustas con error acotado que son la base para, a través de la composición de las mismas, definir de forma rigurosa todos los SDTs y las operaciones geométricas que nos pueden resultar interesantes para la representación de datos espaciales. Si bien el Álgebra de RoSE fue un hito en términos de rigurosidad teórica en los modelos de bases de datos espaciales, no es utilizada actualmente en ninguno de los SDBMSs actualmente en uso por la industria del software. De todas formas, su influencia puede verse en los modelos que se utilizan actualmente y que veremos a continuación.

### 2.2.3. Modelo Funcional

En esta sección, veremos el modelo funcional o modelo orientado a campos. Comenzaremos presentando un ejemplo de un problema espacial a modelar. Supongamos un parque nacional que cuenta con:

- Un conjunto de bosques, cada uno con una especie de árbol dominante.
- Un conjunto de instalaciones (oficinas, zonas de campamento, estaciones de bomberos).
- Un conjunto de caminos.
- Un conjunto de ríos.
- Un administrador

En el modelo funcional, se pueden modelar los bosques del parque nacional como una función cuyo dominio es el espacio geográfico subyacente y el rango es un conjunto de especies de árboles. En este caso, la función es una step-function (constante donde en un mismo bosque y con saltos en los bordes entre bosques).

En general, para modelar un problema usando el paradigma funcional, se deben definir tres componentes: un sistema de referencia espacial, funciones de campos y operaciones de campos [Worboys, 1995].

Un sistema de referencia espacial es una grilla finita sobre el espacio subyacente. El ejemplo más conocido de sistema de referencia espacial es un sistema de referencia de la tierra por latitud y longitud.

Un conjunto finito de  $n$  funciones computables o campos simples  $f_i$ ,  $1 \leq i \leq n$ ,  
[funcion]

asigna a cada punto del sistema de referencia  $F$  un elemento de un conjunto valores de atributos.

Las relaciones e interacciones entre los diferentes campos se representan con operaciones de campos. Las operaciones de campos mapean un subconjunto de campos en otros campos. La unión  $+$  y la composición [TODO: signos de operaciones] son ejemplos de operaciones de campos:

[definiciones]

Las operaciones de campos pueden clasificarse en locales, focales y zonales. Los resultados de las operaciones locales dependen solo de los valores de la entrada en esa ubicación, mientras que las focales dependen también de los valores alrededor de la entrada. Las operaciones zonales trabajan con datos agregados o integraciones.

Los modelos funcionales son buenos para representar problemas en los que las datos continuos como elevación, temperatura y variación del suelo. Tienen la ventaja de poder representar fenómenos espaciales amorfos o con contornos fluidos.

#### 2.2.4. Modelos Basados en Objetos

Volviendo al ejemplo del parque nacional, si consideramos los lugares donde los bosques cambian, en un entorno idealizado donde los bordes entre bosques están claramente definidos, obtendremos un bordes de de polígonos. A cada polígono se le puede asignar una ID y un atributo no espacial (la especie de árbol dominante). Los bosques del parque pueden modelarse entonces como un conjunto de polígonos.

En el modelado basado en objetos, se abstrae información espacial en conjuntos de entidades únicas, distinguibles y relevantes llamadas objetos. Cada objeto tiene un conjunto de atributos que lo caracterizan, los cuales se dividen en atributos espaciales y no espaciales. En el ejemplo del parque nacional, un objeto bosque tiene un atributo espacial, un polígono, que representa su extensión espacial, y un atributo no espacial, su especie dominante, representada como un valor alfanumérico. Es interesante notar que un objeto puede tener varios atributos espaciales. Por ejemplo, un camino puede tener un polígono y una línea, para elegir cuál usar según la escala del mapa.

Los modelos de objetos son los mas comunes en problemas relacionados a representar redes de transportes o parcelas de tierra. Tienen la ventaja de ser mas intuitivos y cercanos a los modelos Entidad-Relación ya muy presentes en los DBMS más usados. En definitiva, la decisión de usar el paradigma funcional o de en objetos se basará en los requerimientos de la aplicación.

En las próximas secciones, detallaremos más los SDTs y operaciones espaciales en el modelo basado en objetos.

#### 2.2.5. SDTs

Se han propuesto muchos conjuntos básicos de tipos espaciales para la representación de formas comunes en mapas. Actualmente, la más adoptada es el estándar OGIS [OGIS, 1999] y es en la que nos basaremos. El estándar OGIS propone los siguientes tipos de datos:

- Geometría: es un tipo abstracto (no puede ser instanciado) del cual se derivan todos los otros tipos. Tiene asociado un sistema de referencia.
- Punto: describe la posición de objetos de cero dimensiones, como una oficina o una zona de campamento, en el caso del parque nacional.

- Cadena de Líneas: describe un objeto de una dimension a través de una sucesión de de dos o mas puntos, que pueden representar un segmento o aproximar una curva. Por ejemplo, caminos o ríos.
- Polígono: objetos de 2 dimensiones, como un bosque.
- Colección de Geometrías: formas complejas formadas por conjuntos de otros tipos. Se dividen en multipuntos, multilineas y multipoligonos. Estos tipos son necesarios para asegurar que las operaciones geométricas sean cerradas. Por ejemplo, la intersección de un río con un bosque de forma cóncava pueden ser varias líneas.

### 2.2.6. Operaciones Espaciales

En el modelo funcional, las operaciones disponibles quedaban definidas por las funciones de campos del modelo. Pero en un modelo basado en objetos, el espacio subyacente será el que determine las operaciones disponibles y las relaciones que pueden existir entre objetos.

- Orientado a Conjuntos: son los espacios mas simples y generales. Permiten todas las relaciones usuales de conjuntos como unión, intersección, contención y pertenencia.
- Topológicos: los espacios topológicos son aquellos en los que las relaciones no se ven afectadas por transformaciones elásticas del mismo. Relaciones como meet, within y overlap son ejemplos de ejemplos de las disponibles en espacios topológicos.

[operaciones dinamicas]

## 2.3. Expandiendo sobre el espacio

[Generalizacion a N dimensiones]

[El espacio como indice universal]

## Capítulo 3

# Bases de Datos Temporales

### 3.1. Introduccion

Introduccion a la problema de representar el tiempo en BDs haciendo enfasis en que primero fue teorico y despues se fueron encontrando usos interesantes.

### 3.2. Tiempo de Validez vs Tiempo de Transaccion

Tiempo de Validez vs Tiempo de Transaccion

### 3.3. Queries Temporales

Mencionamos, con ejemplo, algunas queries que pueden ser interesantes.

### 3.4. Modelos matematicos

Introduccion a la problema de representar el tiempo en BDs haciendo enfasis en que primero fue teorico y despues se fueron encontrando usos interesantes.

### 3.5. Representacion de imprecision

Comparado contra espaciales?

### 3.6. Recta Temporal

Aca introudcimos el concetp y cerramos concluyendo que termina siendo analogo a los Realms.





## Capítulo 4

# Bases de Datos Espaciotemporales

### 4.1. Introduccion

Comparacion de las dos culturas de investigacion que ya discutimos para introducir que hay varias tendencias en el campo.

### 4.2. El tiempo como una cuarta dimension

En esta seccion hablamos de lo intuitivo que es combinar ambos problemas pero a la vez las complicaciones que trae.

### 4.3. Conceptos

Use the template *chapter.tex* together with the Springer document class SVMono (monograph-type books) or SVMult (edited books) to style the various elements of your chapter content in the Springer layout.

### 4.4. Queries espacio temporales

Mencionamos por arriba queries propias de espacio temporales que podrian ser interesantes. Algo estilo “ademas de las combinaciones obvias, hay algunas muy propias de espaciotemporales.”

### 4.5. Algunos modelos

Los mismos de las slides. La reflexion de que parte de diseñar una BDET es elegir el modelo que mas te sirva para el caso.



## Capítulo 5

# Conclusiones

Primero ponemos que espacio-temporales tiene problemas propios que no son la simple combinacion de resolver al mismo tiempo problemas espaciales y temporales, sino que emergen propiedades y problemas nuevos.

Terminamos con la conclusion del final de las slides. Que aun no hay consenso científico de si vamos a seguir ramificando o se va a encontrar un modelo general para todos los usos.



# Bibliografía

- [1] D. H. Greene y F. F. Yao. «Finite-resolution computational geometry». En: *27th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1986)*. 1986, págs. 143-152.
- [2] R. Gting, M. Schneider, P. Iv y F. Hagen. «Realm-Based Spatial Data Types: The ROSE Algebra». En: (dic. de 1995).



## Apéndice A

# Titulo del Apendice

### A.1. Titulo de la seccion