



ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA EN BASES DE DATOS ESPACIALES

Milenis Fernández Díaz ⁽¹⁾, Maikel Castellanos Placer ⁽²⁾, Daqoberto Antonio Suárez Morales ⁽³⁾

1. Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2.5, La Habana, Cuba, mfdiaz@uci.cu; 2. Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2.5, La Habana, Cuba, maikelcp@uci.cu; 3. Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2.5, La Habana, Cuba, dasuarez@uci.cu.

RESUMEN

Las bases de datos espaciales se caracterizan por permitir el almacenamiento de objetos espaciales, teniendo en cuenta su localización, así como los atributos que permiten conocer qué objetos son. Estos datos pueden ser representados tanto en una perspectiva bidimensional como tridimensional. Las bases de datos espaciales se caracterizan principalmente por la utilización de tipos de datos espaciales (puntos, líneas y polígonos), índices y consultas espaciales. Los índices espaciales constituyen una de sus principales ventajas, ya que optimizan la búsqueda evitando revisiones exhaustivas sobre los datos. Estas bases de datos suelen almacenar grandes volúmenes de información que posteriormente necesitan ser recuperados para su visualización o para realizar análisis a partir de estos. Es importante destacar que los datos almacenados se rigen por los estándares de la organización *Open Geospatial Consortium* y que pueden ser visualizados por los Sistemas de Información Geográfica.

Las bases de datos espaciales pueden ser aplicadas a numerosas esferas, entre las que se encuentran las Geociencias. En muchos estudios y proyectos geológicos-mineros los especialistas trabajan con información donde además de datos socio-económicos, predominan los datos espaciales. Estas bases de datos son muy útiles para el almacenamiento de los cuerpos minerales, las superficies topográficas y los pozos de perforación. En el presente trabajo se aborda el almacenamiento de la información geológica en bases de datos espaciales, utilizando PostgreSQL como Sistema Gestor de Bases de Datos, y PostGIS como extensión de este para el manejo de objetos espaciales; en busca de mayor eficiencia en el almacenamiento y gestión de los datos geológicos.

ABSTRACT

Spatial databases are characterized for allowing the storage of spatial objects, taking into account their location and also the attributes that allow knowing what objects are. These data can be represented in two dimensional or three dimensional perspectives. Spatial databases are mainly characterized for using spatial data types (points, lines and polygons), indexes and spatial queries. Spatial indexes are one of its main advantages; because it optimizes the search avoiding exhaustive checks on the data. These databases typically store large volumes of data that need to be retrieved later for its visualization or to perform analysis from these. The saved data are governed by the standards of the *Open Geospatial Consortium* and can be visualized by the *Graphic Information Systems*.

Spatial databases can be applied to many areas, such as the Geosciences. In many geological studies and projects the specialists work with information social, economic and spatial data. These spatial databases are very useful for storage of the ore bodies, topographic surfaces and drill holes. This paper is about the storage of geological information in spatial databases, using PostgreSQL as Databases Manager System and PostGIS as an extension of this for the management of spatial objects, in search of greater efficiency in the storage of geological data.

INTRODUCCIÓN

El ser humano está rodeado de objetos que pueden ser descritos tanto bidimensional como tridimensionalmente. El almacenamiento y tratamiento de datos geográficos o espaciales referentes a



los objetos juega un papel fundamental en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales cada día son más populares. Es importante destacar que estos datos también son útiles para la toma de decisiones en diferentes ramas como la Minería y la Geología. La Geología como ciencia que se encarga del estudio de la tierra, se caracteriza por realizar estudios y exploraciones en las profundidades terrestres. De ahí la necesidad de representar espacialmente información que puede aprovecharse para efectuar análisis geológicos sobre la corteza terrestre, por ejemplo para conocer las características litológicas de los suelos y los minerales que componen los yacimientos.

La modelación y visualización de estructuras geológicas constituyen actividades fundamentales para el desarrollo de la industria minera. Estas actividades requieren que los datos espaciales se encuentren almacenados y que estos puedan ser recuperados fácil y rápidamente, con vistas a mostrar en una perspectiva realista la distribución de los objetos en el espacio. La presente investigación aborda el almacenamiento de información geológica en bases de datos espaciales; la misma se aplica actualmente en el Proyecto Sistema Minero Cubano destinado a la creación de un Sistema para el Análisis y Modelado de los Yacimientos Minerales (SYAM).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se consultaron a varios especialistas en el tema de los SIG, los cuales poseen una alta experiencia en el desarrollo de este tipo de productos para diferentes ramas. También se consultaron a profesores y especialistas del Departamento de PostgreSQL de la Universidad de las Ciencias Informáticas. Se realizó un estudio sobre PostGIS como extensión de PostgreSQL para el almacenamiento y tratamiento de objetos espaciales en dos y tres dimensiones. En este sentido, se hizo énfasis en la documentación de David Blasby, quien es uno de los principales desarrolladores de PostGIS, y de algunos colaboradores que tributan al desarrollo de esta tecnología como es el caso de Vincent Picavet. A partir de las fuentes consultadas se adquirieron los conocimientos necesarios que permitieron desarrollar una base de datos espacial para el almacenamiento de información geológica fundamentalmente asociada a los yacimientos minerales.

RESULTADOS

Los datos espaciales constituyen variables asociadas a la localización en el espacio de acuerdo a un sistema de referencia. Existen dos tipos de sistemas de referencia espacial: georreferenciados (se establecen sobre la superficie terrestre) y no georreferenciados (tienen un valor físico). En el caso de la presente investigación se trabaja con datos no georeferenciados. Almacenar los datos espaciales procedentes del mundo real en un ordenador conlleva a un proceso de abstracción para reducir la complejidad a elementos básicos de representación tales como puntos, líneas y polígonos (Blasby, 2007).

Los objetos espaciales se caracterizan fundamentalmente por sus atributos, localización y topología. Los atributos son aquellos que describen las características de los objetos y permiten identificarlos. La localización se refiere a la ubicación espacial de acuerdo a un sistema de referencia, esta se encuentra representada por la forma geométrica. Por su parte la topología se define mediante relaciones conceptuales o espaciales entre los objetos (Gutiérrez, 2006).

Las bases de datos que permiten el almacenamiento y tratamiento de información geográfica se denominan bases de datos espaciales o geográficas (Blasby, 2007). La necesidad de manejar tanto datos descriptivos como geométricos de forma integrada, ha conllevado a la evolución de los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) a través de la incorporación de extensiones que soporten los datos espaciales (Gutiérrez, 2006). Algunas extensiones para el trabajo con estas bases de datos son: ESRI ArcSDE, Oracle Spatial, IBM DB2 Spatial Extender, Informix Spatial DataBlade, MS SQL Server, Geomedia (MS Access), PostGIS (Blasby, 2007) y SpatialLite (Picavet, 2010).



PostgreSQL es uno de los sistemas que ha evolucionado notablemente en cuanto al manejo de los datos geográficos. Constituye un SGBD objeto-relacional desarrollado por la comunidad internacional PGDG (*PostgreSQL Global Development Group*). El mismo se distribuye bajo los términos de la licencia BSD y es considerado uno de los SGBD de código abierto más potentes. Su código está disponible sin costo alguno tributando a su extensibilidad. Se encuentra disponible para múltiples plataformas como Windows, Linux, Mac OS X, Solaris, FreeBSD, entre muchas otras. Además, se caracteriza por utilizar un modelo cliente-servidor. Este sistema incluye de forma nativa tipos de datos geométricos como el *point* y el *polygon*, pero estos sirven solo para objetos en dos dimensiones (The PostgreSQL Global Development Group, 2010), por lo que se hace necesario incorporar la extensión PostGIS

PostGIS se caracteriza fundamentalmente por los tipos de datos geométricos así como los índices y consultas espaciales (Obe, y otros, 2011). Los tipos de PostGIS se encuentran definidos en el *Open Geospatial Consortium* (OGC), entre los cuales se encuentran: POINT, LINESTRING, POLYGON, MULTIPOINT, MULTILINESTRING, MULTIPOLYGON Y GEOMETRYCOLLECTION (Obe, y otros, 2011). La versión 2.0 también incluye los tipos: TRIANGLE, POLYHEDRALSURFACE y TIN (Fundación Open Source Geospatial, 2012) los cuales son de gran utilidad para el almacenamiento de estructuras geológicas.

OpenGIS define dos formas de representar objetos espaciales: la representación textual (*Well-Known Text* – WKT) y el formato binario con codificación hexadecimal (*Well-Known Binary* – WKB), aunque ambas incluyen el tipo de objeto y las coordenadas (Obe, y otros, 2011). A continuación se puede ver un ejemplo de representación textual de un punto y de una línea respectivamente: POINT (3 6 9) y LINESTRING (0 5, 5 1, 9 4, 2 14, 14 13, 4 5). Haciendo uso de PostGIS para guardar la información geográfica se pueden realizar consultas espaciales, por ejemplo para obtener todos los pozos de perforación que se encuentran alrededor de un punto en un radio determinado (Ver figura 1).

```
SELECT id_collar, hole_name, ST_X(g_coordinate), ST_Y(g_coordinate), ST_Z(g_coordinate) FROM tb_collar
WHERE ST_DWithin(g_coordinate, 'POINT(4733 5800)', 100.0); |
```

Data Output	Explain	Messages	History		
	id_collar integer	hole_name character varying	st_x double precision	st_y double precision	st_z double precision
1	1	1	4733.33	5800	100.12
2	2	2	4766.66	5800	105.7
3	3	3	4799.96	5800	109.78
4	10	10	4733.33	5766.67	103.91
5	11	11	4766.66	5766.67	108.33
6	12	12	4799.96	5766.67	112.18
7	19	19	4733.33	5733.34	102.91
8	20	20	4766.66	5733.34	107.52
9	21	21	4799.96	5733.34	112.73

Figura 1. Consulta espacial que retorna todos los pozos de perforación que se encuentran alrededor del punto (4733, 5800) en un radio de 100 metros.

Los índices espaciales permiten optimizar las búsquedas sobre la base de datos basándose en criterios espaciales como la intersección y la contención. Los índices espaciales utilizan por defecto un árbol de búsqueda generalizado (GIST basado en R-tree) (Fundación Open Source Geospatial, 2012). Cada geometría se aproxima a un solo rectángulo que se conoce como rectángulo de limitación mínimo o MBR (*Minimal Bounding Rectangle*). Los datos espaciales son organizados de forma jerárquica de modo que las hojas contienen punteros a los datos, mientras que los nodos intermedios contienen el rectángulo mínimo que contiene a sus subhojas (Ver figura 2).

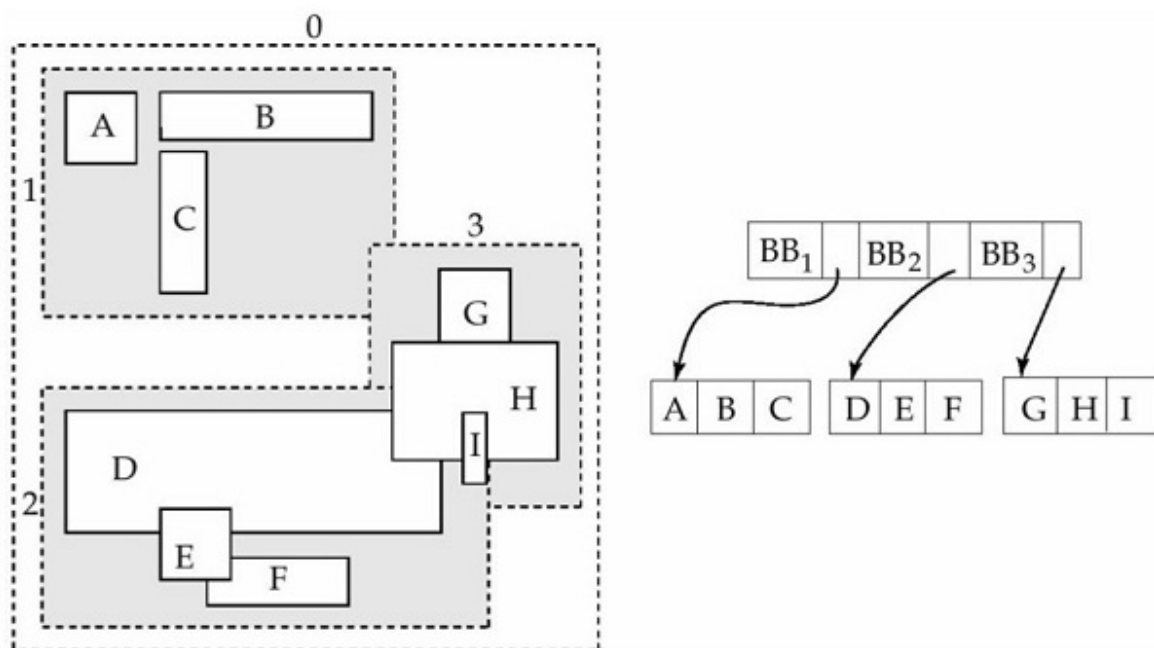


Figura 2. Los índices espaciales utilizan por defecto un árbol de búsqueda generalizado (Picavet, 2010).

PostGIS cuenta con funciones para el análisis y procesamiento de objetos GIS (*Geographic Information System*). Las funciones ofrecidas por este no solo permiten la recuperación de datos por criterios alfanuméricos, sino que también permiten aplicar criterios espaciales a través de relaciones topológicas de orientación y medición, entre otras. PostGIS se encuentra certificado por el OGC lo que garantiza la interoperabilidad con otros sistemas. El estándar OGC define tres categorías de funciones sobre objetos geométricos: (1) funciones básicas que permiten la descripción de un objeto geométrico, (2) funciones de consulta de relación espacial entre dos geometrías y, (3) funciones que implementan operadores espaciales (Gutiérrez, 2006). Algunos ejemplos de relaciones espaciales son los siguientes: igualdad, intersección, adyacencia, cruzamiento, proximidad, solapamiento, contención. Usando simples sentencias SQL se pueden realizar operaciones espaciales tales como cálculos de áreas y distancias, intersecciones, uniones (Blasby, 2007).

Los yacimientos minerales constituyen acumulaciones naturales de sustancias minerales en el suelo las cuales son explotadas con fines económicos. Durante la exploración y explotación de estos yacimientos se trabaja con las siguientes estructuras geológicas (Ver figura 3):

- Superficies topográficas: Se representan a través de redes de triángulos.
- Collares de los pozos de perforación: Se representan mediante puntos, los cuales a su vez se encuentran determinados mediante las coordenadas XYZ.

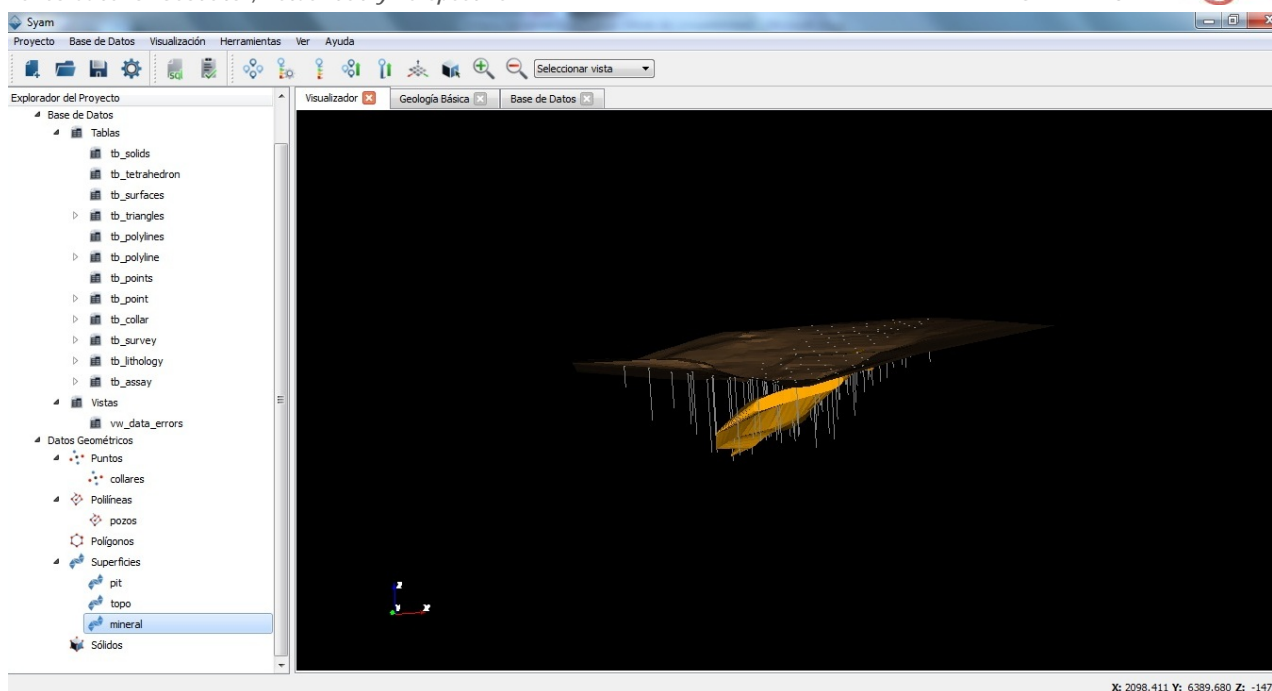


Figura 3. Representación en el software SYAM de una superficie topográfica, pozos de perforación y un cuerpo mineral correspondientes a un yacimiento mineral. Los datos fueron obtenidos de una base de datos espacial.

- Pozos de perforación: Se representan mediante polilíneas.
- Muestras extraídas de los pozos de perforación. Cada muestra está dada por un intervalo, donde el valor inicial y el valor final constituyen puntos.
- Capas litológicas de un pozo: Cada capa está dada por un intervalo, al igual que las muestras.
- Cuerpos minerales: Las superficies exteriores de los cuerpos minerales pueden representarse a través de redes de triángulos, pero si la malla se encuentra abierta esto puede conllevar a problemas en el cálculo de volúmenes que es fundamental para la estimación de recursos minerales. Para resolver este problema estos cuerpos son representados mediante una red de tetraedros, siendo la sumatoria del volumen de cada tetraedro el volumen del cuerpo mineral.
- Minas: Se representa mediante una red de triángulos.
- Caminos mineros: Constituyen polilíneas.

DISCUSIÓN

Las bases de datos espaciales cuentan con tipos de datos geométricos idóneos para el almacenamiento de la información espacial asociada a los yacimientos minerales de una manera fácil. Además la información contenida en este tipo de base de datos puede visualizarse en SIG facilitando la integración con estos sistemas (Ver figura 4). También es importante destacar que en la Geología y la Minería se trabajan con grandes volúmenes de datos tanto socioeconómicos y espaciales sobre los cuales se deben realizar numerosas búsquedas. En el caso de las búsquedas de información espacial estas pueden optimizarse mediante la utilización de índices espaciales.

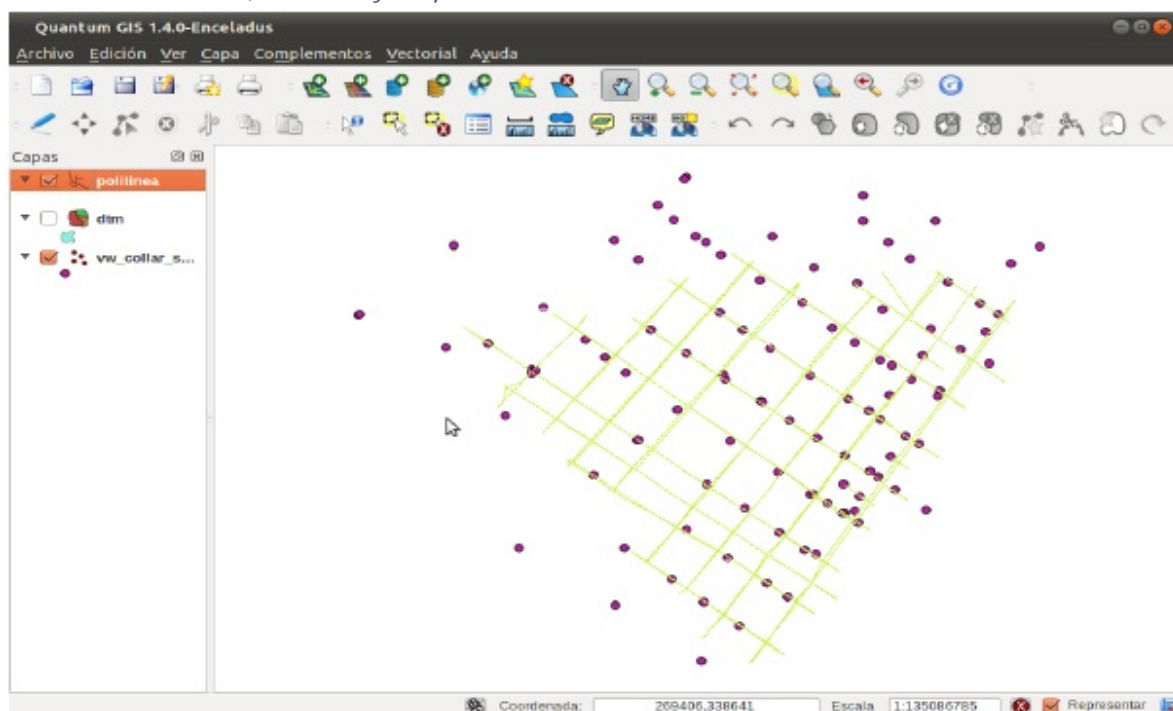


Figura 4. Visualización en Quantum GIS) de los collares de los pozos de perforación almacenados en una base de datos espacial.

La base de datos obtenida como resultado de la presente investigación constituye un componente fundamental del software SYAM desarrollado por el Proyecto Sistema Minero Cubano; su versión inicial será liberada próximamente para su utilización en las empresas mineras cubanas en actividades como la modelación geológica, la estimación de recursos minerales, la planificación minera y el diseño de minas. Se experimentó el almacenamiento y recuperación de grandes volúmenes de datos geológicos de dicha base de datos, obteniéndose buenos resultados.

PostGIS constituye una tecnología de bases de datos espaciales de código abierto, la cual se distribuye bajo los términos de *GNU General Public License* (Fundación Open Source Geospatial, 2013). Su utilización se ajusta a las políticas de migración a sistemas y plataformas libres, contribuyendo a la soberanía tecnológica del país. Esta tecnología es mejorada y actualizada constantemente por su equipo de desarrollo así como por colaboradores que añaden nuevas características.

Uno de los principales objetivos del almacenamiento de los datos espaciales asociados a los yacimientos minerales es su posterior visualización. Sin embargo, actualmente existe incompatibilidad entre las bases de datos espaciales y las librerías de visualización tanto bidimensional como tridimensional. Esto conlleva a que el programador se encuentre obligado a construir objetos que puedan ser visualizados a partir de los datos obtenidos de la base de datos. Aunque este aspecto se va del marco del presente trabajo, se encuentra muy relacionado y pudiera ser considerado en investigaciones futuras.

CONCLUSIONES

Una vez concluida la investigación se arriban a las siguientes conclusiones:

- Los tipos de datos geométricos con que cuentan las bases de datos espaciales son adecuados para el almacenamiento de los datos espaciales asociados a los yacimientos minerales.



- La utilización de índices espaciales permite obtener respuestas más rápidas al procesar consultas, ya que estos agilizan las búsquedas sobre los datos espaciales haciendo uso de un árbol generalizado que reduce el número de elementos a visitar en la base de datos.
- Las funciones ofrecidas por PostGIS pueden ser muy útiles para la validación de los datos geométricos de los yacimientos minerales (fundamentalmente de los pozos perforados para la exploración del yacimiento) mediante la aplicación de criterios espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Blasby, David. 2007. Building a Spatial Database. *PostGIS*. [En línea] 2007. <http://postgis.refractory.net>.
- Fundación Open Source Geospatial. 2012. *PostGIS 2.0.0 Manual*. 2012.
- Fundación Open Source Geospatial. 2013. *PostGIS*. [En línea] 2013. <http://postgis.refractory.net/>.
- Gutiérrez, Mariella. 2006. *El Rol de las Bases de Datos Espaciales en una Infraestructura de Datos*. Santiago : Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2006.
- Obe, Regina O y Hsu, Leo S. 2011. *PostGIS in action*. Stamford : Manning, 2011. 9781935182269.
- Picavet, Vincent. 2010. *PostGIS, a PostgreSQL module for spatial data*. s.l. : OSLANDIA, 2010.
- The PostgreSQL Global Development Group. 2010. *PostgreSQL 9.0.1 Documentation*. 2010.