

Estado actual de temáticas para el análisis espacial en la toma de decisiones*¹

[Current status of thematic for spatial analysis in decision making]

CHRISTIAM ALEJANDRO NIÑO PEÑA², GUSTAVO CÁCERES CASTELLANOS³

RECIBO: 27.12.2013 – APROBACIÓN: 09.04.2014

Resumen

Las necesidades de las organizaciones para cumplir sus metas y llegar a tomar las mejores decisiones han planteado retos en cuanto al análisis de la información, ya sea por competitividad, valor agregado, costos o ganancia; tener una base de datos de todos los movimientos transaccionales realizados en un histórico de tiempo se volvió algo muy importante. Sumado a esto, surgió un factor que permitiría tener control sobre el lugar de los sucesos y así situar los esfuerzos donde en realidad se necesitan, este factor se identifica con el espacio geográfico almacenado en las bases de datos como tipo de dato geométrico o espacial. A partir de este tipo se crean nuevas formas de análisis y manejo de los datos como la inteligencia de negocios, las bodegas de datos, las consultas, modelado y minería de datos enfocados en el descubrimiento de conocimiento espacial. De esta forma, el

* **Modelo para la citación de este artículo:**

NIÑO PEÑA, Christiam Alejandro & CÁCERES CASTELLANOS, Gustavo (2014). Estado actual de temáticas para el análisis espacial en la toma de decisiones. En: Ventana Informática No. 31 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 59-74. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de revisión proveniente del proyecto *Inteligencia de negocios espaciales orientada al análisis de datos sobre pruebas Saber 11 del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación a Nivel Nacional*, ejecutado en el periodo 2013 – 2014, inscrito en el *Grupo de Investigación en Manejo de la Información (GIMI)* de la *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. [Tesis de Magister en Tecnología Informática, por parte del primer autor con la dirección del segundo].
- 2 Ingeniero de Sistemas, Especialista en Gerencia de Sistemas Informáticos, Especialista en Bases de Datos. Investigador, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá, Colombia). Correo electrónico: christiam.nino@uptc.edu.co
- 3 Ingeniero de Sistemas, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Especialista en Diseño de Sistemas de Auditoría, Cursos de Doctorado en Informática e Inteligencia Artificial. Docente Tiempo Completo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja, Boyacá, Colombia). Correo electrónico: gustavo.caceres@uptc.edu.co

objetivo principal del artículo es exponer, desde la revisión documental, los proyectos y hallazgos actuales sobre las temáticas del análisis espacial.

Palabras Clave: *Bodegas de datos espaciales, Cubos de datos espaciales, Inteligencia de negocios espaciales, Minería de datos espaciales, Procesamiento analítico en línea espacial.*

Abstract

The needs of organizations to meet their goals and get to make the best decisions have posed new challenges for the analysis of the information, either by competitiveness, value added, cost or profit; having a database of all movements transactions made in a historical time became something very important. Added to this emerged a factor that would allowing control over the place of events and in this manner situate efforts where you actually needing, this factor is identified with the geographical space stored in the databases as geometric type data or spatial. From this type are created new forms of analysis and data management as business intelligence, data warehouses, queries, modeling, and data mining pointed on the discovery of spatial knowledge. Thus, the main objective of the article is to present the projects and current findings of research in the topics of spatial analysis.

Keywords: *Spatial data warehouses, Spatial data cube, Spatial business intelligence, Spatial data mining, Processing spatial analytical online.*

Introducción

La información como elemento clave en la toma de decisiones se hace presente en todas las áreas del quehacer humano como: agricultura, finanzas, mercadeo, ingeniería, geofísica, medicina, economía, biología, bioquímica, meteorología, ciencias sociales, industria de procesos y producción, lenguaje natural, robótica, multimedia, entre otras, y se usa en métodos cada vez más diversos como cultivos, uso de la tierra, modelado del uso del suelo, análisis empresarial, rutas y caminos más cortos, de estructura académica, entre otros.

En este artículo se presenta una revisión de algunas de las temáticas para el análisis espacial en la toma de decisiones de cualquier organización respecto a la información alfanumérica y espacial que disponga en sus bases de datos.

En el transcurso del artículo se muestran hallazgos de varios autores según la temática a estudiar, para nombrar algunos en la inteligencia de negocios espaciales se tiene a Ramanathan Sugumaran y John Degroote, para el almacenamiento espacial, Ganesh Viswanathan & Markus Schneider, en el modelado espacial, Sandro Bimonte, la minería espacial, María Ximena Dueñas Reyes y para el software libre orientado en el análisis espacial, Thierry Badard.

Esta revisión permitirá al interesado en el tema encontrar proyectos y aportes significativos para el desarrollo futuro de algún trabajo relacionado con el análisis espacial, además explorar qué herramientas podría llegar a utilizar para aplicar procesos en la toma de decisiones espaciales.

El artículo tiene la siguiente estructura, en la sección I se presenta la inteligencia de negocios espaciales, la sección II el almacenamiento espacial, la sección III se enfoca en el modelado y consultas espaciales, la sección IV trata la minería espacial; la penúltima sección muestra algunos software y su aplicación en las temáticas tratadas, y finalmente se presentan las conclusiones de la investigación.

1. Inteligencia de negocios espaciales

Sugumaran & Degroote (2011, 13) consideran que la inteligencia de negocios espaciales permite tomar decisiones con base en el análisis de información espacial, combinando elementos de procesamiento analítico y sistemas de información geográfica para la solución de problemas espaciales.

Además señalan (2001, 28), la existencia de decisiones que se adaptan a las necesidades según el proyecto (tales como : asignación y estado de los recursos, selección de sitios, asignación de ubicación, selección y asignación de uso de la tierra), las cuales deben enfocarse en una serie de pasos para llegar a la mejor solución, estos son: «*Inteligencia: formular y encontrar el problema, Diseño: analizar una solución y Elección: seleccionar la mejor solución*» (Sugumaran & Degroote, 2011, 8-9).

1.1 Componentes

Los componentes de un sistema de apoyo a las decisiones espaciales (SDSS)⁴, hace posible la extracción e interpretación del conocimiento, según Sugumaran & Degroote (2011, 66-67): Tecnología de la infor-

4 «Sistema informático que apoya a los tomadores de decisiones en el tratamiento de problemas espaciales, semi-estructurados o no estructurados en forma interactiva, iterativa y con capacidades de modelado de análisis» (Sugumaran & Degroote, 2011, 14).

mación, datos espaciales, aplicaciones, usuarios, desarrolladores, interfaces de usuario, modelados explícitos y expertos.

Para Flacke (2012, 6)2012, cada uno de estos componentes ejecutan unos pasos que permiten extraer, limpiar, transformar y organizar los datos y así obtener un consolidado de información espacial y alfanumérica, para que finalmente se llegue a tomar decisiones relacionadas con un problema específico. La figura 1 muestra la estructura de la arquitectura en donde se encuentran los datos externos, gestión de datos, modelos, diálogos y conocimiento para así producir las decisiones.

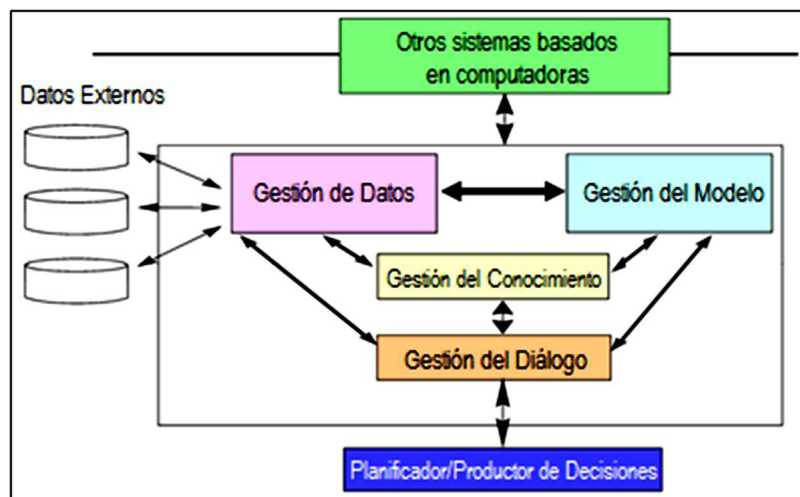


Figura 1. Componentes de SDSS (Flacke, 2012, 6)2012

1.2 Áreas de aplicación

Los buenos resultados que entrega la inteligencia de negocios espaciales han permitido su aplicación en muchas áreas del conocimiento, esto se evidencia en los trabajos presentados en la tabla 1.

Los proyectos muestran la utilización de SDSS, además se calculó una estadística de aplicación en algunas áreas, que se presenta en la figura 2, reflejando el impacto de este método de análisis en la solución de problemas y toma de decisiones.

La estadística refleja que en el área de gestión de recursos naturales la inteligencia espacial tiene gran impacto con 103 trabajos realizados, también cabe destacar su aplicación en áreas como el medio ambiente, agricultura, urbano y la planificación de emergencias.

Tabla 1. Aplicabilidad de la Inteligencia Espacial. (Construida a partir de varias fuentes)

Área	Estudio	Aplicación	Fuente
Socioeconómica	Análisis de datos socio-espaciales con gráficos interactivos	Provincia de Buenos Aires en resaltamiento de datos atípicos espaciales en SIG y (SADE)	Humacata (2010)
Ambiental	Impactos de deposición atmosférica de azufre	Sistemas acuáticos en la región sur de los Apalaches	Reynolds et al. (2012)
Uso del Suelo	Sistema de apoyo territorial para asignación de tierras	Concentración parcelaria, reasignación de tierras, Software AT_MKDS 1.0, Turquía	Uyan, Cay & Akcakaya (2013)
Social	SDSS para ayuda en el sector público	Sistema de información SIGGESC para apoyo a SDSS en SIG en el país de Portugal	Oliveira, Painho & Henriques (2012)
Hidrología	SDSS para gestión de aguas pluviales y evaluación de calidad	Uso de la tierra en Estados Unidos, geolocalizar contaminación en una zona urbana	Kaunda-Bukenya, et al. (2012)
Nutricional	Análisis de indicadores energéticos agrícolas	Verificación de consumos de energía en actividades agropecuarias con reportes de producción	Bimonte et al. (2012b)
Transporte	SDSS Web para ruteo de vehículos utilizando Google Maps	Generación de rutas optimizadas y mapas, fue probado en Coimbra, Portugal	Santos, Coutinho-Rodrigues & Antunes (2011)
Geografía	Procesamiento analítico de datos geográficos con Google Earth	Integración de un Geo Navegador con motor OLAP Mondrian	Martino et al. (2011)
Economía	Modelos de simulación demográficos y económicos	Uso de un modelo de simulación PRIMA con herramientas SOLAP	Mahboubi, Bimonte & Deffuant (2011)
Agricultura	Minería de datos espaciales para la agricultura	Utilización del algoritmo k-means y métodos de optimización de refinamiento progresivo	Rajesh, 2011

2. Almacenamiento espacial

Las bodegas de datos almacenan registros de varios tipos en distintos periodos de tiempo, estos registros se guardan en entidades según los requisitos del negocio; ahora en el caso de las bodegas de datos espaciales se adiciona el tipo de dato espacial, el cual, según Viswanathan & Schneider (2012, 5), potencia las capacidades de las bases de datos y permite obtener un análisis multidimensional soportando nuevas formas de solucionar problemas específicos.

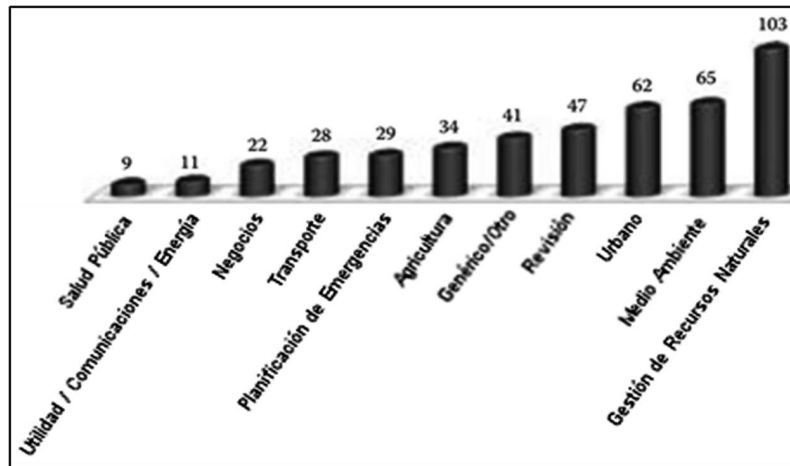


Figura 2. Áreas de utilización de SDSS (Sugumaran & Degroote, 2011, 395)

2.1 Dimensiones y medidas

El almacenamiento espacial, para Mateus et al. (2010, 523), contiene un conjunto de registros repetidos que generan redundancia según el tamaño de la bodega de datos, esto repercute en que los datos se seleccionen detalladamente para la creación de dimensiones y medidas de un cubo espacial, para así generar esquemas lógicos en los GDW (Almacenes de datos geográficos) con miras a mejorar el rendimiento de las consultas. Por su parte, Glorio et al. (2010, 885), muestran la personalización de los almacenes espaciales mediante PRML (Lenguaje de reglas personalizadas de modelamiento), el cual al centrarse en las propias necesidades a nivel conceptual se obtienen instancias más simples en los objetos seleccionados.

2.2 Modelado

El modelado de las bodegas espaciales, para David, Somodevilla & Pineda (2007, 58), maneja un modelo multidimensional donde los objetos definen regiones vagas o al azar para construir datos espaciales difusos, mejorando el rendimiento debido a que se obtienen las características espaciales sin usar métodos tradicionales donde se consulta el almacén de datos desde el principio. Por otra parte, señalan Glorio & Trujillo (2009, 508-511), existe un modelado que utiliza el marco de arquitectura dirigido a modelos, MDA, el cual define su estructura por medio de una extensión UML (Lenguaje de modelamiento unificado) formalizando el lenguaje de restricción de objetos (OCL) para el manejo de las consultas.

En la misma línea, Garg & Mithal (2012), señalan que se han realizado investigaciones sobre los modelos conceptuales, materialización de índices y operaciones de agregación, adquiriendo y consolidando almacenes y cubos de datos con herramientas y características definidas para mejorar el rendimiento. Más aún, expresan Siqueira et al. (2010, 524), se han evaluado almacenes espaciales en la forma en que se insertan los datos de acuerdo con niveles de granularidad espacial. Por último, expresan Sboui & Bédard (2010, 26-27), existen formas de representar un enfoque cualitativo para medir la similitud semántica de datos espaciales con la extensión MGsP (Noción de proximidad geosemántica), la cual se enfoca en este problema para llegar a obtener resultados según las cualidades de los datos.

2.3 Representación de objetos

En cuanto a la representación de objetos en las bodegas de datos espaciales, existen datos de forma discreta o continua, siendo esta última la más eficiente al obtener un modelo multidimensional con medidas y dimensiones más simples, ofreciendo resultados más precisos, según afirman Bimonte & Kang (2010, 64), ahora para Vaisman & Zimányi (2009, 11-13), existen datos extensibles y relaciones de filas con cálculos en funciones agregadas más complejas para representar la información de esas dimensiones y medidas.

En este contexto, un estudio importante es el de Siqueira et al. (2012, 168), que tiene en cuenta el uso de predicados espaciales, con índices llamados SB-Index⁵ y HSB-Index⁶ para utilizar consultas multidimensionales que utilizan jerarquías espaciales predefinidas. Además, afirman Simion, Ray & Brown (2012, 379), existen cargas de trabajo que demandan recursos según el número de consultas y transacciones que se ejecuten sobre los datos.

3. Modelado y consultas espaciales

En el análisis espacial, las consultas son fundamentales para extraer los datos que dependen de un buen modelado de la bodega de datos para cumplir con los requerimientos solicitados. Es importante resaltar la interacción de las consultas con los usuarios y como estos pueden mejorar su experiencia en la manipulación de los datos, para lograrlo, afirman Bimonte et al. (2010, 45-46), se ha generado una metodología que mejora la consulta de datos estructurados por notaciones visuales, lo cual permite la utilización de datos espaciales sin tener mayor cono-

5 SB-Índex: Índice de mapa de bits de estructura de datos secuenciales

6 HSB-Índex: Índice de mapa de bits de estructura de jerarquía de datos

cimiento de la estructura de los mismos. Sin embargo, el rendimiento de estas consultas disminuye con la utilización de algunos componentes externos que pueden utilizar demasiados recursos y generar sensación de demora en los resultados.

3.1 Rendimiento

En el rendimiento de las consultas espaciales puede llegar a existir sobrecarga de información, para solucionarla, de acuerdo con Yaagoub et al. (2012, 429), se diseñaron vistas materializadas que proveen eficiencia en las consultas para llegar a obtener un buen análisis espacial, llamadas *Vistas Materializadas Completas y Parciales*, las cuales permiten agilizar los tiempos de respuestas. Estas también permiten el manejo de tipos de datos genéricos que se representan en tipos de dato discreto o continuo, los cuales utilizan una serie de operadores que se integran en un álgebra relacional, implicando operaciones clásicas como OLAP *Roll Up* y *Drill Down*⁷ para su representación física y así permitir analizar de forma general la información, según lo afirman Gómez, Gómez & Vaisma (2012, 304-305). Por otra parte, de acuerdo con Bimonte et al. (2012a, 25), una forma de mejorar los resultados en las consultas es por medio de la utilización de métodos de generalización y álgebra de mapas, proporcionando mayor visualización y tratamiento de las medidas.

En contexto, Bisceglia, Gómez & Vaisman (2012, 106-108), plantean el manejo de consulta por medio del lenguaje *Piet-QL*⁸, derivado de *Piet*, que integra operaciones OLAP (Procesamiento analítico en línea) a través de operaciones MDX para ejecutar consultas con condiciones espaciales más rápidas.

3.2 Modelos

En cuanto al modelado puede evidenciarse el manejo de procesos de personalización espacial que actualizan el esquema de una base de datos espacial (SDW), utilizando perfiles UML en el espacio multidimensional, modelos de usuario y reglas determinadas, para así obtener el *Metamodelo Estándar de Especificación* para los datos espaciales, como lo señala Glorio et al. (2011, 886-887). Por su parte, para Cuzzocrea & Fidalgo (2012, 17), existen meta-modelos que manejan conceptos de dimensiones y medidas para situar jerarquías y niveles y así implementar constructores y restricciones para conseguir el modelo final.

Adicionalmente, Gómez, Kuijpers & Vaisman (2011, 473), indican el manejo de un lenguaje formal de primer orden llamado $L(t)$ basado

⁷ Estas operaciones son llamadas también filtrado hacia arriba o hacia abajo.

⁸ Lenguaje de consultas para bases de datos espacio-temporales

en representación del tiempo junto a consultas de expresiones multidimensionales (MDX) para utilizar como modelo formal en sistemas de información geográfica (SIG), OLAP y datos de trayectoria para los datos espaciales.

Finalmente, a partir de un nuevo modelo de análisis, Boulil et al. (2010, 34-35), hacen referencia a la calidad de los datos, mediante un lenguaje de restricción de objetos y generación de código automático, llamado *OCL2SQL*, el cual permite extraer los datos más relevantes según unos criterios establecidos.

3.3 Diseño

Viswanathan & Schneider (2011a, 42-43) señalan la existencia de formulaciones OLAP con manejo de objetos espaciales para el diseño, las cuales definen cubos de datos entorno a tres acciones: categorización, contención y medición de volumen de operaciones, esto para definir, manipular, consultar y analizar de forma completa los resultados. No obstante, existen otras estrategias de diseño espacial que incorporan niveles de tipo conceptual, lógico y de aplicación, los cuales introducen nuevos tipos abstractos de datos multidimensionales (ADT) y operaciones de apoyo, afirman Viswanathan & Schneider (2011b, 147-151). En tanto, para Gómez, Vaisman & Zimányi (2010, 30), pueden existir cuestionamientos en la forma de combinar las dimensiones espaciales con las no espaciales y cómo representar estas dimensiones en campos continuos en los niveles mencionados.

4. Minería de datos espaciales

4.1 Técnicas

En la minería de datos espaciales el conocimiento se obtiene a través de la aplicación de técnicas especializadas que integran una serie de algoritmos sobre los grandes volúmenes de datos (Tabla 2), que contienen datos de tipo espacial y alfanumérico, comenta Dueñas Reyes (2009, 147-152).

Además de las técnicas mencionadas anteriormente, existen otras más especializadas, según Guo & Mennis (2009, 405-406), como: patrón de punto, predicción de datos espacio-temporales y análisis de objetos en movimiento, las cuales se utilizaron para desarrollar algoritmos genéticos para la optimización de contextos en la clasificación de imágenes e interpolaciones espaciales, además, como afirman Qing et al. (2010, 299), desarrollos en módulos de optimización multi-objetivo en la toma de decisiones.

Tabla 2. Técnicas de minería de datos espacial y no espacial.
(Obtenida a partir de Dueñas Reyes, 2009, 147-149)

Minería de datos no espacial		Minería de datos espacial	
Técnica	Tipo	Técnica	Algoritmo
Árboles de decisión	Supervisados	Generalización	Jerarquías
Inducción o redes neuronales			Atributos
Regresión lineal			Particional
Serie de tiempo			Jerárquica
Detección de desviaciones o Naive Bayes		Agrupación	Localización k-Means
Reglas de asociación	Localización k-Medoids		
	Clarans		
	SD-Clarans		
	NSD-Clarans		
Patrones secuenciales	No supervisados	Asociación espacial	A priori

4.2 Otros algoritmos

Existen tres algoritmos de minería de datos espaciales, tratados por Laube & Duckham (2009, 413), que hacen posible el manejo de los grandes volúmenes de información: - Minería descentralizada de datos espaciales (DSDM) por medio de una serie de estrategias genéricas, y - *MDFirst*⁹ y *GEOFirst*¹⁰, desarrollados para ejecutar funciones de extracción de información espacial, de los cuales Medeiros et al. (2008, 68-69), consideran, después de evaluarlos, que el último es más adecuado en manejo de minería espacial por rendimiento y sobrecarga de datos.

4.3 Modelado y extracción de datos

En la minería espacial existen proyectos referentes al modelado y extracción de datos, en cuanto al modelado afirman Shekhar, Vatsavai & Chawla (2002, 187-179), se han desarrollado modelos para la predicción y clasificación del territorio como *Campos Aleatorios de Markov* (MRF) y *Modelos Autorregresivos Espaciales* (SAR), cuyas relaciones y comparaciones utilizan elementos probabilísticos y experimentales. Y en cuanto a la extracción de datos se encuentra el prototipo *INGENS* que, según Malerba, Lanza & Appice (2009, 260-261), navega por las estructuras de los datos geográficos e incorpora un lenguaje de consulta llamado SDMOQL el cual contiene muchas herramientas especializadas para mejorar la extracción de conocimiento.

⁹ Algoritmo utilizado en integración de múltiples consultas geográficas

¹⁰ Puede producir la misma salida de *MDFirst* pero varía según la agregación multidimensional utilizada.

4.4 Procesamiento espacial

Otro aspecto importante es el procesamiento espacial en la minería, el cual, afirman Bédard & Han (2009, 65), es fundamental para obtener un almacén de datos acorde con la cantidad de datos manejados; la rapidez y flexibilidad son desafíos cruciales para su implementación. Este procesamiento utiliza las dimensiones espaciales, que son los ejes para su operación, por lo que surgió el Procesamiento Analítico Continuo Espacial en Línea (CSOLAP), señalan Ahmed & Buras (2009, 258), acompañado, según Brito et al. (2011, 155), de procesamientos más eficientes para almacenes de datos espaciales con un número elevado de tablas.

4.5 Aplicación

Existen aplicaciones de gran escala de la minería de datos espaciales, ejemplos de estas son: - según Li et al. (2010, 515), la geografía marina donde los datos sobre su superficie se almacenan en cantidades masivas, otra es la asignación del uso de la tierra donde, - de acuerdo con Eldrandaly (2010, 695), existe un problema que ha generado bastante atención para integrar inteligencia artificial con sistemas de información geográfica utilizando GEP (Expresión Génica de Programación) y MLUA (Problema de asignación del uso de la tierra en múltiples sitios), otra aplicación interesante es, para Wang et al. (2008, 548), la implementación de un modelo *Cloud* para el soporte de decisiones espaciales que propone un método de inducción al conocimiento, representándolo en la nube de forma multidimensional.

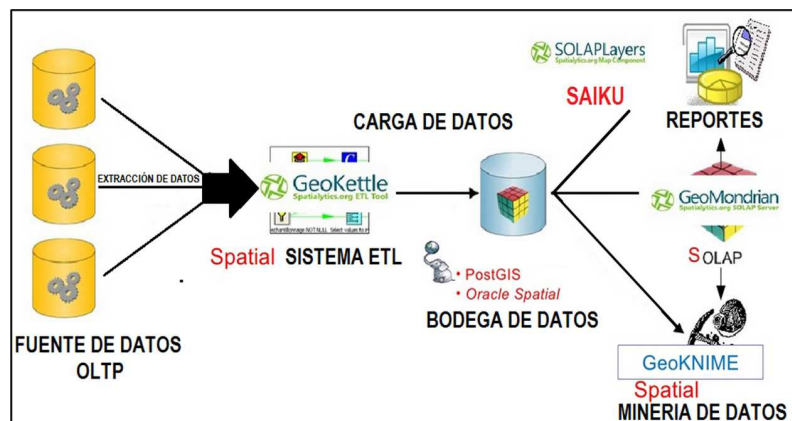


Figura 3. Uso de aplicaciones libres para análisis espacial. (Badard, 2010, 17)

5. Sistemas software

En el manejo y aplicación de sistemas software para el desarrollo de tareas en cuanto al análisis espacial, cabe destacar la automatización y avance de herramientas de software libre que proporcionan herramientas sencillas e intuitivas para poder llegar a obtener resultados claros y precisos. La tabla 3 muestra algunas herramientas de software libre y que tienen licencia pública general (GPL) para cada temática estudiada, y a partir de ella, la arquitectura de integración de estos sistemas permite obtener análisis espacial, tal como se señala en la figura 3.

Tabla 3. Herramientas libres para uso en el análisis espacial

Tarea	Software	Descripción	Sitio web
Base de datos OLTP espacial	Postgresql Postgis	Almacena la información alfanumérica y espacial proporcionando funciones y tipos de datos espaciales.	http://www.postgresql.org/ http://postgis.net/
Diseño del almacén de datos espacial	GeoKettle	Contiene un número de herramientas orientadas a la extracción, transformación y carga de los datos.	http://www.spatialytics.org/projects/geokettle/
Diseño del esquema de cubo de datos	Schema Workbench	Crea el cubo espacial con las definiciones de los datos proporcionadas	http://sourceforge.net/projects/mondrian/files/schema%20workbench/
Servidor de análisis espacial	GeoMondrian	Servidor SOLAP que integra el esquema generado por Schema Workbench para exploración espacial	http://www.spatialytics.org/projects/geomondrian/
Minería de datos espacial	Knime Complemento espacial	Herramienta de análisis que contiene técnicas de minería de datos espacial y no espacial con sus algoritmos.	http://www.knime.org/
Visor grafico de mapas	SolapLayers	Muestra la información de forma espacial apoyándose del servidor GeoMondrian.	http://sourceforge.net/projects/spatialytics/
Visor de resultados espaciales	Saiku ChartPlus	Software para obtener resultados a través de herramientas Drag and Drop y visualización espacial.	http://www.meteorite.bi/saiku http://it4biz.github.io/SaikuChartPlus/

6. Conclusiones

Los estudios recopilados muestran algunos de los avances de las temáticas para el análisis espacial, revisando elementos de importancia sobre: la inteligencia de negocio espacial, el almacenamiento espacial, modelado y consultas, minería espacial y software de aplicación.

En cuanto a la inteligencia de negocios espaciales se denotaron componentes como el SDSS para interpretación del conocimiento y su

aplicación en áreas del quehacer humano para la ayuda en la toma de decisiones.

Por otra parte en el almacenamiento espacial se evidencia la construcción de dimensiones y medidas según esquemas y reglas personalizadas, construcción de modelos utilizando lenguaje UML y manejo de niveles de granularidad, además de la representación de objetos con el uso de índices especializados en el manejo de las transacciones.

Consecuentemente, en el modelado y consultas espaciales se reflejan trabajos orientados al rendimiento como las vistas materializadas completas y parciales para mejorar tiempos de respuesta, otros más enfocados al modelado según el meta-modelo estándar de especificación para creación de jerarquías y niveles y finalmente en el diseño con los tipos abstractos de datos multidimensionales para la representación espacial de campos continuos.

Otro aspecto fue la minería espacial con sus variadas técnicas y algoritmos como DSDM, MDFirst y GeoFirst, en donde se combinan elementos como modelados, procesamiento y aplicaciones en la extracción del conocimiento.

Por último, se muestra una arquitectura de software donde se siguen los pasos de extracción, transformación y carga de los datos para crear la bodega de datos con GeoKettle, crear el cubo espacial en GeoMondrian, aplicar minería espacial con GeoKnime y generar reportes en Saiku.

Referencias bibliográficas

- AHMED, Taher. & BURAS, Abdullatif. (2009). CSOLAP (Continuous Spatial On-Line Analytical Processing). In: World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol 30, No. 6 (jun). Al jabal al gharbi (Libya): EBSCO, p.218-226. ISSN: 1307-6892
- BADARD, T. (2010). Open source Geospatial Business Intelligence in action with GeoMondrian and SOLAPLayers [online]. Quebec (Canada): FOSS4G 2010 <<http://www.slideshare.net/tbadard/open-source-geospatial-business-intelligence-in-action-with-geomondrian-and-solaplayers-5194036>>[consulta: 12.01.2014]
- BÉDARD, Y. & HAN, J. (2009). Fundamentals of spatial data warehousing for geographic knowledge discovery. In: MILLER, H.J & HAN, J. (2009). Geographic Data Mining and Knowledge Discovery. 2 ed. Research Monographs in GIS, No. 3, Florida (USA): CRC Press. p. 53-73. ISSN: 9781420073973
- BIMONTE, S.; BERTOLOTTO, M.; GENSEL, J. & BOUSSAID, O. (2012a). Spatial OLAP and Map Generalization Model and Algebra. In: International Journal of Data Warehousing and Mining. Vol 8, No. 1 (jan). Pensilvania (USA): ACM, p. 24-51. ISSN: 1548-3924
- BIMONTE, S.; BOULIL, K.; CHANET, J.P. & PRADEL, M. (2012b). Definition and analysis of new agricultural farm energetic indicators using spatial OLAP. In: 12th international conference on Computational Science and Its Applications. Vol. 2, (jun). Berlin (Germany): ACM, p. 373-385. ISSN: 978-3-642-31074-4
- BIMONTE, S., FATTO, V. D., PAOLINO, L., SEBILLO, M., & VITIELLO, G. (2010). A Visual Query Language for Spatial Data Warehouses. In: Geospatial Thinking, Vol 0, (Francia): Springer Berlin Heidelberg, p. 43-60. ISBN: 978-3-642-12326-9
- BIMONTE, S. & KANG, M.A. (2010). Towards a Model for the Multidimensional Analysis of Field Data. In: Proceedings of the 14th east European conference on Advances in databases and information systems. (sep). Vojvodina (Republic of Serbia): ACM, p. 58-72. ISBN: 3-642-15575-8

- BISCEGLIA, P., GOMEZ, L., & VAISMAN, A. (2012). Temporal SOLAP: Query Language, Implementation, and Use Case. In: CEUR Workshop Proceedings. Vol. 866. (jun). Preto (Brasil): BibSonomy, p. 102-113
- BOULIL, K., BIMONTE, S., MAHBOUBI, H., & PINET, F. (2010). Towards the definition of spatial data warehouses integrity constraints with spatial OCL. In: 13th international workshop on Data warehousing and OLAP. (oct). Houston (USA): ACM, p. 31-36. ISBN: 978-1-4503-0383-5
- BRITO, J. J., SIQUEIRA, T. L. L., TIMES, V. C., CIFERRI, R. R., & CIFERRI, C. D. d. (2011). Efficient processing of drill-across queries over geographic data warehouses. In: 13th international conference on Data warehousing and knowledge discovery. (aug). Berlin (Germany): ACM, p. 152-166. ISBN: 978-3-642-23543-6
- CUZZOCREA, A., & FIDALGO, R. (2012). Enhancing coverage and expressive power of spatial data warehousing modeling. In: 14th international conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery. (sep). Berlin (Germany): ACM, p. 15-29. ISBN: 978-3-642-32583-0
- DAVID, P., SOMODEVILLA, M.J. & PINEDA, I.H. (2007). Fuzzy Spatial Data Warehouse: A Multidimensional Model. In: Eighth Mexican International Conference on Current Trends in Computer Science, 2007, ENC 2007. (24-28/09/2007). Morelia (Michoacan, Mexico): Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. (Mexico): IEEE Xplore, p. 3-9. ISBN: 978-0-7695-2899-1
- DUEÑAS REYES, M. X. (2009). Minería de datos espaciales en búsqueda de la verdadera información [en línea]. En: Ingeniería y Universidad, Vol. 13. No.1 (ene-jun). Bogotá (Colombia): Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. p. 137-156. ISSN: 0123-2126
- ELDRANDALY, K. (2010). A GEP-based spatial decision support system for multisite land use allocation. In: Elsevier Science Publishers. Vol. 10. No. 3. (jun). Amsterdam (Netherlands): ACM, p. 694-702. ISSN: 1568-4946
- FLACKE, J. (2012). Spatial Decision Support Systems – Introduction to Concepts and Requirements [online]. In: Web-GIS and Spatial Data Infrastructure. (nov). (Netherlands): Faculty of Geo-InformationScience and Earth Observation, Inc.p. 30. <<http://www.changes-itn.eu/Portals/0/Content/2012/Dortmund%20November/Changes%20Dortmund%20Flacke%20SDSS%20concepts%20requirements.pdf>> [consult: 16.01.2014]
- GARG, N., & MITHAL, S. (2012). Spatial Data warehouses: A survey [online]. In: Computer Science & Engineering. Minnesota (USA): Spatial Databases CSCI 8715, Inc. <<http://www-users.cs.umn.edu/~smithal/P9.pdf>> [consulta: 16/01/2014]
- GLORIO, O.; MAZÓN, J.N.; GARRIGÓS, I. & TRUJILLO, J. (2011). A personalization process for spatial data warehouse development. In: Decision Support Systems. Vol. 52, No. 4. (mar). Amsterdam (The Netherlands): ACM, p. 884-898. ISSN: 0167-9236
- GLORIO, O., MAZÓN, J. N., GARRIGÓS, I., & TRUJILLO, J. (2010). Using Web-based Personalization on Spatial Data Warehouses. In: 2010 EDBT/ICDT Workshops (22-26/03/2010). Lausanne (Switzerland): ESPIA project. Proceedings of the 2010 EDBT/ICDT Workshops No. 8, (mar). New York (USA): ACM. p. 8:1-8:8. ISBN: 978-1-60558-990-9
- GLORIO, O., & TRUJILLO, J. (2009). Designing Data Warehouses for Geographic OLAP querying by using MDA. In: ICCSA '09 (29/07/2009). Seoul (Korea): International Association of Engineers. Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications: Part I. (jul). Berlin (Germany): ACM, p. 505-519. ISBN: 978-3-642-02453-5
- GÓMEZ, L., KUIJPERS, B., & VAISMAN, A. (2011). A data model and query language for spatio-temporal decision support. In: Geoinformatica. Vol.15. No. 3 (jul). (USA): Springer, p. 455-496. ISSN:1573-7624
- GÓMEZ, L., VAISMAN, A., & ZIMÁNYI, E. (2010). Physical design and implementation of spatial data warehouses supporting continuous fields. In: DaWaK'10 Proceedings of the 12th international conference on Data warehousing and knowledge discovery. (aug). Berlin (Germany): ACM, p. 25-39. ISBN: 3-642-15104-3
- GÓMEZ, L. I., GÓMEZ, S. A., & VAISMAN, A. A. (2012). A generic data model and query language for spatiotemporal OLAP cube analysis. In: EDBT '12 Proceedings of the 15th International Conference on Extending Database Technology. (mar). New York (USA): ACM, p. 300-311. ISBN: 978-1-4503-0790-1
- GUO, D., & MENNIS, J. (2009). Spatial data mining and geographic knowledge discovery-An introduction. In: Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 33, No. 6 (nov). Philadelphia (USA): Science Direct, p. 403-408. ISSN: 978-1-4244-7388-5
- HUMACATA, L. M. (2010). Análisis exploratorio de datos socio-espaciales mediante gráficos interactivos. In: Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Vol. 2, No. 2 (mar). Lujan (Argentina): Universidad Nacional de Luján, p. 135-163.
- KAUNDA-BUKENYA, N., TADESSE, W., FU, Y., TSEGAYE, T., & WAGAW, M. (2012). Spatial Decision Support System for Stormwater Management and Water Quality Assessment. In: Intech. No. 1 (apr). (USA): Intech, p.23. ISBN: 978-953-51-0486-5

- LAUBE, P., & DUCKHAM, M. (2009). Decentralized Spatial Data Mining for Geosensor Networks [online]. In: GSN (2009) Victoria (Australia): Geosensor. <<http://www.geosensor.net/papers/laube08.GKD.pdf>> [consult: 16.01.2014]
- LI, G., RENCAN, P., YIDONG, Z., & JIDONG, Z. (2010). Spatial Data Mining and its application in Marine Geographical Information System. In: Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference on. Vol.1 (jul). Wuhan (China): IEEE Xplorer, p. 514-516. ISSN: 978-1-4244-7387-8
- MAHBOUBI, H., BIMONTE, S., & DEFFUANT, G. (2011). Analyzing demographic and economic simulation model results: a semi-automatic spatial OLAP approach. In: ICCSA'11 Proceedings of the 2011 international conference on Computational science and its applications. Vol. 1 (jun). Berlin (Germany): ACM, p.17-31. ISBN: 978-3-642-21927-6
- MALERBA, D.; LANZA, A. & APPICE, A. (2009). Leveraging the Power of Spatial Data Mining to Enhance the Applicability of GIS Technology [online]. In: MILLER, H.J & HAN, J. (ed.) (2009). Geographic Data Mining and Knowledge Discovery. 2 ed. Serie Chapman & Hall Data Mining and Knowledge Discovery Series. Florida (USA): CRC Press. p. 257-292. ISBN: 978-1-4200-7398-0. <<http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/9781420073980>> [consulta: 16.01.2014]
- MATEUS, R. C., SIQUEIRA, T. L., TIMES, V. C., CIFERRI, R. R., & CIFERRI, C. D. (2010). How Does the Spatial Data Redundancy Affect Query Performance in Geographic Data Warehouses [online]. In: Journal of Information and Data Management, Vol. 1, No. 3 (oct). Brasilia (Brasil): Brazilian Computer Society Special Interest Group on Databases, p. 519-534. ISSN: 2178-7107 <<http://seer.lcc.ufmg.br/index.php/jidm/article/viewFile/61/36>> [consult: 16.01.2014]
- MARTINO, S., BIMONTE, S., BERLOLOTTO, M., FERRUCCI, F., & LEANO, V. (2011). Spatial OnLine Analytical Processing of Geographic Data through the Google Earth Interface. In: Geocomputation, Sustainability and Environmental Planning. Vol. 348. (oct). Berlin (Alemania): Springer, p.163-182. ISBN:978-3-642-19733-8
- MEDEIROS, V. N., FIDALGO, R. N., TIMES, V. C., SALGADO, A. C., SILVA, J., CAMPOS, M. A., & OLIVEIRA, A. G. (2008). Especificação e avaliação de algoritmos para processamento multidimensional-geográfico. In: 23rd Brazilian symposium on Databases. (oct). Puerto Alegre (Brasil): ACM, p. 61-75
- OLIVEIRA, T. H. M. d., PAINHO, M., & HENRIQUES, R. (2012). A spatial decision support system for the Portuguese public transportation sector. In: IWGS '12 SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming. (nov). New York (USA): ACM, p. 84-90. ISSN: 978-1-4503-1695-8
- QING, J.; HUBIN, L.; JIAOE, L. & JING, L. (2010). The Research on Spatial Data Mining Module Based on Multi-objective Optimization Model for Decision Support System. In: Intelligent Systems (GCIS), Second WRI Global Congress on. Vol. 3 (dec). Wuhan (China): IEEE Xplorer, p. 299-302. ISBN: 978-1-4244-9247-3
- RAJESH, D. (2011). Application of Spatial Data Mining for Agriculture [online]. In: International Journal of Computer Applications. Vol. 15. No. 2, (feb). (India): IJCAONLINE, p. 7-9. ISBN: 0975-8887. <<http://ijcaonline.net/volume15/number2/pxc3872566.pdf>> [consult: 04/02/2014]
- REYNOLDS, K. M.; HESSBURG, P. F.; SULLIVAN, T.; POVAK, N.; MCDONNELL, T.; COSBY, B. & JACKSON, W. (2012). SDSS for Assessing Impacts of Atmospheric Sulfur Deposition on Aquatic Ecosystems. In: System Science, 2012 45th Hawaii International Conference. (jan). Hawai (USA): IEEE Xplorer, p.1197-1206. ISBN: 978-0-7695-4525-7
- SANTOS, L., COUTINHO-RODRIGUES, J., & ANTUNES, C. H. (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. In: Decision Support Systems. Vol. 51. No. 1 (apr). Amsterdam (The Netherlands): ACM, p. 1-9. ISSN: 0167-9236
- SBOUI, T., & BÉDARD, Y. (2010). MGsP: extending the GsP to support semantic interoperability of geospatial data cubes. In: Advances in Conceptual Modeling – Applications and Challenges. Vol. 6413 (jun). Vancouver (Canada): Springer, p. 23-32. ISBN: 978-3-642-16385-2
- SHEKHAR, S.; VATSAVAI, R.R. & CHAWLA, S. (2002). Spatial contextual classification and prediction models for mining geospatial data. In: IEEE Press Piscataway. Vol. 4, No. 2 (jun). New Jersey (USA): ACM, p.174-188. ISSN: 1520-9210
- SIMION, B., RAY, S., & BROWN, A. D. (2012). Surveying the landscape: an in-depth analysis of spatial database workloads. In: 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems. (nov). New York (USA): ACM, p. 376-385. ISBN: 978-1-4503-1691-0
- SIQUEIRA, T. L., CIFERRI, C. D. D., TIMES, V. C., & CIFERRI, R. R. (2012). The SB-index and the HSB-index: efficient indices for spatial data warehouses. In: Geoinformatica, Vol. 16. No. 1 (jan). Massachusetts (USA): ACM. p. 165-205. ISSN: 1384-6175

- SIQUEIRA, T. L. L., CIFERRI, R. R., TIMES, V. C., & CIFERRI, C. D. D. A. (2010). Benchmarking spatial data warehouses. In: *Proceedings of 12th international conference on Data warehousing and knowledge discovery*. (aug). Berlin (Germany): Springer. p.40-51. ISBN: 3-642-15104-3
- SUGUMARAN, R., & DEGROOTE, J. (2011). *Spatial Decision Support Systems - Principles and Practices*. New York (USA): CRC Press. 507 p. ISBN: 978-1-4200-6212-0
- UYAN, M., CAY, T., & AKCAKAYA, O. (2013). A Spatial Decision Support System design for land reallocation: A case study in Turkey. In: *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 98 (oct). Amsterdam, (The Netherlands): ACM. p. 8-16. ISSN: 0168-1699
- VAISMAN, A., & ZIMÁNYI, E. (2009). What Is Spatio-Temporal Data Warehousing? In: *11th International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*. (aug). Berlin (Germany): ACM. p. 9-23. ISBN: 978-3-642-03729-0
- VISWANATHAN, G. & SCHNEIDER, M. (2011a). OLAP Formulations for supporting complex spatial objects in data warehouses. In: *13th international conference on Data warehousing and knowledge discovery*. (aug). Toulouse, (France): Springer. p. 39-50. ISBN: 978-3-642-23543-6
- VISWANATHAN, G. & SCHNEIDER, M. (2011b). On the requirements for user-centric spatial data warehousing and SOLAP. In: *16th international conference on Database systems for advanced applications*. (apr). Hong Kong, (China): ACM. p. 144-155. ISBN: 978-3-642-20243-8
- VISWANATHAN, G. & SCHNEIDER, M. (2012). User-centric spatial data warehousing: a survey of requirements and approaches. In *International Journal of Data Mining, Modelling and Management*. Vol. 6, No. 4. Texas (USA). Inderscience. ISSN: 1759-1171
- WANG, H.I.; MENG, L.; CAO, M.-k. & LI, Y. (2008). Data Mining Application Based on Cloud Model in Spatial Decisions. In: *International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*. Vol 1. (aug). Washington (USA). ACM. p. 547-551. ISBN: 978-0-7695-3290-5
- YAAGOUN, A., LIU, X.; TRAJCEVSKI, G.; TANIN, E. & SCHEUERMANN, P. (2012). Materialized views for count aggregates of spatial data. In: *16th East European conference on Advances in Databases and Information Systems*. (sep). Poznan, (Poland): ACM, p. 427-440. ISBN: 978-3-642-33073-5