

Bases de Datos Geográficas II



Sistemas de Información
Geográficos Empresariales



Relaciones Topológicas

- ❑ La topología se define matemáticamente como la rama que estudia las propiedades de los cuerpos o figuras geométricas que se mantienen invariantes bajo una transformación continua.
- ❑ Informalmente, esas propiedades son las que no cambian cuando se realiza una deformación “elástica” sobre las figuras.
 - Ej. Dos países limítrofes en un mapa plano en papel deben seguir siéndolo en un globo terráqueo.
- ❑ En GIS, se focaliza en las reglas y propiedades que deben cumplir los elementos de una misma capa o de varias para considerarse bien definidos.
 - Ejs. Las líneas que definen un polígono deben ser cerradas; las líneas de una capa de calles deben coincidir con los límites de los polígonos de una capa de manzanas.



Clasificación de Operaciones Espaciales

- ❑ Podemos clasificar las operaciones espaciales en 4 grupos:
 - Teoría de conjuntos: Unión, Intersección, Diferencia, etc.
 - *Ej. La intersección de dos polígonos produce un polígono, o una línea, o un punto, o vacío.*
 - Topológicas: Toca, Superpone, etc.
 - *Ej. La frontera de Uruguay toca la frontera de Argentina (Uruguay y Argentina son polígonos)*
 - Métricas: Área, Distancia, etc.
 - *Ej. La distancia entre Montevideo y Atlántida es de 45 km.*
 - Direccionales: Norte, Sur, Sureste, etc.
 - *Ej. La ciudad de Rocha se encuentra al Noreste de Punta de Este.*



Frontera, Interior, Exterior

- ❑ La frontera de una geometría 0D es vacío.
- ❑ La frontera de una geometría 1D es una geometría 0D o vacío
- ❑ La frontera de una geometría 2D es una geometría 1D
- ❑ El interior de una geometría está compuesto por los puntos que de la misma que no pertenecen a su frontera.
- ❑ El exterior de una geometría está compuesto por los puntos que no pertenecen ni a su interior ni a su frontera.
- ❑ La intersección de una geometría con vacío es vacío.



Equals

$$a.\text{Equals}(b) \Leftrightarrow a \subseteq b \wedge b \subseteq a$$

- o a y b son dos geometrías.
- o Dos geometrías son iguales si se contienen mutuamente, es decir, representan el mismo conjunto de puntos.
- o No se distinguen puntos interiores de puntos frontera.
- o No se considera el orden de los puntos



Disjoint

$$a.\text{Disjoint}(b) \Leftrightarrow a \cap b = \emptyset$$

- o a y b son dos geometrías.
- o Dos geometrías son disjuntas si su intersección es vacía, es decir, no tienen ningún punto en común.
- o No se distinguen puntos interiores de puntos frontera.



Touches

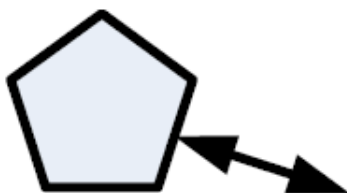
$$a.\text{Touch}(b) \Leftrightarrow (I(a) \cap I(b) = \emptyset) \wedge (a \cap b) \neq \emptyset$$

- o a y b son dos geometrías.
- o Una geometría “toca” a otra si tienen algún punto en común que está en la frontera de ambas o que es interior en una y frontera en la otra.
- o Este predicado también se llama *Meets* en otros modelos.
- o Se aplica a dimensiones: 0/1, 0/2, 1/1, 1/2, 2/2



Touches

Polygon/LineString



Polygon/Point



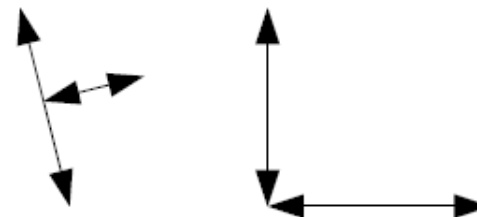
LineString/Point



Polygon/Polygon



LineString/LineString



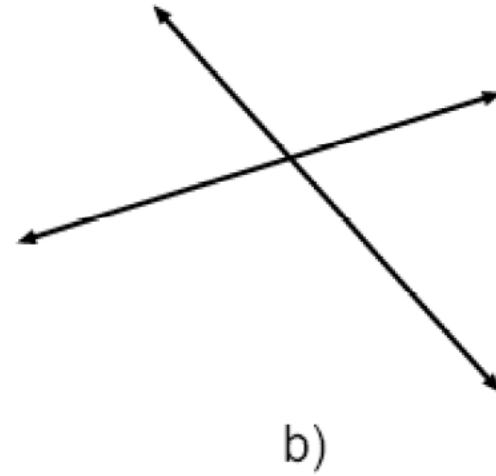
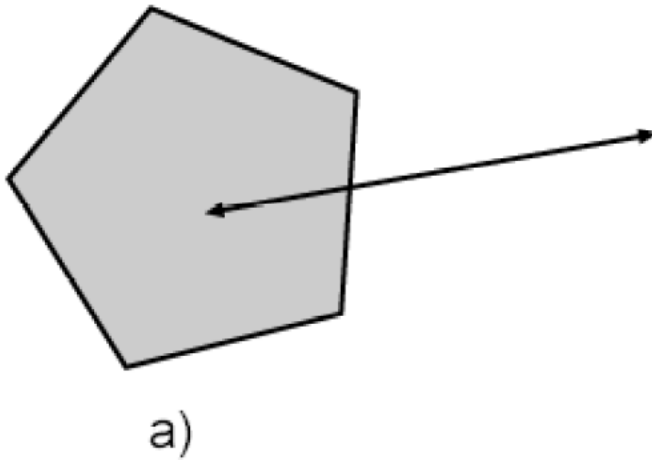
Crosses

$$a.\text{Cross}(b) \Leftrightarrow [I(a) \cap I(b) \neq \emptyset \wedge (a \cap b \neq a) \wedge (a \cap b \neq b)]$$

- o a y b son dos geometrías.
- o Una geometría “cruza” a otra si tienen algún punto en común en sus interiores y ninguna está contenida en la otra.
- o Se aplica a dimensiones: 0/1, 0/2, 1/1, 1/2



Crosses

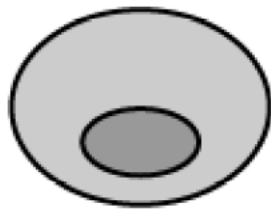


$$a.\text{Within}(b) \Leftrightarrow (a \cap b = a) \wedge (I(a) \cap E(b) = \emptyset)$$

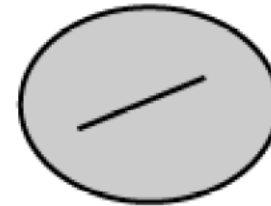
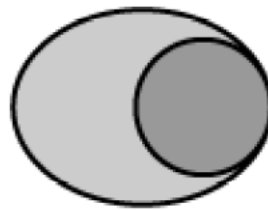
- o a y b son dos geometrías.
- o Una geometría a está “dentro” de otra b si no hay puntos de a que estén en el exterior de b .
- o Este predicado también se llama *Inside* en otros modelos.
- o Se aplica a todas las combinaciones de dimensiones.



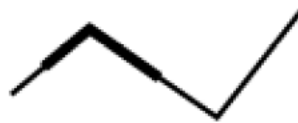
Within



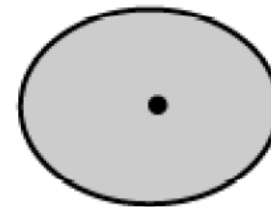
a)



b)



c)



d)

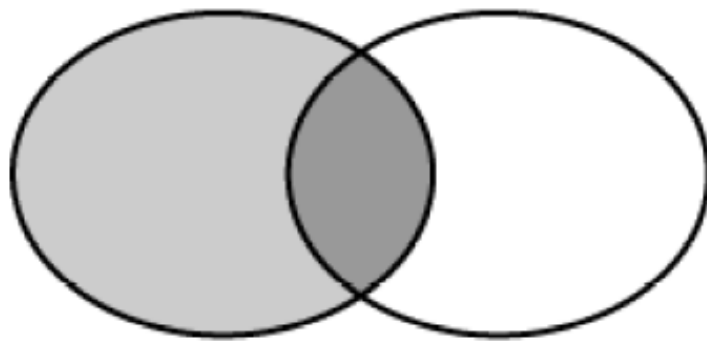
Overlaps

$$a.\text{Overlaps}(b) \Leftrightarrow (\dim(I(a)) = \dim(I(b)) = \dim(I(a) \cap I(b))) \\ \wedge (a \cap b \neq a) \wedge (a \cap b \neq b)$$

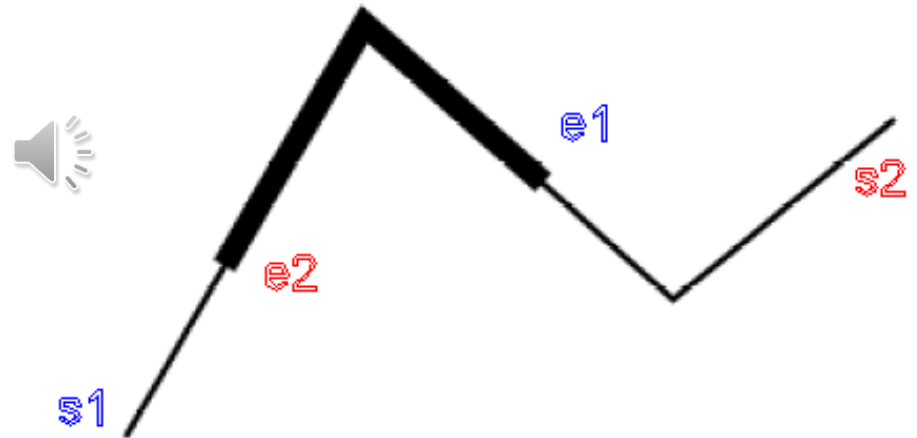
- o a y b son dos geometrías.
- o Una geometría se “superpone” con otra si tienen la misma dimensión, una intersección no vacía de esa misma dimensión y ninguna contiene a la otra.
- o Se aplica a dimensiones: 0/0 (no punto/punto), 1/1, 2/2



Overlaps



a)



b)



Contains e Intersects

Contains

`a.Contains(b) ⇔ b.Within(a)`

Intersects

`a.Intersects(b) ⇔ ! a.Disjoint(b)`



Matrices de Intersecciones

❑ Modelo de las 9 Intersecciones (9IM)

- Se define una matriz binaria 3x3 para un par de figuras geométricas A y B de la siguiente manera, en base a los conjuntos frontera, interior y exterior

$$\mathfrak{S}_9(A, B) = \begin{pmatrix} A \cap B & A \cap \partial B & A \cap B^- \\ \partial A \cap B & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

- Esto nos permite caracterizar las operaciones topológicas según la intersección sea vacía o no.
 - Ej. disjoint = ((0 0 1) (0 0 1) (1 1 1))



Matrices de Intersecciones

- ❑ Modelo dimensionalmente extendido de las nueve intersecciones (DE-9IM)
 - A veces no alcanza con saber que dos geometrías se intersecan. Por ejemplo, queremos saber si dos líneas se intersecan en un punto o en un segmento.
 - Para esto se extiende la matriz anterior con la dimensión de la intersección en lugar de un valor binario.

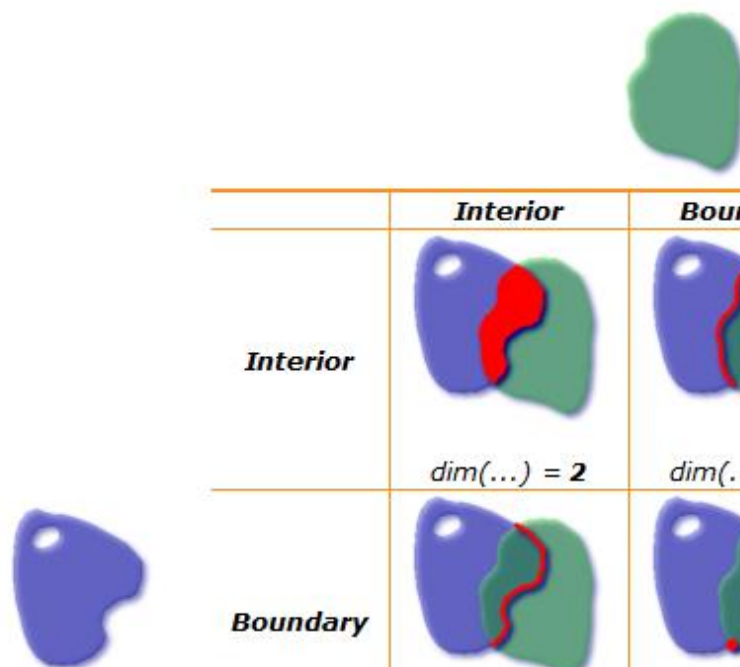


Matrices de Intersecciones

- Los valores de cada celda pueden ser 0, 1, 2, T, F, *. T es cualquier valor en $\{0,1,2\}$, F indica que la intersección es vacía, * es cualquier valor anterior.
- Si solo consideramos los valores F y T, tenemos una matriz 9IM (sin dimensiones).
- El valor * en una celda se utiliza para indicar que esa intersección no debe calcularse.



Matrices de Intersecciones



	<i>Interior</i>	<i>Boundary</i>	<i>Exterior</i>
<i>Interior</i>	 $\dim(\dots) = 2$	 $\dim(\dots) = 1$	 $\dim(\dots) = 2$
<i>Boundary</i>	 $\dim(\dots) = 1$	 $\dim(\dots) = 0$	 $\dim(\dots) = 1$
<i>Exterior</i>	 $\dim(\dots) = 2$	 $\dim(\dots) = 1$	 $\dim(\dots) = 2$



Matrices de Intersecciones

Ejemplos:

1) Dos líneas abiertas que se intersecan en 1 o más puntos interiores:

$$M=((0 \ F \ 1)(F \ F \ 0)(1 \ 0 \ 2))$$

2) Dos líneas cerradas que se intersecan en 1 o más puntos interiores:

$$M=((0 \ F \ 1)(F \ F \ F)(1 \ F \ 2))$$

3) Una línea cerrada y otra abierta que se intersecan en 1 o más puntos interiores:

$$M=((0 \ F \ 1)(F \ F \ F)(1 \ 0 \ 2)) \text{ o } M=((0 \ F \ 1)(F \ F \ 0)(1 \ F \ 2))$$



Matrices de Intersecciones

Si generalizamos las matrices anteriores, y buscamos la matriz de dos líneas que se intersecan en 1 o más puntos interiores, sin importar si son cerradas o abiertas, llegamos a esta matriz:

$$M = ((0 \ F \ 1)(F \ F \ *) (1 \ * \ 2))$$

Como la intersección de exteriores en cualquier caso va a tener dimensión 2, podemos simplificarla en:

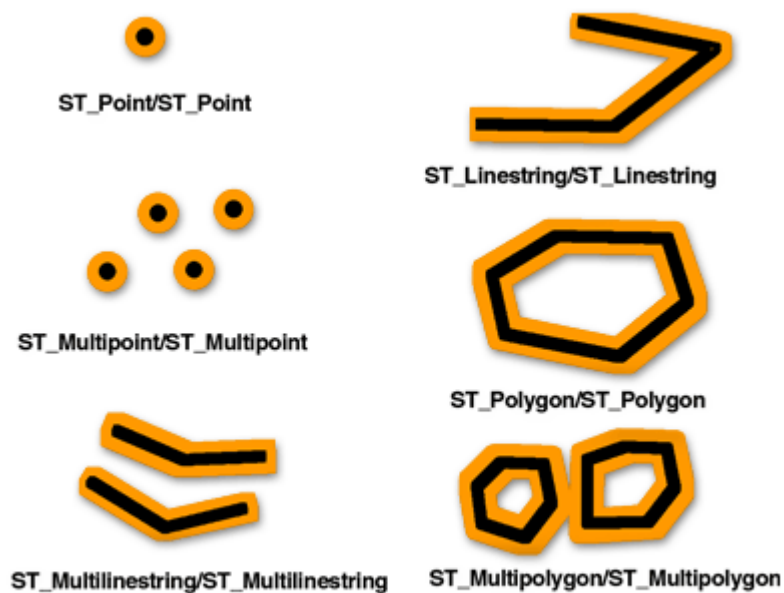
$$M = ((0 \ F \ 1)(F \ F \ *) (1 \ * \ *))$$

Puedo simplificar aún mas la matriz?

$$M = ((0 \ * \ *) (* \ * \ *) (* \ * \ *))$$



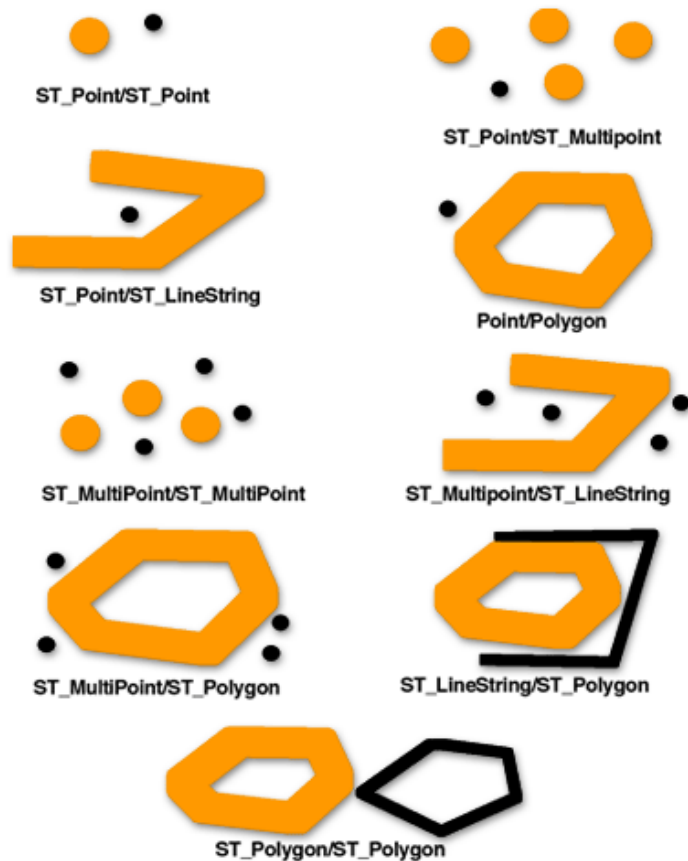
Equals



Equ	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	T	F	F
B(a)	F	T	F
E(a)	F	F	T



Disjoint



Dis	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	F	F	*
B(a)	F	F	*
E(a)	*	*	*

Touches



ST_Point/ST_Linestring



ST_Linestring/ST_Linestring



ST_MultiPoint/ST_Linestring



ST_Point/ST_Polygon



ST_MultiPoint/ST_Polygon



ST_Linestring/ST_Polygon

Tou1	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	F	T	*
B(a)	*	*	*
E(a)	*	*	*

Tou2	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	F	*	*
B(a)	T	*	*
E(a)	*	*	*

Tou3	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	F	*	*
B(a)	*	T	*
E(a)	*	*	*



Crosses



Cro	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	T	*	T
B(a)	*	*	*
E(a)	*	*	*

Cro1	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	0	*	*
B(a)	*	*	*
E(a)	*	*	*

Cro: Dim 0/1, 0/2, 1/2

Cro1: Dim 1/1



Crosses

- ❑ Cro:

- MultiPoint/LineString

- MultiPoint/MultiLineString

- MultiPoint/Polygon

- MultiPoint/MultiPolygon

- LineString/Polygon

- LineString/MultiPolygon

- ❑ Cro0:

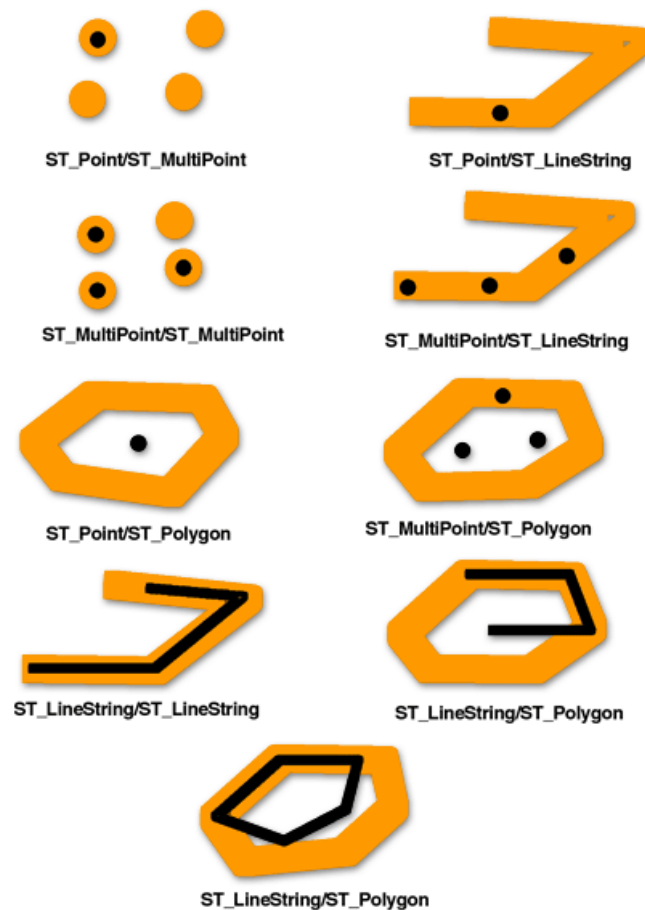
- LineString/LineString

- LineString/MultiLineString

- MultiLineString/MultiLineString



Within



Wit	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	T	*	F
B(a)	*	*	F
E(a)	*	*	*



Overlaps



ST_LineString/ST_LineString



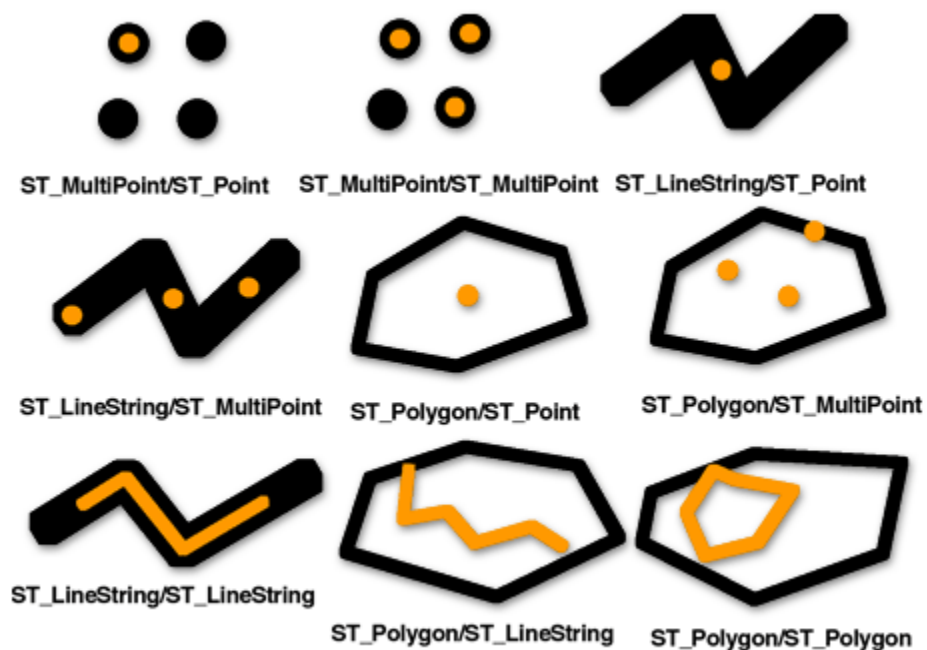
ST_Polygon/ST_Polygon



ST_MultiPoint/ST_MultiPoint

Ove	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	T	*	T
B(a)	*	*	*
E(a)	T	*	*

Contains



Con	I(b)	B(b)	E(b)
I(a)	T	*	*
B(a)	*	*	*
E(a)	F	F	*



Índices Espaciales

❑ Concepto de índice:

- Estructura de datos física de acceso que se define en base a uno o más campos de un archivo. En un DBMS, se definen índices sobre tablas (en lugar de archivos).
- Hacen más eficiente el acceso a registros en operaciones donde intervienen campos indizados.
- Clasificación según campos: índices primarios, índices de agrupamiento, índices secundarios.
- En los DBMS se utilizan comúnmente árboles B y B+.
- Los árboles B son apropiados para tipos de datos que pueden ser ordenados sobre un eje.
 - Ej. $1 < 5$ (enteros), 'Brasilia' < 'Montevideo' (strings)
 - Ej. Cómo defino $\text{Point}(1,0) < \text{Point}(0,1)$?



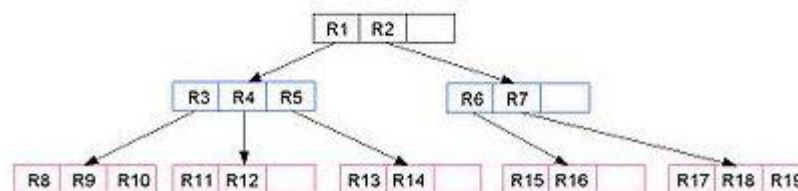
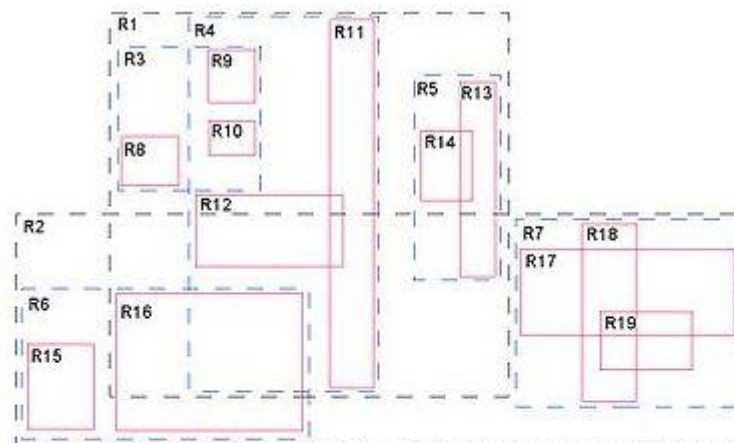
Índices Espaciales

□ Árboles R

- Balanceados
- Cada nodo es un rectángulo
- Nodo hijo dentro de nodo padre (WITHIN)
- Superposición es posible entre rectángulos (OVERLAP)
- Idea: construyo un rectángulo por cada objeto geográfico. El rectángulo es el Minimum Orthogonal Bounding Rectangle (MBR), también llamado Bounding Box. Luego construyo rectángulos que contienen completamente a los anteriores y así sucesivamente.

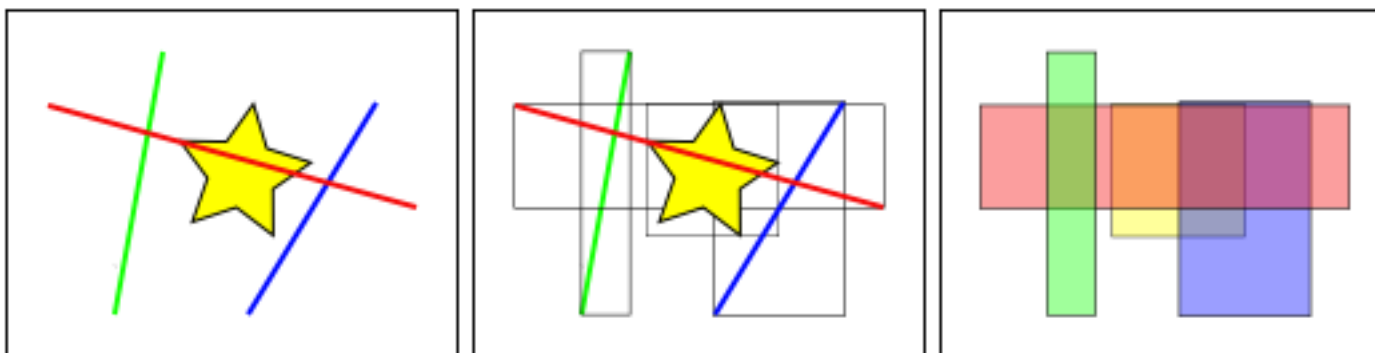


Índices Espaciales



Índices Espaciales

- ❑ Paradigma Filtrar-Refinar para procesar consultas
 - Filtrar: Encontrar un superconjunto del conjunto solución, más chico que el superconjunto total. Se utilizan operadores y tipos de datos aproximados. (OVERLAP y MBR)
 - Refinar: Encontrar conjunto solución. Se utilizan los operadores y tipos de datos exactos de la consulta.
 - Ej. Seleccionar la línea que cruza la estrella.



Índices Espaciales

- *Filtrar: Encuentro líneas L tales que $OVERLAP(MBR(E), MBR(L))$*
 - *Refinar: Entre los L encontrados, aplico $CROSSES(E, L)$ para llegar a la solución.*
- ❑ Ventaja de utilizar índices espaciales: En el primer paso, trabajo exclusivamente con geometrías del árbol (rectángulos) y una sola operación. Solamente en el segundo paso leo la geometría exacta del objeto geográfico y aplico la operación espacial exacta.
 - ❑ Algunas implementaciones de SDBMS utilizan Árboles de Búsqueda Generalizados (Generalized Search Trees, GiST) para implementar Árboles R. Ej. PostGIS.



OGC Geography Markup Language (GML)

- ❑ GML es una gramática escrita como XML Schema que permite almacenar y transportar información geo-espacial.
`xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"`
- ❑ Codificación estándar para modelos OGC (por ejemplo, para SFS).
- ❑ Posee un conjunto de esquemas (.xsd) para diferentes aplicaciones (llamados *application schemas*):
Objetos geográficos, Sistemas de Referencia Coordinados (CRS), Topologías, Información Temporal y Objetos Dinámicos, Unidades de Medida, Direcciones, Observaciones, Coberturas, etc.



OGC Geography Markup Language (GML)

□ Ejs. LineString y Polygon

```
<gml:LineString>
```

```
  <gml:posList> 45.256 -110.45 46.46 -109.48 43.84 -109.86 </gml:posList>
```

```
</gml:LineString>
```

```
<gml:Polygon>
```

```
  <gml:exterior>
```

```
    <gml:LinearRing>
```

```
      <gml:posList> 45.256 -110.45 46.46 -109.48 43.84 -109.86 45.256 -  
110.45 </gml:posList>
```

```
    </gml:LinearRing>
```

```
  </gml:exterior>
```

```
</gml:Polygon>
```



Implementaciones de SFS-SQL

- ❑ Libres:
 - PostgreSQL/PostGIS (desde: 2001)
 - MySQL Spatial Extensions (desde: 2003)
- ❑ Algunas comerciales:
 - Oracle Spatial (desde: 1998)
 - ESRI ArcSDE (desde: 1996)
 - SQL Server (desde: 2008)



Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Extiende el DBMS PostgreSQL.
- ❑ Incluye todos los tipos OGC SFS-SQL
- ❑ Agrega representación EWKT, EWKB que incluyen SRID en la geometría.
- ❑ Agrega algunas geometrías OGC SQL-MM (curvas con interpolación no lineal).
- ❑ Agrega tipo Geography: solo coordenadas geográficas. Ventaja: exactitud global (no hay proyecciones). Desventaja: Operaciones complejas (menos performance).
- ❑ Utiliza *Feature Tables* con GID y geometría (No hay *Geometry Tables*).
- ❑ Utiliza índices GiST (árboles de búsqueda generalizados)



Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Creación de una base de datos geográfica
 - Se utiliza el template *postgis* o se corren los script SQL *lwpostgis.sql* (crea tipos y funciones geo-espaciales) y *spatial_ref_sys.sql* (crea la tabla del mismo nombre).
- ❑ Creación de una capa geográfica a partir de un shapefile

- Se utiliza el programa shp2pgsql

Ej. shp2pgsql -s 32721 -l departam_shp departamento geodb > "departamento.sql"

En este caso se crea la tabla departamento de la base geodb a partir del shapefile departam_shp. Se especifica el SRID 32721 y la creación de índice espacial (sobre el campo geometry).



Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Creación de una capa geográfica desde cero
 - Se crea una tabla sin la columna geográfica
 - Se utiliza la función AddGeometryTable que crea la columna y la registra en la tabla Geometry_Columns.

```
CREATE TABLE calles (id integer, nombre varchar);
```

```
SELECT AddGeometryColumn( 'calles', 'the_geom', 32721 ,  
'LINESTRING', 2 );
```

```
CREATE TABLE hoteles (id integer, nombre varchar, lat real, lon  
real);
```

```
SELECT AddGeometryColumn( 'hoteles', 'the_geom', 32721 ,  
'POINT', 2 );
```



Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Insertar una geometría a partir de coordenadas
 - Creamos la geometría de cada registro a partir de los valores de los campos lat y lon de la tabla:

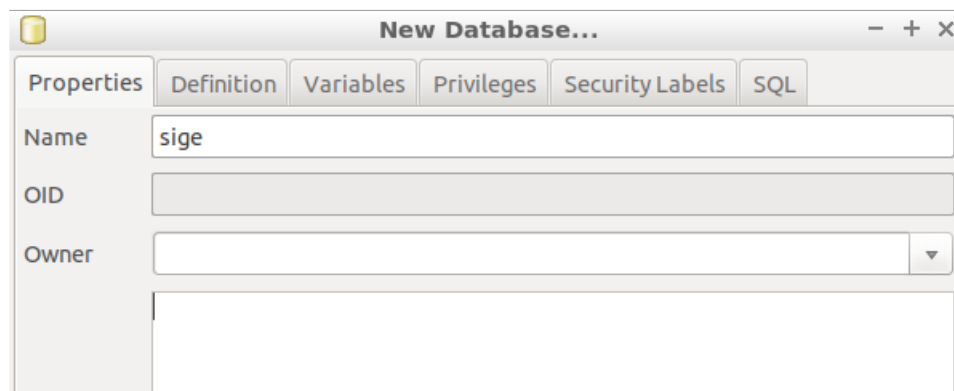
```
UPDATE hoteles  
SET the_geom = GeomFromText('POINT(' || lon || ' ' || lat ||  
' ',32721);
```
- ❑ Transformación a GML
 - Función AsGML(Geometry) permite obtener la representación en GML de un objeto geográfico.

```
SELECT AsGML(the_geom) from calles;
```



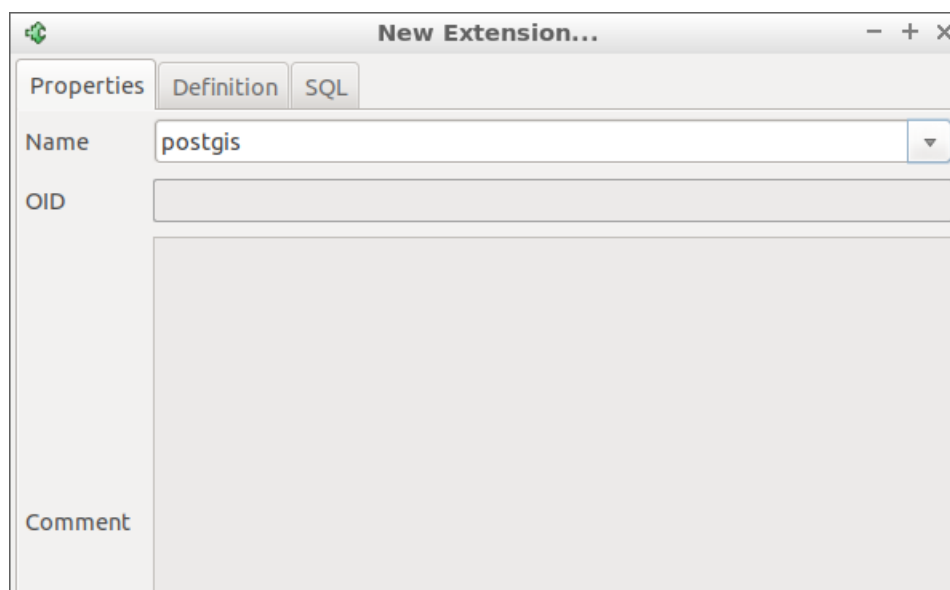
Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Crear una base de datos geográfica con **PgAdmin**
 - Clic derecho en **Databases** y seleccionar **New Database**. Le damos un nombre a la bd (*sige*) y aceptamos. Se crea una bd vacía.



Caso de estudio: PostGIS

- o Clic derecho en la bd *sige* y seleccionar **New Object | New extensión.** Seleccionamos de la lista la extensión **postgis** y aceptamos. En este punto la bd *sige* ya es una bd geográfica.

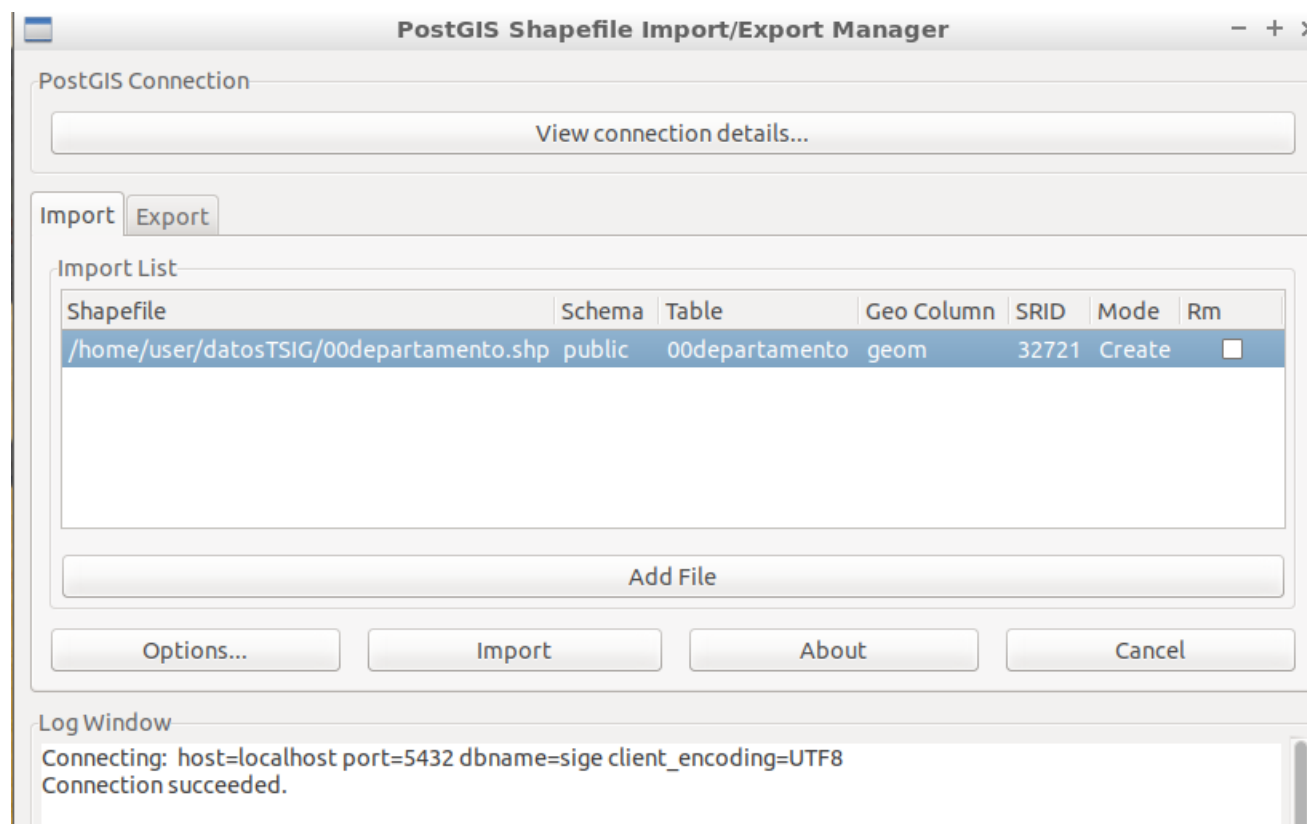


Caso de estudio: PostGIS

- ❑ Importar un *shapefile* con la UI de **shp2pgsql**
 - Ingresamos los parámetros de conexión a la bd (ej. host=localhost, port=5432, dbname=sige) en **View connection details**.
 - Agregamos uno o más *shapefiles* con **Add File**.
 - Modificamos algunos parámetros en la tabla donde se muestran los *shapefiles* (ej. SRID=32731)

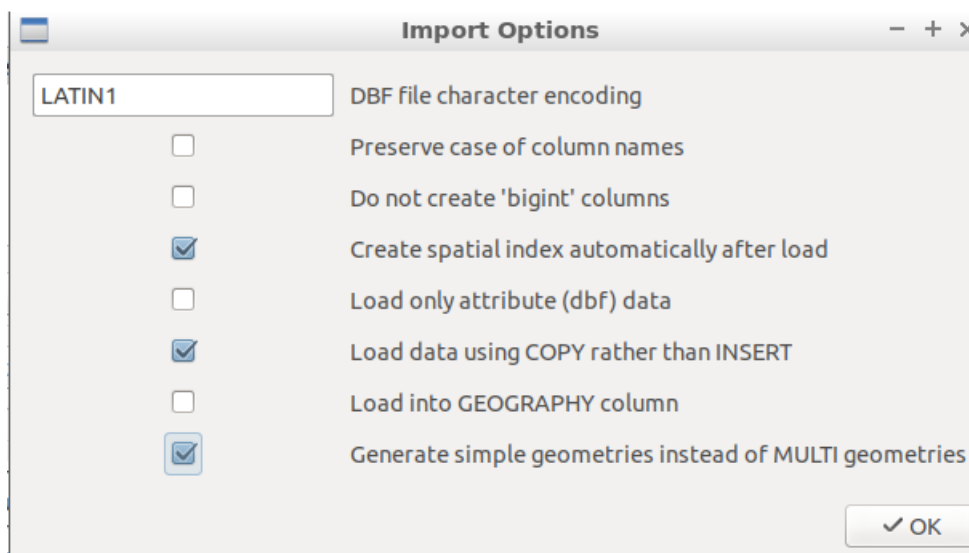


Caso de estudio: PostGIS



Caso de estudio: PostGIS

- En **Options**, modificamos los otros parámetros que sean necesarios. Por ejemplo, si el *encoding* del *dbf* del *shapefile* es *LATIN1*, lo escribimos en el campo de texto correspondiente. También se puede indicar que se generen geometrías simples (ej. POLYGON) en lugar de múltiples (ej. MULTIPOLYGON) si representan mejor las geometrías del *shapefile*.



Referencias

- ❑ Simple Features Standard

<http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>

- ❑ PostGIS

<http://postgis.net/docs/manual-1.5/>

