

PostGIS

Análisis Espacial Avanzado

Segunda edición

José Carlos Martínez Llario

PostGIS Análisis Espacial Avanzado

© 2012-2020 José Carlos Martínez Llario.

Todos los nombres propios de programas, sistemas operativos, empresas, etc. que aparecen en este libro son marcas registradas de sus respectivas compañías u organizaciones.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Edición 2. Revisión 4. <https://cartosig.webs.upv.es>

ISBN-13: 978-1727059359

ISBN-10: 1727059352

Prólogo

Versiones analizadas

En esta cuarta revisión de libro se ha adaptado el contenido a la versión 13 de PostgreSQL y la 3.1 de PostGIS.

A quién va dirigido este libro

Este libro está pensado para cubrir diferentes perfiles, desde un usuario que desea introducirse en el mundo de las bases de datos espaciales y PostGIS, hasta un perfil más experto que, aunque posee ya conocimientos de PostGIS necesita realizar análisis espaciales avanzados e incluso extender PostGIS con nuevas funcionalidades.

Está enfocado como un **manual de aprendizaje**, guiado con una gran cantidad de ejemplos prácticos con cartografía real, con el objetivo de que un usuario tradicional de SIG de escritorio pueda migrar a PostGIS de una forma no traumática.

Desde el ámbito de la producción cartográfica se describen los problemas de la precisión cartográfica de los datos y el análisis espacial, las validaciones topológicas, reglas de topología, etc. que posibilitan la utilización de PostGIS no únicamente como un gestor de bases de datos espacial sino como una herramienta de producción cartográfica.

Se ha tratado de realizar una publicación que sea útil tanto para un usuario experto en ciencias de la computación y bases de datos pero que desconoce cómo gestionar de forma apropiada la cartografía, como para un usuario experto en ciencias cartográficas pero que al ser reticente a dejar los SIG de escritorio está sacrificando el conocimiento de unas funcionalidades espaciales increíbles.

Conocimientos previos

Es aconsejable disponer de unos conocimientos previos a nivel de usuario de Sistemas de Información Geográfica, aunque no son necesarios para la comprensión del texto sí que son aconsejables para la lectura fluida del mismo.

Si el lector no posee conocimientos sobre el lenguaje SQL o éstos son muy superficiales es necesario que tras leer el capítulo A introductorio y antes de pasar al capítulo B estudie con detalle el apartado H.2 sobre SQL.

Estructura

PostGIS: Análisis espacial avanzado consta de ocho capítulos. Tras un primer capítulo A introductorio se recomienda al lector estudiar de forma completa los capítulos B y C para pasar a ser más selectivo con el capítulo D según el problema a resolver.

El estudio del capítulo E de programación no es necesario para comprender el resto de la publicación y se puede dejar para más adelante (saltando directamente al capítulo F), aunque es recomendable estudiarlo ya que abre un mundo de posibilidades.

El capítulo F aporta interesantes propuestas para la mejora y aprendizaje de nuevos conceptos en PostGIS, aunque los apartados referentes a datos *OSM* y *pgrouting* se pueden obviar si el usuario no está interesado en dichas temáticas.

El capítulo G, sobre análisis *raster* y topología persistente puede ser consultado por el usuario únicamente si desea aprender dichas funcionalidades.

Por último, el capítulo H de anexos incorpora una guía de SQL (imprescindible para usuarios nóveles en bases de datos), algunas notas de administración y las soluciones a los problemas propuestos.

A Introducción

Se inicia la publicación con este breve capítulo donde se estudia la normativa relacionada con PostGIS y el modelo de geometrías seguido. Se aborda la instalación y se introducen los clientes SQL *pgadmin* y *psql*.

B Núcleo

En este capítulo se describe la parte fundamental de la funcionalidad PostGIS y del modelo de geometría utilizado siguiendo los estándares del OGC y normas ISO. Se estudian las relaciones espaciales con detalle, diferentes programas de utilidad para importar exportar datos PostGIS, indexación espacial, tablas y vistas espaciales, etc.

C Análisis espacial

Esta parte del libro tiene como objetivo capacitar al lector para la realización de análisis espaciales con PostGIS. Tras estudiar los operadores espaciales, éstos se combinan de forma adecuada para conseguir efectuar las típicas operaciones de análisis espacial vectorial de los SIG de escritorio, como superposición de capas, extracción, proximidad, disolución, concatenaciones espaciales, transformación, conversión, referencia lineal, etc.

El aprendizaje de este capítulo es fundamental para que el lector vislumbre la potencia de PostGIS y la libertad que añade en el análisis espacial respecto a cualquier SIG de escritorio. Aunque complicado, especialmente para un usuario no experto en ciencias de la computación y bases de datos, mediante la detallada explicación cualquier lector será capaz a su finalización de realizar complejas consultas espaciales.

D Validación cartográfica

Este capítulo introduce ya conceptos más avanzados relacionados con la gestión cartográfica de los datos. Cuestiones como la precisión cartográfica y el uso de tolerancias o la validación y corrección de geometrías son muy importantes para tratar de forma adecuada la información cartográfica y que a menudo se pasan por alto especialmente por usuarios no expertos en producción cartográfica.

El diseño y la aplicación de reglas de topología entre geometrías de una o varias capas se utilizará para detectar y corregir errores cartográficos.

También se analizan otros aspectos como la optimización del análisis espacial mediante la realización de un buen diseño previo y la aplicación de técnicas rejilla, el análisis espacial sobre el esferoide (problema directo e inverso de la geodesia) y los cambios de sistema de referencia con diferente *datum*.

E Programación

Aunque no es necesario conocer como programar en PostGIS, muchos usuarios pueden tener dicha inquietud. En este apartado se describe como crear nuevas funciones por el usuario para extender la funcionalidad espacial de PostGIS.

El usuario se sorprenderá por lo sencillo que es aprender y crear nuevos procedimientos almacenados utilizando *PL/PgSQL*. Él mismo se dará cuenta del mundo de posibilidades que ofrece este apartado, especialmente aplicado a la gestión de los modelos de datos.

Mediante la creación de disparadores (*triggers*) junto con las funciones *PL/pgSQL* personalizadas se puede dotar al modelo de datos cartográfico de un comportamiento dinámico e introducir cierta lógica de negocio dentro de la propia base de datos.

F Miscelánea espacial

Este apartado aglutina parte del resto de la funcionalidad de PostGIS no vista en los capítulos anteriores y que generalmente se referencia desde otros capítulos previos como el análisis espacial 3D y las geometrías curvas.

Especialmente interesante son quizás las funciones ventanas, que aún son desconocidas por algunos usuarios de PostGIS y que facilitan enormemente cierto tipo de consultas espaciales. La dependencia funcional, importación de datos OSM y análisis de rutas con *pgrouting* son otros temas tratados aquí.

El capítulo se completa con las particiones declarativas y las consultas paralelas que se pueden utilizar para incrementar el rendimiento de la base de datos espacial.

G Extensiones

En PostGIS 2.0 se introdujeron dos grandes bloques de funcionalidades en la distribución oficial: el análisis *raster* y un modelo de topología persistente vectorial.

Se estudia con detalle la gestión *raster* y las operaciones de análisis típicas *raster* (reclasificaciones, mapas derivados de modelos digitales de elevación, álgebra de mapas, etc.) y mixtas vectorial-*raster*.

Por otra parte, la topología persistente aporta un nuevo modelo de estructuración de la información vectorial especialmente interesante para el diseño e implementación de modelos cartográficos complejos.

H Anexos

Los anexos están divididos en tres bloques: Un primer bloque sobre administración de PostgreSQL donde se introducen temas como la utilización de variables del sistema, métodos de autenticación, localización, gestión de usuarios, etc.

Un segundo bloque sobre el lenguaje SQL, donde en apenas 30 páginas se hace un recorrido imprescindible para los usuarios que no conozcan este lenguaje y que es necesario estudiar con detalle antes de adentrarse en el mundo PostGIS. Un tercer bloque con las soluciones de todos los problemas propuestos a lo largo de la publicación cierra el capítulo.

Datos publicación

Desde el blog oficial del autor¹, se pueden **descargar los datos necesarios** (cartografía, código SQL, etc.) para la realización de todos los ejercicios del libro.

Convenciones tipográficas

Se utiliza tipografía cursiva en los siguientes casos:

- Nombres de tablas, columnas y métodos PostGIS.
- Palabras en inglés generalmente provenientes del mundo informático como *prompt*, *bugs*, *raster*, *online*, etc.
- Palabras no aceptadas por la Real Academia de la Lengua, pero usadas comúnmente en el ámbito de la geometría computacional o informático: *renderizado*, *modificación*, *cardinalidad*, etc. Aunque son palabras no admitidas se ha decidido mantenerlas por su carácter aclaratorio.

A lo largo de la publicación se insta al lector a ejecutar comandos o sentencias SQL:

- Los ejemplos de sentencias SQL se encabezan por el nombre de la base de datos seguido del símbolo '#' como aparece en el *prompt* del cliente *psql* de PostgreSQL:

```
s1=# create table viarial (gid serial primary key, tipo integer,
                             geom geometry (multipolygon, 25830) );
```

- Los ejemplos de comandos PostgreSQL, PostGIS o cualquier otra utilidad lanzados desde una terminal o símbolo del sistema, se encabezan con el texto: '*consola>*':

```
consola> psql -U postgres -f ruta_a_postgis.sql -d s0
```

¹ <https://cartosig.webs.upv.es>

Acerca del autor

José Carlos Martínez Llario es profesor en la Universidad Politécnica de Valencia desde hace veinte años donde imparte asignaturas en sistemas de información geográfica, producción cartográfica y bases de datos espaciales. Obtuvo el Doctorado en Geodesia y Cartografía por dicha Universidad en el año 2003, y sus líneas de investigación de los últimos años están relacionadas con las bases de datos espaciales, los modelos de datos cartográficos y las infraestructuras de datos espaciales.

Uno de sus últimos trabajos ha consistido en el diseño y desarrollo del proyecto *Jaspa*, software de código abierto que es una extensión espacial para bases de datos relacionales con una funcionalidad similar a PostGIS y un sistema de reglas de topología. Dentro del mundo académico presenta una actividad investigadora continuada donde ha sido investigador principal de proyectos de investigación fundamental del Ministerio de Economía y Competitividad de España y realizado convenios de I+D con empresas y otras instituciones públicas.

Ficha pública del autor en <https://www.upv.es/ficha-personal/jomarlla>

Quiero mostrar mi agradecimiento a las comunidades de usuarios y a las instituciones que apuestan por el software libre, ya que esta publicación no podría haberse llevado a cabo sin su esfuerzo. En especial, a todos los miembros y colaboradores del equipo de PostGIS que de forma desinteresada han contestado a todas mis dudas siempre de forma amable y eficaz.

Cursos online de PostGIS certificados por la UPV

El autor de esta publicación junto con otros miembros del grupo CartoSiG UPV imparte unos cursos online de PostGIS, IDEs y SIG certificados por el Centro de Formación Permanente de la Universitat Politècnica de València.

Se trata de unos cursos completos, de calidad ampliamente contrastada y más de cien horas reales de aprendizaje que se pueden realizar completamente a distancia y su elaboración está basada en la experiencia de docencia presencial oficial de universidad e investigación del autor de esta publicación.

Son cursos que han realizado miembros de las principales empresas u organizaciones públicas relacionados con la cartografía a nivel nacional y gozan de una muy buena reputación.

Esta publicación forma un material de apoyo o consulta de PostGIS, pero para un aprendizaje desde el inicio, práctico, con casos reales, asentando conocimientos y siguiendo una metodología docente ya probada se aconseja al lector a realizar el curso online de PostGIS.

Más información en: <https://cartosig.webs.upv.es/cursos>

Contenido

| | | |
|----------|--|-----------|
| A | Introducción | 25 |
| 1. | PRIMEROS PASOS..... | 27 |
| 1.1. | <i>Normativa relacionada</i> | 28 |
| 1.2. | <i>Instalación</i> | 29 |
| | PostgreSQL | 29 |
| | Comprobación del servicio | 31 |
| | Path del sistema..... | 31 |
| | Instalación de PostGIS | 32 |
| 1.3. | <i>Clientes SQL</i> | 33 |
| | Clientes de texto: <i>psql</i> | 33 |
| | Codificación terminal (MS Windows) | 34 |
| | Conexión al servidor | 34 |
| | Clientes gráficos: <i>pgadmin</i> | 36 |
| 1.4. | <i>Tipos básicos de datos</i> | 37 |
| 1.5. | <i>Notas antes de empezar</i> | 39 |
| | Creación de una nueva base de datos | 39 |
| | Cambio de contraseña | 39 |
| | Conocimientos previos..... | 39 |
| 2. | CARTOGRAFÍA Y CÓDIGO FUENTE DE LOS EJEMPLOS | 40 |
| | | |
| B | Núcleo | 41 |
| 1. | LA BASE DE DATOS ESPACIAL | 43 |
| 1.1. | <i>Creación base de datos espacial sin utilizar extensions</i> | 43 |
| | Módulo principal y vectorial | 43 |
| | Módulo de <i>raster</i> | 45 |
| | Módulo de topología persistente | 45 |
| | Otros módulos | 45 |
| | Nota sobre los ficheros SQL de PostGIS | 45 |
| 1.2. | <i>Creación base de datos espacial utilizando extensions</i> | 46 |
| 1.3. | <i>Comprobación de la base de datos espacial</i> | 47 |
| 1.4. | <i>Funciones extra y plantillas</i> | 48 |
| | Creación de una plantilla espacial | 48 |
| 1.5. | <i>Metadatos sobre los CRS</i> | 49 |
| 1.6. | <i>Creación y borrado de una tabla espacial</i> | 50 |
| | Utilizando <i>typmod</i> | 50 |
| | Método 1: Forma rápida..... | 51 |
| | Método 2: Forma lenta..... | 52 |
| | Utilizando restricciones de tipo <i>check</i> | 53 |
| 1.7. | <i>Metadatos de las columnas de geometría</i> | 54 |
| 2. | TIPOS DE GEOMETRÍA..... | 55 |
| | Vértices con Z, M o ZM..... | 56 |

| | | |
|------|---|-----|
| 2.1. | <i>Creación e inserción de geometrías</i> | 56 |
| | Conversiones a otros formatos | 59 |
| | Recordatorio de funciones PostGIS | 60 |
| | Conversiones automáticas al tipo <i>geometry</i> | 60 |
| | Relajación de las restricciones de una columna de geometría | 60 |
| 2.2. | <i>Importación y exportación de cartografía</i> | 61 |
| | Importación de un fichero <i>shape</i> con las utilidades de PostGIS..... | 61 |
| | Trabajo con esquemas: <i>search_path</i> | 63 |
| | Problemas de codificación de los ficheros <i>shape</i> | 64 |
| | Versión gráfica del importador <i>shp2pgsql</i> | 65 |
| | Exportación a un fichero <i>shape</i> con las utilidades de PostGIS..... | 65 |
| | Importadores / exportadores: GDAL/OGR | 66 |
| | Comando <i>ogrinfo</i> | 67 |
| | Comando <i>ogr2ogr</i> | 67 |
| | Problemas de conversión entre juegos de caracteres..... | 69 |
| | Otros importadores / exportadores | 70 |
| | Conversión de datos OSM a PostGIS | 70 |
| | Utilización de SIG de escritorio | 70 |
| 3. | EJEMPLOS DEL CAPÍTULO | 71 |
| 3.1. | <i>Datos cartográficos utilizados en los ejemplos</i> | 71 |
| 3.2. | <i>Visualización y edición gráfica de capas PostGIS</i> | 71 |
| | Conclusiones | 73 |
| 4. | MODELO <i>SIMPLE FEATURES</i> O FENÓMENOS SIMPLES | 77 |
| 4.1. | <i>Esquema de herencia de las geometrías</i> | 77 |
| | <i>JTS Builder</i> | 78 |
| 4.2. | <i>Dimensión de una geometría</i> | 80 |
| 4.3. | <i>Interior, contorno y exterior de las geometrías</i> | 80 |
| | Contorno de una <i>MultiCurve</i> | 82 |
| 4.4. | <i>Definición de las geometrías básicas</i> | 82 |
| | Subconsultas en PostGIS..... | 83 |
| | Subselect | 83 |
| | Common Table Expressions (CTE)..... | 84 |
| | <i>ST_Point</i> y <i>ST_Multipoint</i> | 85 |
| | <i>ST_Curve</i> <- <i>ST_Linestring</i> | 85 |
| | <i>ST_MultiCurve</i> <- <i>ST_MultiLinestring</i> | 86 |
| | <i>ST_Surface</i> <- <i>ST_CurvePolygon</i> <- <i>ST_Polygon</i> | 87 |
| | <i>ST_MultiSurface: ST_MultiPolygon</i> | 89 |
| 5. | RELACIONES ESPACIALES | 92 |
| 5.1. | <i>Matriz DE-9IM</i> | 92 |
| | Uso de patrones DE-9IM personalizados | 93 |
| 5.2. | <i>Predicados espaciales</i> | 93 |
| | <i>ST_Disjoint</i> , <i>ST_Intersects</i> | 94 |
| | Resumen de los predicados | 95 |
| | <i>ST_Touches</i> | 96 |
| | <i>ST_Crosses</i> | 97 |
| | <i>ST_Overlaps</i> | 97 |
| | <i>ST_Equals</i> | 98 |
| | Igualdad no topológica..... | 98 |
| | Operador = | 99 |
| | <i>ST_Covers</i> , <i>ST_CoveredBy</i> | 101 |
| 5.3. | <i>Ejemplos de predicados espaciales</i> | 102 |

| | | |
|------|--|-----|
| 6. | INDEXACIÓN ESPACIAL..... | 106 |
| 6.1. | Creación y utilización de índices espaciales..... | 106 |
| 6.2. | Otros operadores GiST sobre cajas y KNN | 108 |
| | Otros operadores de comparación de cajas..... | 108 |
| | Operadores que utilizan KNN | 108 |
| 6.3. | Planificador | 109 |
| | Modificación del plan de ejecución | 110 |
| | Visualización gráfica del plan de ejecución | 110 |
| 6.4. | Predicados espaciales con el operador && embebido | 111 |
| 6.5. | Indexación espacial 3D..... | 112 |
| 6.6. | Índices BRIN..... | 113 |
| 7. | CREACIÓN DE TABLAS Y VISTAS PARA ALMACENAR CONSULTAS ESPACIALES..... | 114 |
| 7.1. | Almacenar resultados en tablas espaciales..... | 114 |
| | Procedimiento riguroso | 114 |
| | Procedimiento práctico..... | 115 |
| | Uso de CAST para definir el tipo de los campos de la tabla | 115 |
| | Ejemplos..... | 115 |
| | Copia de la estructura de una tabla..... | 116 |
| 7.2. | Utilización de vistas espaciales | 117 |
| | Creación de reglas para actualizar vistas..... | 118 |
| | Capa de eventos..... | 120 |
| | Vistas como control dinámico de la calidad cartográfica | 121 |
| C | <i>Análisis espacial</i> | 123 |
| 1. | INTRODUCCIÓN | 125 |
| | Utilización de tablas en los ejemplos | 125 |
| 2. | OPERADORES ESPACIALES..... | 126 |
| 2.1. | Ejemplos gráficos..... | 128 |
| 2.2. | Tipos de geometrías devueltas | 130 |
| 2.3. | Homogeneización de las geometrías devueltas..... | 131 |
| | Utilización de <i>STX Extract</i> | 133 |
| 3. | OPERACIONES DE SUPERPOSICIÓN (<i>OVERLAY</i>)..... | 135 |
| 3.1. | Intersección (<i>Intersect</i>) | 135 |
| | Entrada: polígonos, salida: líneas | 136 |
| | Entrada: polígonos y líneas, salida: líneas..... | 136 |
| | Otros casos | 136 |
| 3.2. | Borrado (<i>Erase</i>)..... | 137 |
| | Polígonos A que son borrados parcial o totalmente por polígonos B..... | 138 |
| | Polígonos de A que no presentan ningún solape con B..... | 138 |
| | y se conservan íntegros | 138 |
| | Borrado en un solo paso | 139 |
| 3.3. | Superposición (<i>Overlay</i>) | 139 |
| 3.4. | Identidad (<i>Identity</i>) | 141 |
| 3.5. | Actualización (<i>Update</i>) | 142 |
| 4. | OPERACIONES DE EXTRACCIÓN | 143 |
| 4.1. | Recorte (<i>Clip</i>)..... | 143 |
| 4.2. | Selección (<i>Select</i>)..... | 144 |
| 5. | PROXIMIDAD..... | 145 |
| 5.1. | Área de influencia (<i>Buffer</i>)..... | 145 |

| | | |
|------|---|-----|
| 5.2. | <i>Selecciones según distancias</i> | 147 |
| | <i>ST_DWithin</i> | 148 |
| 5.3. | <i>Tabla de proximidad (Near table)</i> | 149 |
| 5.4. | <i>Vecinos más próximos a una única geometría</i> | 149 |
| 5.5. | <i>Vecinos más próximos a una capa (subconsulta anidada)</i> | 150 |
| | Mediante <i>subselects</i> anidados | 151 |
| | Mediante <i>subselect</i> y agregado de mínima distancia con identificador..... | 152 |
| 5.6. | <i>Vecinos más próximos a una capa (subconsultas correladas)</i> | 153 |
| | Obtener los n vecinos más próximos..... | 155 |
| 5.7. | <i>Vecinos más próximos a una capa (consultas laterales)</i> | 156 |
| 5.8. | <i>Vecinos más próximos a una capa (funciones ventana)</i> | 157 |
| 5.9. | <i>Vecinos más próximos a una capa (operadores KNN)</i> | 158 |
| 6. | GENERALES | 161 |
| 6.1. | <i>Concatenación espacial (Spatial join)</i> | 161 |
| | Cardinalidad ríos (1) corrientes (1) | 161 |
| | Utilización de Update..... | 162 |
| | Cardinalidad ríos (1) corrientes (0..n) | 162 |
| | Update con subconsultas correladas..... | 164 |
| | Cardinalidad ríos (1) corrientes (0) | 164 |
| | Cardinalidad ríos (0) corrientes (1) | 165 |
| 6.2. | <i>Adición (Append/Merge)</i> | 166 |
| 7. | GENERALIZACIÓN | 167 |
| 7.1. | <i>Disolución (Dissolve)</i> | 167 |
| | <i>ST_Collect</i> y <i>ST_Union</i> | 169 |
| | <i>ST_UnaryUnion</i> | 170 |
| 7.2. | <i>Simplificación de geometrías</i> | 170 |
| 8. | TRANSFORMACIÓN Y EDICIÓN DE COORDENADAS..... | 174 |
| 8.1. | <i>Edición</i> | 174 |
| 8.2. | <i>Transformaciones</i> | 175 |
| 8.3. | <i>Proyecciones</i> | 176 |
| | Cambio de CRS de una capa | 177 |
| | Reproyección de una capa..... | 179 |
| 9. | CONVERSIONES..... | 180 |
| 9.1. | <i>Multigeometrías a geometrías simples</i> | 180 |
| | Funciones ‘ <i>set returning</i> ’ | 180 |
| | <i>ST_Dump</i> | 181 |
| 9.2. | <i>Conversión a segmentos lineales</i> | 182 |
| 9.3. | <i>Conversión a entidades puntuales</i> | 183 |
| | Desde entidades lineales..... | 183 |
| | Desde entidades poligonales | 184 |
| 9.4. | <i>Conversión a entidades lineales</i> | 185 |
| | Desde entidades poligonales | 185 |
| | Desde entidades puntuales | 185 |
| 9.5. | <i>Conversión a entidades superficiales</i> | 186 |
| | Modificación de geometrías lineales | 187 |
| 9.6. | <i>Cambio de dimensión de las coordenadas</i> | 189 |
| 10. | REFERENCIA LINEAL (LRS)..... | 190 |
| | Referencia lineal: fracción de distancia como medida | 190 |
| | Referencia lineal: coordenadas M o Z como medida | 191 |
| | Pegando líneas..... | 192 |
| | Inserción de vértices en los puntos más cercanos..... | 193 |

| | | |
|------|--|-----|
| D | Validación cartográfica..... | 195 |
| 1. | OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL | 197 |
| 1.1. | <i>Diseño del análisis espacial</i> | 197 |
| 1.2. | <i>Segmentación de capas mediante rejilla</i> | 198 |
| | Disoluciones..... | 200 |
| | Borrado | 203 |
| | Recorte | 205 |
| | Intersección | 205 |
| | Efectos no deseados del análisis con rejilla..... | 206 |
| 1.3. | <i>TopologyException</i> | 207 |
| | Mejoras JTS OverlayNG..... | 207 |
| 2. | PROYECCIONES Y TRANSFORMACIONES ENTRE <i>DATUM</i> | 208 |
| 2.1. | <i>Caso práctico: de ED50 a ETRS89</i> | 209 |
| | Modelo de 7 parámetros | 210 |
| | Modelo de rejilla NTV2..... | 211 |
| | Reiniciación de los parámetros..... | 212 |
| | Configuración localización biblioteca..... | 212 |
| 3. | TOLERANCIA EN EL ANÁLISIS ESPACIAL | 213 |
| 3.1. | <i>Precisión Cartográfica y la tolerancia</i> | 214 |
| 3.2. | <i>Destrucción de la topología de una cartografía</i> | 216 |
| | Geometrías sin <i>nodificar</i> en los puntos compartidos..... | 218 |
| 3.3. | <i>Ajuste de vértices y segmentos entre geometrías</i> | 218 |
| 4. | VALIDACIÓN DE LAS GEOMETRÍAS | 220 |
| 4.1. | <i>Modelo ESRI contra modelo OGC/PostGIS</i> | 221 |
| 4.2. | <i>Comandos que generan polígonos no válidos</i> | 222 |
| 4.3. | <i>Corrección de geometrías no válidas</i> | 222 |
| 5. | ANÁLISIS ESPACIAL SOBRE EL ESFEROIDE..... | 225 |
| 5.1. | <i>Medida de distancias sobre el esferoide</i> | 226 |
| 5.2. | <i>Tipo geography</i> | 227 |
| 5.3. | <i>Problema directo e inverso de la Geodesia con PostGIS</i> | 230 |
| 5.4. | <i>Creación de tablas espaciales</i> | 231 |
| 5.5. | <i>Comparación de rendimiento geography-geometry</i> | 232 |
| 5.6. | <i>Ventajas e inconvenientes de usar el tipo geography</i> | 233 |
| 5.7. | <i>Análisis espacial directo sobre el esferoide</i> | 234 |
| 6. | VALIDACIÓN CARTOGRÁFICA CON REGLAS DE TOPOLOGÍA | 235 |
| 6.1. | <i>Validación independiente</i> | 235 |
| | Geometrías no válidas según el OGC..... | 236 |
| | Geometrías vacías o nulas | 236 |
| | Auto-intersecciones..... | 236 |
| | Sentido de los anillos | 238 |
| | Vértices repetidos..... | 238 |
| | Geometrías duplicadas | 238 |
| | Otros..... | 239 |
| 6.2. | <i>Validación conjunta (una capa)</i> | 240 |
| | <i>Must not overlap</i> | 241 |
| | <i>Must not have gaps</i> | 242 |
| | <i>Must not have dangles</i> | 244 |
| | Distancia a la geometría más cercana..... | 245 |
| | Solución en un único paso con consultas laterales | 246 |
| | Falta de continuidad de las geometrías..... | 246 |
| | <i>Must not have seudos</i> | 247 |

| | |
|--|------------|
| 6.3. Validación conjunta (dos capas)..... | 248 |
| <i>Must contain one point</i> | 248 |
| <i>Must be covered by layer</i> | 249 |
| <i>Must be cross connected</i> | 251 |
| 6.4. JaspA (JAva SPAtial)..... | 253 |
| 6.5. Definición algebraica de las reglas de topología..... | 255 |
| 6.6. Control de reglas de topología mediante disparadores..... | 258 |
| | |
| E Programación..... | 259 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 261 |
| 1.1. Modelos cartográficos..... | 263 |
| 2. SCRIPTS PL/PgSQL EN POSTGIS..... | 264 |
| 2.1. Introducción al lenguaje..... | 264 |
| Instalación del lenguaje..... | 264 |
| Estructura de un método PL/PgSQL..... | 264 |
| Declaración de variables y asignación de variables..... | 265 |
| Condicionales..... | 266 |
| Llamadas a otras funciones..... | 266 |
| Opción <i>Strict</i> | 266 |
| Reutilización de los resultados de una función..... | 267 |
| Borrado de una función..... | 267 |
| Formas alternativas de la firma de un método..... | 268 |
| Devolviendo tipos compuestos..... | 269 |
| <i>Arrays</i> | 269 |
| Bucles..... | 270 |
| Notificación de mensajes y Excepciones..... | 271 |
| Devolviendo tablas con una columna..... | 271 |
| Devolviendo tablas con varias columnas..... | 272 |
| Número de argumentos variable: <i>VariaDic</i> | 273 |
| Ejercicios espaciales complementarios..... | 273 |
| 2.2. Trabajando con sentencias SQL..... | 275 |
| Sentencias directas..... | 275 |
| Almacenar el resultado de una consulta simple..... | 275 |
| Estado de la consulta..... | 276 |
| Sentencias SQL con parámetros..... | 276 |
| Iterando sobre los resultados..... | 277 |
| Ejercicios espaciales complementarios..... | 278 |
| Sentencias creadas de forma dinámica..... | 279 |
| Ejecución dinámica de comandos..... | 279 |
| Utilización de comillas simples y dobles..... | 280 |
| Parámetros con la cláusula <i>Using</i> | 281 |
| Iterando sobre los resultados (<i>Execute</i>)..... | 282 |
| Planificación de la ejecución del comando..... | 282 |
| 2.3. Funciones disparador..... | 283 |
| Función disparadora en PL/PgSQL..... | 283 |
| Creación del disparador SQL..... | 284 |
| Resumen y principales características de los disparadores..... | 286 |
| Ejercicios espaciales complementarios..... | 287 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.4. | <i>Estructura Arco/Nodo mediante disparadores</i> | 294 |
| | Inserción..... | 295 |
| | Borrado | 296 |
| | Actualización | 297 |
| | Comprobación..... | 299 |
| | Creación de nodos en las intersecciones | 300 |
| 2.5. | <i>Funciones agregadas</i> | 304 |
| 2.6. | <i>Otras funciones</i> | 306 |
| F | <i>Miscelánea espacial</i>..... | 307 |
| 1. | <i>ARRAYS, AGREGADOS Y SET RETURNING DE GEOMETRÍAS</i> | 309 |
| 1.1. | <i>Funciones returning set de geometrías</i> | 310 |
| 2. | TIPOS COMPUESTOS..... | 311 |
| 2.1. | <i>Tipos compuestos en PostGIS</i> | 312 |
| 3. | COMPORTAMIENTO MULTI-GEOMETRÍAS | 313 |
| 4. | DEPENDENCIA FUNCIONAL (<i>GROUP BY</i>) | 315 |
| 5. | FUNCIONES DE VENTANA ESPACIALES | 317 |
| 5.1. | <i>Funciones ventana de PostGIS</i> | 321 |
| 6. | COPIA DE SEGURIDAD DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL | 322 |
| | <i>Otros métodos</i> | 323 |
| 6.1. | <i>Backup y migración de una base de datos espacial</i> | 324 |
| 6.2. | <i>Instalación de PostGIS en un esquema personalizado</i> | 325 |
| | Mediante extensiones: Instalación en un esquema diferente..... | 325 |
| | Mediante extensiones: Mover instalación a un esquema diferente..... | 326 |
| | Sin el uso de extensiones: Instalación en un esquema diferente | 326 |
| 7. | OPERACIONES 3D | 327 |
| 7.1. | <i>Tipos de funciones espaciales 3D</i> | 327 |
| 7.2. | <i>Cálculos con SFCGAL</i> | 329 |
| 7.3. | <i>Nuevas geometrías superficiales</i> | 331 |
| | Ejemplos de superficies..... | 332 |
| | Visualización de geometrías superficiales..... | 333 |
| | Exportación a X3D y visualización web | 334 |
| 8. | GEOMETRÍAS CURVAS | 335 |
| 8.1. | <i>Geometrías curvas de tipo multi</i> | 337 |
| 8.2. | <i>Conversión entre geometrías lineales y curvas</i> | 337 |
| 9. | TIPOS DE DATOS DE CAJAS..... | 339 |
| 10. | IMPORTACIÓN DE DATOS OSM..... | 340 |
| | <i>Osm2Pgsql</i> | 341 |
| | Instalación del tipo hstore | 341 |
| | Importación..... | 342 |
| | Sistema de referencia usado en OSM..... | 343 |
| | Consultas utilizando etiquetas | 344 |
| 10.1. | <i>Osmosis</i> | 345 |
| 11. | RUTAS MEDIANTE <i>PGROUTING</i> | 347 |
| | Instalación | 347 |
| | Caminos más cortos | 348 |
| | Topología de red | 349 |
| | Carga cartografía y topología | 349 |
| | Grafos directos, indirectos y costes | 351 |

| | |
|--|------------|
| Problema del camino más corto | 351 |
| Dijkstra..... | 351 |
| A Star | 355 |
| Turn Restricted Shortest Path..... | 356 |
| Utilización de datos OSM | 357 |
| Osm2pgrouting | 358 |
| Utilización de cartografía sin estructura de red | 362 |
| 12. CONTROL DE VERSIONES EN POSTGIS..... | 366 |
| 12.1. Ejercicio práctico de control de versiones | 367 |
| Preparación de los datos y configuración del versionado..... | 367 |
| Ejercicio de edición concurrente con versionado | 368 |
| 13. PARTICIONES DE DATOS | 372 |
| 13.1. Herencia de tablas | 372 |
| Limitaciones de la herencia de tablas | 377 |
| 13.2. Particiones declarativas | 377 |
| 13.3. Tablespace y particiones de datos..... | 380 |
| 14. CONSULTAS ESPACIALES PARALELAS | 381 |
| 14.1. Otros parámetros de configuración | 386 |
| | |
| G Extensiones..... | 387 |
| 1. RASTER..... | 389 |
| 1.1. Introducción..... | 389 |
| 1.2. Tipo raster..... | 389 |
| Creación de un objeto <i>raster</i> vacío..... | 390 |
| Propiedades de un raster..... | 391 |
| Adición de bandas al <i>raster</i> | 393 |
| Propiedades de una banda | 394 |
| Raster con varias bandas | 395 |
| Asignación de valores a las celdas | 396 |
| Estadísticas de las bandas..... | 397 |
| Coordenadas píxel y coordenadas terreno | 398 |
| Lectura de los valores de las celdas..... | 399 |
| Vectorización | 399 |
| Rasterización de geometrías..... | 400 |
| Exportación a otros formatos <i>raster</i> | 403 |
| 1.3. Capas raster..... | 405 |
| Importación de ficheros <i>raster</i> | 406 |
| Visualización..... | 408 |
| Alineamiento y teselado regular..... | 409 |
| Alignment | 409 |
| Regular blocking..... | 410 |
| Restricciones de la capa <i>raster</i> | 410 |
| Eliminación y creación de restricciones | 412 |
| Restricciones de las overviews..... | 413 |
| Vistas de metadatos..... | 414 |
| Indexación espacial | 414 |
| Exportación de capas <i>raster</i> con <i>GDAL</i> | 415 |

| | |
|--|-----|
| 1.4. <i>Análisis de capas teseladas</i> | 416 |
| Estadísticas..... | 416 |
| Histogramas..... | 417 |
| Reclasificación..... | 418 |
| Reclasificación de múltiples bandas..... | 420 |
| Apoyo de geometrías sobre un MDE..... | 420 |
| Vectorización..... | 421 |
| Reescalado..... | 422 |
| Álgebra de mapas (una capa)..... | 424 |
| Funciones personalizadas..... | 425 |
| Álgebra de mapas (dos capas)..... | 427 |
| Igual alineamiento y teselado..... | 428 |
| Diferente teselado..... | 431 |
| Unión de dos objetos raster..... | 433 |
| Diferente alineamiento: remuestreo..... | 433 |
| Funciones de vecindad..... | 435 |
| Agrupación de teselas previa..... | 436 |
| Comandos con funciones de vecindad predefinidas..... | 439 |
| Rasterización..... | 440 |
| Análisis estadístico zonal..... | 442 |
| Intersección..... | 443 |
| Intersección vectorial-raster..... | 443 |
| Intersección raster-raster..... | 444 |
| 2. TOPOLOGÍA PERSISTENTE..... | 447 |
| 2.1. <i>Introducción</i> | 447 |
| Modelo espaguetti..... | 447 |
| Modelo topología SQL/MM..... | 448 |
| 2.2. <i>Creación de topología</i> | 449 |
| Ejemplo: topo-geometrías y primitivas..... | 450 |
| Instalación..... | 451 |
| Capa de topología..... | 452 |
| Creación de primitivas topológicas..... | 452 |
| Tabla de nodos..... | 454 |
| Tabla de ejes..... | 455 |
| Tabla de caras..... | 457 |
| Modificación de primitivas topológicas..... | 457 |
| Resumen de la topología..... | 459 |
| Acceso a primitivas topológicas..... | 460 |
| 2.3. <i>Capas de topo-geometrías</i> | 460 |
| Creación de la capa..... | 460 |
| Tabla de metadatos layer..... | 461 |
| Inserción de topo-geometrías..... | 462 |
| Constructores de topo-geometrías..... | 462 |
| Tipo topogeometry..... | 463 |
| Tabla relation..... | 463 |
| Borrado de una capa de topo-geometrías..... | 464 |
| Conversión a geometrías..... | 464 |
| Visualización de capas de topo-geometrías..... | 465 |
| 2.4. <i>Creación automática de topo-geometrías</i> | 466 |
| 2.5. <i>Capas derivadas o hijas</i> | 467 |
| 2.6. <i>Análisis espacial</i> | 469 |

| | |
|--|------------|
| Simplificación de geometrías adyacentes..... | 470 |
| Utilización de índices espaciales con topo-geometrías..... | 470 |
| H Anexos..... | 473 |
| 1. NOTAS SOBRE ADMINISTRACIÓN | 475 |
| 1.1. <i>Variables de sistema</i> | 475 |
| Modificación a nivel de sesión..... | 475 |
| Vista <i>pg_settings</i> | 476 |
| Modificación a nivel de base de datos..... | 477 |
| Modificación de los valores por defecto | 478 |
| 1.2. <i>Autenticación del cliente</i> | 478 |
| Recuperación de la contraseña de administración..... | 481 |
| 1.3. <i>Cluster de la base de datos</i> | 481 |
| Arrancar y parar el servidor de PostgreSQL | 482 |
| Inicializar y utilizar un <i>cluster</i> alternativo..... | 483 |
| Creación de un nuevo cluster | 484 |
| Inicio y parada del servidor PostgreSQL | 484 |
| 1.4. <i>Localización</i> | 485 |
| Codificaciones soportadas..... | 487 |
| Conversión entre el cliente y el servidor | 488 |
| 1.5. <i>Vacuum</i> | 488 |
| Comando <i>Vacuum</i> | 488 |
| Comando <i>Analyze</i> | 489 |
| <i>Autovacuum</i> | 490 |
| 1.6. <i>Roles de la base de datos y privilegios</i> | 490 |
| Atributos de los roles | 491 |
| Grupos de roles | 492 |
| <i>Grant</i> y <i>Revoke</i> | 493 |
| 1.7. <i>Ficheros log</i> | 496 |
| Dónde se envían los mensajes de log..... | 497 |
| Cuándo se envían los mensajes log..... | 497 |
| Qué se puede enviar al log | 500 |
| 1.8. <i>Consumo de recursos</i> | 500 |
| 1.9. <i>Otros</i> | 502 |
| 2. SQL..... | 503 |
| 2.1. <i>Lenguaje SQL</i> | 503 |
| 2.2. <i>Instrucciones SQL</i> | 504 |
| 2.3. <i>Definición de datos</i> | 505 |
| Listado de los ejemplos | 505 |
| Tablas..... | 505 |
| Creación | 505 |
| Modificación | 506 |
| Borrado | 506 |
| Uso de mayúsculas..... | 507 |
| Dominios..... | 507 |
| Definición | 507 |
| Modificación | 508 |
| Borrado | 508 |

| | |
|--|-----|
| Esquemas | 508 |
| Definición | 509 |
| Borrado | 509 |
| Restricciones | 509 |
| Restricción de valor no nulo | 510 |
| Restricción de unicidad | 510 |
| Restricción de clave primaria | 511 |
| Restricción general | 512 |
| Restricción de clave ajena o integridad referencial | 513 |
| Programas de diseño conceptual | 516 |
| 2.4. Manipulación de datos | 517 |
| Inserción, borrado y actualización | 518 |
| Insert | 518 |
| Update | 519 |
| Delete | 519 |
| Consultas elementales sobre una tabla | 520 |
| Listado de los ejemplos | 521 |
| Uso de CAST o conversiones explícitas de tipos | 521 |
| Uso de Predicados | 521 |
| Funciones | 523 |
| Funciones de valor | 523 |
| Funciones agregadas | 524 |
| 2.5. Consultas avanzadas | 525 |
| Subconsultas | 525 |
| Mediante el predicado In | 525 |
| Mediante los predicados All, Any, Some | 526 |
| Mediante el predicado Exists | 527 |
| Mediante los predicados Distinct y Unique | 527 |
| Mediante los predicados de comparación | 528 |
| 2.6. Trabajo con varias tablas | 528 |
| Los operadores conjuntistas: <i>Union</i> , <i>Except</i> e <i>Intersect</i> | 528 |
| Concatenaciones (Joins): <i>Cross Join</i> , <i>Inner Join</i> y <i>Outer Join</i> | 529 |
| Producto cartesiano o concatenación cruzada (CROSS JOIN) | 529 |
| Concatenación interna (INNER JOIN) | 530 |
| Concatenación externa (OUTER JOIN) | 531 |
| 2.7. Inserción de filas provenientes de una consulta | 532 |
| Creación de una tabla nueva | 532 |
| Inserción de registros en una tabla existente | 533 |
| 2.8. Vistas | 533 |
| 2.9. Índices | 534 |
| Creación y borrado | 535 |
| 3. SOLUCIONES | 537 |
| 3.1. Capítulo B | 537 |
| 3.2. Capítulo C | 545 |
| 3.3. Capítulo D | 552 |
| 3.4. Capítulo E | 556 |
| 3.5. Capítulo G | 561 |
| 3.6. Capítulo H | 564 |
| 4. RECURSOS | 566 |

Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1 Servicio de PostgreSQL en MS Windows | 31 |
| Figura 2 <i>Path</i> del sistema en MS Windows..... | 32 |
| Figura 3 Instalación de PostGIS con <i>Stack Builder</i> | 32 |
| Figura 4 Listado bases de datos..... | 34 |
| Figura 5 Herramienta <i>pgAdmin4</i> para PostgreSQL | 36 |
| Figura 6 Cliente SQL en <i>pgAdmin4</i> | 37 |
| Figura 7 Tipos básicos de geometrías en PostGIS..... | 56 |
| Figura 8 Versión gráfica del comando <i>shp2pgsql: shp2pgsql-gui</i> | 65 |
| Figura 9 Funcionalidades de importación a PostGIS (QGIS)..... | 70 |
| Figura 10 Consultas SQL y salida gráfica directa en <i>OpenJUMP</i> | 74 |
| Figura 11 Gestor de PostGIS <i>DB Manager</i> de <i>QGIS</i> | 74 |
| Figura 12 Visualización de capas PostGIS (<i>gvSIG</i>) | 75 |
| Figura 13 Conexión con PostGIS (<i>gvSIG</i>) | 75 |
| Figura 14 Visualización de capas PostGIS (<i>QGIS</i>) | 76 |
| Figura 15 Conexión con PostGIS (<i>QGIS</i>) | 76 |
| Figura 16 Herencia de las geometrías según norma SQL/MM (ISO 13249.3:2016)..... | 77 |
| Figura 17 <i>JTS 1.17 Test Builder</i> | 79 |
| Figura 18 Contorno, interior y exterior de una línea, un polígono y un punto | 81 |
| Figura 19 <i>ST_Linestring</i> simple(a), no simple(b) simple y cerrada: anillo(c), no simple y cerrada (d)86 | |
| Figura 20 <i>ST_MultiLinestring</i> simple y abierta (a), no simple y abierta (b), no simple y cerrada (c) ..87 | |
| Figura 21 Ejemplos de geometrías <i>ST_Polygon</i> válidas..... | 88 |
| Figura 22 Ejemplos de geometrías <i>ST_Polygon</i> no válidas..... | 88 |
| Figura 23 <i>ST_MultiPolygon</i> válidos: dos <i>ST_Polygon</i> (a, b, d, e) y tres <i>ST_Polygon</i> (c)..... | 89 |
| Figura 24 Ejemplos de geometrías <i>ST_MultiPolygon</i> no válidas | 90 |
| Figura 25 Matriz DE-9IM entre dos geometrías (<i>JTS Builder</i>) | 92 |
| Figura 26 Ejemplos de la relación espacial <i>ST_Touches</i> | 96 |
| Figura 27 Ejemplos de la relación espacial <i>ST_Crosses</i> | 97 |
| Figura 28 Ejemplos de la relación espacial <i>ST_Overlaps</i> | 98 |
| Figura 29 Ejemplos de la relación espacial <i>ST_Covers</i> | 101 |
| Figura 30 Plan de ejecución del planificador (<i>pgadmin</i>)..... | 110 |
| Figura 31 Ventana de una capa en QGIS eligiendo el ID del objeto compuesto de dos campos 121 | |
| Figura 32 Operadores espaciales | 127 |
| Figura 33 Ejemplos del operador <i>ST_Intersection</i> | 128 |
| Figura 34 Ejemplos del operador <i>ST_Union</i> | 128 |
| Figura 35 Ejemplos del operador <i>ST_Difference</i> | 129 |
| Figura 36 Ejemplos del operador <i>ST_Buffer</i> | 129 |

| | |
|--|-----|
| Figura 37 Geometrías devueltas por un operador espacial. Ejemplo 1 | 130 |
| Figura 38 Geometrías devueltas por un operador espacial. Ejemplo 2 | 131 |
| Figura 39 Superposición de capas $(A - B) + (A \cap B) + (B - A)$ | 140 |
| Figura 40 $Identity = (A - B) + (A \cap B)$ | 141 |
| Figura 41 $Update = (A - B) + B$ | 142 |
| Figura 42 Error radial | 146 |
| Figura 43 Simplificación de geometrías | 173 |
| Figura 44 Traducción, rotación y escalado de geometrías | 176 |
| Figura 45 Modificación de una <i>MultiLineString</i> | 188 |
| Figura 46 <i>ST_BuildArea</i> y <i>ST_Polygonize</i> | 188 |
| Figura 47 Diferentes metodologías para un mismo de análisis espacial | 197 |
| Figura 48 Capa <i>provche</i> segmentada según una rejilla | 200 |
| Figura 49 Área de influencia y su disolución utilizando una rejilla | 202 |
| Figura 50 Polígono no deseado en un análisis con rejilla | 207 |
| Figura 51 Destrucción de la adyacencia en una capa | 216 |
| Figura 52 Destrucción de la adyacencia con <i>ST_Transform</i> | 218 |
| Figura 53 Proceso de ajuste de vértices con <i>ST_Snap</i> | 219 |
| Figura 54 Polígono ‘lazo’ no válido según el OGC | 221 |
| Figura 55 Reconstrucción de un polígono no válido | 223 |
| Figura 56 Validación geométrica en <i>OpenJUMP</i> | 235 |
| Figura 57 Reglas de topología en <i>gvSIG</i> | 240 |
| Figura 58 Reglas de topología en <i>QGIS</i> | 240 |
| Figura 59 <i>Must not overlap</i> | 241 |
| Figura 60 <i>Must not have gaps</i> | 243 |
| Figura 61 <i>Must not have dangles</i> | 244 |
| Figura 62 <i>Must not have seudos</i> | 248 |
| Figura 63 <i>Must be covered by layer</i> | 250 |
| Figura 64 <i>Must be cross connected</i> | 252 |
| Figura 65 Creación de nodos en la capa <i>rios</i> | 299 |
| Figura 66 Estructura <i>arco-nodo</i> mediante disparadores | 300 |
| Figura 67 Ejemplo de funciones de ventana | 317 |
| Figura 68 Resultado de la agrupación (<i>cluster</i>) con <i>ST_ClusterKmeans</i> | 321 |
| Figura 69 Superficie poliédrica (<i>polyhedral Surface</i>). Fuente: estándar SFA 1.2.1 | 331 |
| Figura 70 Visualización de una capa de superficie poliédrica con <i>QGIS</i> | 334 |
| Figura 71 Tipos de geometrías curvas | 335 |
| Figura 72 Descarga de cartografía OSM | 340 |
| Figura 73 Topología de red | 350 |
| Figura 74 Ruta más corta en grafo directo. | 354 |
| Figura 75 Modificación de cartografía OSM | 357 |
| Figura 76 Rutas con OSM | 361 |
| Figura 77 Rutas con <i>pgrouting</i> (cartografía sin estructura de red) | 365 |
| Figura 78 Edición concurrente con <i>QGIS</i> | 369 |

| | |
|--|-----|
| Figura 79 Tablas particionadas utilizando herencia según el tipo de geometría..... | 377 |
| Figura 80 Estructura de un <i>raster</i> | 390 |
| Figura 81 Origen, tamaño de celda e inclinación (<i>skew</i>) de un <i>raster</i> | 392 |
| Figura 82 Banda de un <i>raster</i> | 394 |
| Figura 83 Carga de una capa <i>raster</i> en QGIS..... | 408 |
| Figura 84 Visualización de la capa <i>dem</i> en QGIS..... | 409 |
| Figura 85 Dos <i>raster</i> con igual alineamiento (<i>alignment</i>)..... | 410 |
| Figura 86 Conversión <i>raster</i> a vectorial (<i>corine land cover</i>)..... | 422 |
| Figura 87 Ejemplos de álgebra de mapas entre dos <i>raster</i> | 429 |
| Figura 88 Efecto de las funciones de vecindad en los bordes de las teselas..... | 437 |
| Figura 89 Corrección del efecto de vecindad en los bordes de las teselas..... | 438 |
| Figura 90 Vectorización de la capa <i>demmedia1</i> tras su reclasificación..... | 438 |
| Figura 91 Vectorización de la capa de pendientes (<i>st_slope</i>) reclasificada..... | 440 |
| Figura 92 Conversión a una capa <i>raster</i> teselada de una capa vectorial..... | 442 |
| Figura 93 Intersección <i>raster</i> -vectorial..... | 444 |
| Figura 94 Capas de topo-geometrías..... | 449 |
| Figura 95 Primitivas topológicas..... | 450 |
| Figura 96 Sentido de los ejes conectados..... | 456 |
| Figura 97 Modificación de primitivas topológicas..... | 458 |
| Figura 98 Modificación la geometría de los ejes..... | 459 |
| Figura 99 Editores gráficos de los niveles de ejecución en <i>Linux</i> | 483 |
| Figura 100 Ejemplo de restricción de clave ajena (I)..... | 514 |
| Figura 101 Ejemplo de restricción de clave ajena (II)..... | 515 |
| Figura 102 Ejemplo de restricción de clave ajena (III)..... | 517 |
| Figura 103 <i>MultiLinestring</i> simple con contorno vacío y abierta..... | 539 |
| Figura 104 <i>Erase</i> de la capa <i>tmm</i> y un <i>buffer</i> de ríos..... | 546 |
| Figura 105 Falta de conectividad de las vías de comunicación..... | 555 |
| Figura 106 Fichero de configuración <i>postgresql.conf</i> | 565 |

Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 Comandos de PostgreSQL | 35 |
| Tabla 2 Comandos del cliente <i>psql</i> | 35 |
| Tabla 3 Tipos básicos de PostgreSQL | 38 |
| Tabla 4 Representación WKT de objetos espaciales | 55 |
| Tabla 5 Representación WKT de una geometría puntual considerando las coordenadas Z, M o ZM. | 56 |
| Tabla 6 Constructores y lectores de geometrías..... | 57 |
| Tabla 7 Juegos de caracteres soportados por PostgreSQL | 64 |
| Tabla 8 Características PostGIS de los principales SIG de escritorio libres | 72 |
| Tabla 9 Definición del interior, exterior y contorno de una geometría | 80 |
| Tabla 10 Dimensiones del interior, exterior y contorno de una geometría | 81 |
| Tabla 11 Contorno de una <i>MultiLineString</i> | 82 |
| Tabla 12 Descripción de los predicados espaciales | 94 |
| Tabla 13 Definición algebraica de los predicados espaciales | 95 |
| Tabla 14 Predicados espaciales y métodos que utilizan el operador &&..... | 112 |
| Tabla 15 Descripción de los operadores espaciales | 126 |
| Tabla 16 Definición de los operadores espaciales | 126 |
| Tabla 17 Superposición de capas: <i>Intersect</i> | 135 |
| Tabla 18 Superposición de capas: <i>Erase</i> | 137 |
| Tabla 19 Superposición de capas: <i>Overlay</i> | 139 |
| Tabla 20 Superposición de capas: <i>Identity</i> | 141 |
| Tabla 21 Superposición de capas: <i>Update</i> | 142 |
| Tabla 22 Extracción de capas: <i>Clip</i> | 143 |
| Tabla 23 Proximidad: <i>Buffer</i> | 145 |
| Tabla 24 Adición de capas: <i>Append</i> | 166 |
| Tabla 25 Generalización de capas: <i>Dissolve</i> | 167 |
| Tabla 26 Comandos para la simplificación de geometrías..... | 170 |
| Tabla 27 Índice de eficacia de la indexación espacial I..... | 199 |
| Tabla 28 Índice de eficacia de la indexación espacial II..... | 200 |
| Tabla 29 Parámetros de transformación entre los <i>datum</i> ETRS89 -> ED50 (IGN) | 210 |
| Tabla 30 Precisión cartográfica | 215 |
| Tabla 31 Propiedades de algunas proyecciones cartográficas..... | 226 |
| Tabla 32 Métodos espaciales que soportan el tipo <i>geography</i> | 228 |
| Tabla 33 Constructores, lectores y conversores que soportan el tipo <i>geography</i> | 229 |
| Tabla 34 Comparación de tiempos de ejecución de cálculos con <i>geometry</i> y <i>geography</i> | 233 |
| Tabla 35 Reglas de topología (<i>Jaspa</i>) entre geometrías de una capa..... | 253 |
| Tabla 36 Reglas de topología (<i>Jaspa</i>) entre geometrías de dos capas..... | 254 |
| Tabla 37 Notación utilizada en la definición de las reglas de topología | 255 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 38 Definición de reglas de topología (una sola capa A)..... | 256 |
| Tabla 39 Definición de reglas de topología (entre dos capas)..... | 257 |
| Tabla 40 Variables <i>PL/PostgreSQL</i> utilizadas en las funciones disparador | 284 |
| Tabla 41 Funciones ventana específicas de PostGIS | 321 |
| Tabla 42 Funciones PostGIS 3D..... | 329 |
| Tabla 43 Funciones PostGIS 3D (vía SFCGAL) | 330 |
| Tabla 44 Configuración de las consultas paralelas (planificador)..... | 386 |
| Tabla 45 Métodos de acceso a las propiedades de un <i>raster</i> | 391 |
| Tabla 46 Métodos para modificar las propiedades de un <i>raster</i> | 391 |
| Tabla 47 Tipos de píxel soportados en PostGIS <i>raster</i> | 393 |
| Tabla 48 Métodos de acceso a las propiedades de un <i>raster</i> | 395 |
| Tabla 49 Métodos para modificar las propiedades de una banda de un <i>raster</i> | 395 |
| Tabla 50 Métodos de cálculo de estadísticas de una banda de un <i>raster</i> | 397 |
| Tabla 51 Métodos de vectorización de un <i>raster</i> | 399 |
| Tabla 52 Restricciones <i>Check</i> de una capa <i>raster</i> | 411 |
| Tabla 53 Funciones de vecindad predefinidas en PostGIS <i>raster</i> | 436 |
| Tabla 54 Funciones para la edición de primitivas topológicas según SQL/MM..... | 453 |
| Tabla 55 Fichero <i>pg_hba.conf</i> de autenticación del cliente PostgreSQL | 479 |
| Tabla 56 Parámetros <i>locale</i> de PostgreSQL | 486 |
| Tabla 57 Variables del sistema (localización de los ficheros <i>log</i>) | 497 |
| Tabla 58 Tablas de ejemplo de integridad referencial | 514 |

A Introducción

Este capítulo es meramente introductorio donde se sitúa al lector dentro del marco normativo seguido por PostGIS y se describen los estándares que serán referenciados a lo largo de la publicación y cuyo estudio es necesario para comprender el funcionamiento de una base de datos espacial.

Se repasa el proceso de instalación de PostgreSQL y PostGIS en máquinas con *MS Windows* y se comenta brevemente el proceso en máquinas *Linux*. Tras ello, se introducen dos clientes SQL, uno de texto *psql* y otro gráfico *pgadmin*, centrándose en los comandos y utilización del cliente *psql*.

En cuanto al propio lenguaje SQL, únicamente se enumeran los tipos de datos más utilizados en PostgreSQL y se describe el proceso de creación de una base de datos nueva. Se hace especial hincapié en que el lector evalúe sus conocimientos de SQL y si lo estima conveniente lea y realice detenidamente la teoría y los ejemplos propuestos en el apartado H 2, pág. 503, donde se describe dicho lenguaje antes de seguir avanzando en la publicación y meterse de lleno en el mundo PostGIS.

1. Primeros pasos

PostGIS es una extensión de la base de datos PostgreSQL¹ que permite gestionar objetos geográficos, de forma que añade la capacidad de utilizar PostgreSQL como base de datos espacial en un Sistema de Información Geográfica² (SIG). Ha sido desarrollado por *Refractions Research*³ como proyecto de software libre bajo licencia GPL.

La versión 0.1 data del año 2001. La versión estable en el momento de escribir esta publicación es la 3.0.2 de agosto de 2020. Cada varios meses sale una nueva versión incorporando generalmente mejoras y *bugs* solucionados.

Desde su versión 1.1.0, PostGIS incorpora un modelo inicial de topología persistente parecido a la estructura arco-nodo de *ArcInfo WorkStation*⁴ siguiendo las pautas marcadas por *Oracle Spatial* y su modelo de topología persistente⁵ disponible desde hace ya bastantes años. Este modelo de topología es actualmente una solución bastante madura, aunque quizás aún no demasiado conveniente para ser aplicado en un entorno de producción, sobre todo debido al excesivo tiempo empleado en la creación y procesado de los elementos topológicos.

Existen diferentes programas libres que pueden visualizar datos almacenados en PostGIS además de otros formatos. Algunos de ellos son *gvSIG*, *QGIS*, *uDIG*, *OpenJUMP* o *Kosmo* cuyas características se describen en el apartado B 3.2, pág. 71.

PostGIS está desarrollado en lenguaje *C*, *C++* y *PL/PgSQL* (lenguaje procedural de PostgreSQL) y utiliza entre otras las bibliotecas de software libre *GEOS*⁶ (análisis espacial), *SFCGAL*⁷ (proceso de geometrías 3D) y *Proj4*⁸ (proyecciones). PostGIS utiliza *GEOS* para realizarla mayoría de los cálculos geométricos (tipos de objetos geométricos, relaciones y operaciones de análisis espacial entre geometrías 2D, etc.).

Como mejoras en las últimas versiones de PostGIS cabe destacar que a partir de la versión 1.5 se puede realizar ciertas operaciones espaciales con geometrías definidas en sistemas de referencia no proyectados (sistemas de coordenadas geográficas), es decir, se puede calcular por ejemplo la distancia entre dos puntos sobre un determinado elipsoide de referencia.

¹ PostgreSQL es un Sistema Gestor de Bases de Datos Relacional (SGBDR) *open source* disponible para múltiples plataformas, <https://www.postgresql.org/>.

² Un SIG es un sistema diseñado para la captura, almacenamiento, gestión, análisis y presentación de datos geográficos georreferenciados. Un SIG mezcla diferentes técnicas como cartografía, análisis estadístico y bases de datos.

³ <http://www.refractions.net/>

⁴ *ArcInfo Workstation* fue uno de los programas pioneros en SIG, su primera versión data del año 1982 y no fue hasta la versión 7.1 cuando migró a sistemas operativos *MS Windows*. Llamado a desaparecer posiblemente debido a la dificultad en su uso, implementa un modelo de topología persistente envidiado por muchos otros programas de SIG.

⁵ La topología persistente o explícita plasma las relaciones espaciales entre las geometrías de una capa o varias capas de forma física en campos de atributos de tablas, tablas internas o cualquier otro mecanismo. Dichas relaciones espaciales son mantenidas y sincronizadas de forma automática con las entidades geométricas. Un sistema que soporte topología persistente, generalmente implementa también un modelo de tolerancias de coincidencia de las coordenadas de las geometrías.

⁶ La biblioteca *GEOS*, http://geos.refractions.net/ro/doxygen_docs/html/index.html, es una migración a lenguaje *C++* de la biblioteca *JTS (Java Topology Suite)*, <https://github.com/locationtech/jts> realizada en *Java*.

⁷ La biblioteca *SFCGAL*, <http://sfcgal.org/>, es un *wrapper* en *C++* de la biblioteca *CGAL*, <https://www.cgal.org/>, y proporciona operaciones 3D siguiendo la especificación *Simple Feature Access* del OGC.

⁸ <https://proj4.org/>