

Revisión del Estado Actual de la Inteligencia de Negocios Espaciales

Christiam A. Niño*

Fecha de recibido: 20/11/2013

Fecha de Aprobación: 21/03/2014

Resumen

La necesidad de analizar la información y obtener resultados claros y precisos ha llevado a que las organizaciones desarrollen métodos y procedimientos que involucren el uso de muchos datos. Estos datos que se almacenan en grandes volúmenes en sus bases de datos se han convertido en el producto más importante para la toma de decisiones, utilizando un nuevo factor el cual generó ventaja competitiva. Este factor es el tipo de dato espacial o geométrico que brinda nuevas posibilidades de análisis, involucrando sitios y coordenadas geográficas para establecer el lugar donde ocurrió un evento y sus atributos relacionados. La aplicación de la inteligencia de negocios espaciales o también llamada Procesamiento Analítico en Línea Espacial - SOLAP adquiere un papel fundamental en el análisis para la toma de decisiones, implicando un número de áreas para poder desarrollarse y que se aplican en diversas temáticas para la solución de problemas. Entre las áreas más utilizadas para aplicar SOLAP se encuentra la minería de datos, bodegas de datos, modelado espacial y consultas. El artículo muestra que se ha hecho hasta el momento en la aplicación de SOLAP y algunas de sus áreas, aplicativos software desarrollados y de qué manera ha dado solución a problemas en varias temáticas.

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

Abstract

The need to analyze the information and obtain clear and accurate results has led organizations to develop methods and procedures involving the use of many data. These data which are stored in large volumes in their databases have become the product most important in the take decisions, using new factor which gender competitive advantage. This factor is the type of spatial or geometric data that provides new opportunities for analysis, involving sites and geographic coordinates to establish the location of an event and its related attributes occurred. The application of the spatial business intelligence, also called spatial online analytical processing SOLAP plays a fundamental role in the analysis for decision making, involving a number of areas to be developed and applied in various topics to the problems solution. Among the areas used to implement SOLAP is data mining, data warehousing, modeling and spatial queries. The article shows that it has made so far in implementing SOLAP and some of its areas, software applications developed and how has given solution to problems in various topics..

Keywords: *Data Mining Spatial, Spatial Business Intelligence, Spatial Online Analytical Processing, Spatial Data Warehouses.*

* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá, Colombia. christiam.nino@uptc.edu.co.

‡ Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la Revista Colombiana de Computación siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la Revista Colombiana de Computación.

1. Introducción

En la actualidad los datos se han convertido en un elemento fundamental en la toma de decisiones para solucionar problemas presentes o futuros; a su vez estos datos se encuentran alojados en grandes bases de datos en un recopilado histórico lo que hace idóneo su análisis a partir de inteligencia de negocios, además si a esto le sumamos la existencia de datos de tipo espacial que permiten tener una visión mucho más amplia y clara de donde ocurrió un evento específico que hace posible utilizar inteligencia de negocios espaciales.

En este artículo se pretende abordar el estado actual de la inteligencia de negocios espaciales realizando una observación en algunas de las áreas y trabajos más relevantes realizados hasta la fecha con el fin de conocer el desarrollo en SOLAP . A partir del análisis y organización de estos estudios se busca la integración de la inteligencia de negocios espaciales con el desarrollo de proyectos que involucren a las organizaciones en la mejor toma de decisiones, ya sea de tiempo y/o recursos aprovechando el dato de tipo espacial o geográfico.

El documento se organiza de la siguiente manera según las temáticas a tener en cuenta: La primera sección realiza una visión general sobre el tema. En la segunda sección se describen las formas en que se realiza el almacenamiento espacial. En la tercera sección se trata el modelado y manejo de consultas espaciales. La cuarta sección se enfoca en la minería espacial y algoritmos desarrollados para el tratamiento de datos espaciales. En la penúltima sección se realiza un paralelo de los sistemas software enfocado hacia SOLAP y la aplicabilidad en proyectos reales que se han desarrollado. Por último, se realizan las conclusiones de la investigación.

Este compilado de estudios permitirá al interesado en el tema encontrar elementos para el desarrollo futuro de algún estudio relacionado con inteligencia de negocios espaciales.

2. Visión General

En el desarrollo del artículo se utilizaron fuentes bibliográficas de diferentes sitios; estos son listados en la Tabla 1 que muestra la dirección electrónica para su consulta y de donde fueron recolectados.

Fuente	URL
ProQuest	http://www.proquest.com
ACM	http://www.acm.org
Digitalia	http://www.digitaliapublishing.com
Ebrary	http://www.ebrary.com/corp
IEEE Explore	http://ieeexplore.ieee.org
EBSCO	http://search.ebscohost.com
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
Springer	http://www.springer.com
Scopus	http://www.scopus.com

Tabla 1. Bases de datos consultadas. El listado mencionado fue el utilizado en la realización de este artículo. Fuente. Elaboración propia

2.1 ¿Qué es la Inteligencia de Negocios Espaciales?

La información espacial ayuda en la toma de decisiones para aprovechar o administrar los recursos que se dispondrán o utilizarán en el futuro, este tipo de información tiene características asociadas como lugar, escala y tiempo, que además se encuentra relacionada en ámbitos políticos, educativos, administrativos, empresariales, académicos, sociales y personales [1]. Con respecto a lo anterior existen tipos de toma de decisiones que se adaptan a las necesidades según el proyecto o trabajo a desarrollar, algunas de estos tipos son: asignación y estado de los recursos, selección de sitios, asignación de ubicación, selección y asignación de uso de la tierra, entre otras [1].

La inteligencia de negocios espaciales provee de soluciones que se apoyan en decisiones, estas deben enfocarse en una serie de pasos para encontrar la mejor solución, los cuales son: *Inteligencia*: para formular y encontrar el problema, *Diseño*: para analizar una solución y *Elección*: para seleccionar la mejor solución [1].

2.2 Componentes

Existen componentes que hacen posible que exista inteligencia de negocios espaciales y que interactuando entre sí permiten extraer el conocimiento; estos componentes se pueden apreciar en la Fig. 1, donde los datos, su administración, modelado, descubrimiento de conocimiento y toma de decisiones se interrelacionan entre sí permitiendo que se pueda llegar a soluciones.

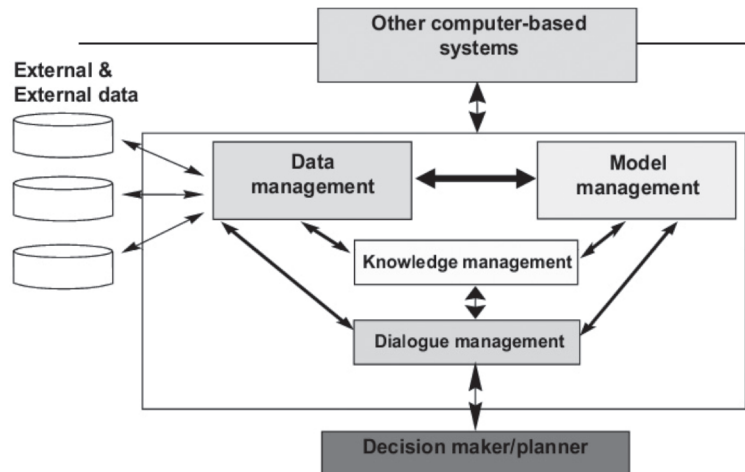


Fig. 1. Componentes de SDSS. La figura muestra la interacción de los datos desde su consulta inicial pasando por una serie de etapas de gestión y modelado para finalmente obtener los elementos para la toma de decisiones. Fuente. [2]

2.3 Áreas de Aplicación

El posicionamiento de esta tecnología ha permitido que se utilice en un número considerable de áreas para obtener resultados según proyecciones pasadas, presentes y futuras. Lo anterior revela que cada vez más son los proyectos en que se decide realizar estudios de Sistemas de Apoyo a Decisiones Espaciales - SDSS para mejorar sus operaciones, una proyección según Flake [2] en la Fig. 2, muestra cómo se ha utilizado este análisis en algunos sectores.

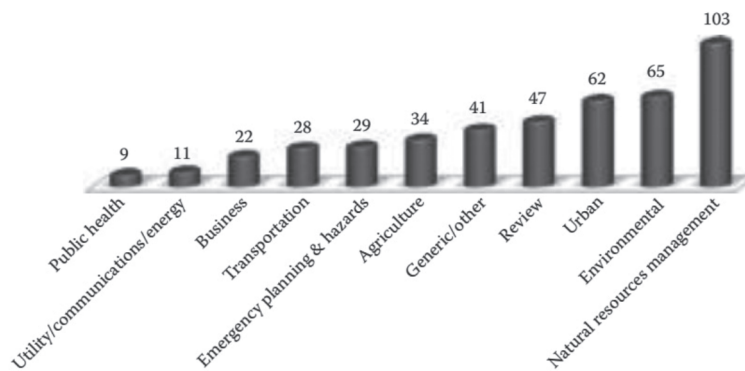


Fig. 2. Áreas de utilización SDSS. Estadísticas de aplicación de SDSS en diferentes áreas del desarrollo humano. Fuente. [2]

3. Almacenamiento Espacial

Las bases de datos espaciales utilizan una serie de datos de diferentes tipos los cuales se organizan según enfoques que satisfacen necesidades específicas, estos datos incorporan el componente espacial el cual potencia las capacidades de las bases de datos y permiten realizar un análisis multidimensional, soportando nuevas formas de solucionar problemas [3].

En este contexto específico la serie de trabajos realizados se basan en la forma como se almacenan y utilizan los datos, estos permiten analizar grandes volúmenes de información que agregan predicados especiales con índices llamados SB-Index¹ y HSB-Index² para activar consultas multidimensionales que soporten jerarquías especiales predefinidas [4]. Además, existen cargas de trabajo que demandan recursos según el número de consultas y transacciones que se ejecuten [5].

También se han realizado investigaciones sobre los modelos conceptuales y materialización de índices y operaciones de agregación, adquiriendo y consolidando almacenes y cubos de datos con herramientas y características definidas [6]. Por lo anterior, se ha realizado un proyecto que evalúa los diferentes almacenes espaciales en la forma en que se agregan datos de acuerdo con niveles de granularidad espacial [7]; además existe la forma de representar un enfoque cualitativo para medir la similitud semántica de datos espaciales con la extensión MGSP [8]³.

Por otra parte, el almacenamiento espacial contiene un conjunto de registros repetidos que generan redundancia; esto influye directamente en que se elija muy bien qué datos se almacenarán y serán asociados a las dimensiones y cómo manejar estos en el diseño de esquemas lógicos GDW⁴ para mejorar las consultas [9].

Otra visión muestra la personalización de los almacenes espaciales llamada PRML⁵ que se enfoca en el poder centrarse en las propias necesidades conceptuales para así obtener instancias más simples [10]. Por otra parte, el manejar un modelo multidimensional donde los objetos definen regiones vagas con técnicas de modelado para construir datos espaciales difusos mejora el rendimiento [11].

1 Índice de estructura de datos secuencial

2 Índice de estructura de datos jerárquica

3 Noción de proximidad geo semántica extendida

4 Almacenes de datos geográficos

5 Lenguaje de modelado de personalización de reglas

Las bases de datos espaciales manejan los datos de forma discreta y/o continua, siendo esta última la manera más eficiente, se diría que el ofrecer un modelo multidimensional que concentra medidas y dimensiones en este tipo generara más rendimiento y ofrecerá resultados más precisos [12], pero hay que tener en cuenta que existen actividades, eventos y procesos en la dinámica espacial que hacen que la construcción espacial en estas bases de datos generen descubrimiento de conocimiento de forma diferente a la de una base de datos no espacial [13], implicando datos extensibles y relaciones de tuplas con cálculos en funciones agregadas [14].

Por último, en el almacén de datos espacial y su análisis desde una perspectiva espacio-temporal se tiene que la información se representa en cubos de datos multidimensionales adaptables para usar en minería de datos espaciales [15], por esta razón es necesario tener en cuenta los problema de calidad y los riesgos en el almacenamiento [16], teniendo en cuenta si se va a tratar con campos continuos que exigen que se definan los tipos de datos apropiados y operaciones para su correcto almacenaje y manipulación [17].

En el diseño de almacenes de datos existe un modelado que utiliza MDA⁶, el cual define su estructura por medio de una extensión UML⁷ formalizando además un lenguaje denominado OCL⁸ para el manejo de las consultas [18].

4. Modelado y Consultas Espaciales

El manejo de modelos y consultas espaciales es fundamental en la extracción de datos y sus tiempos de respuesta ya que existe una actualización y sobrecarga de información para optimizar estos tiempos, para ello se han creado vistas materializadas que permiten mejor eficiencia en las consultas y análisis espacial, estas vistas son llamadas Vistas Materializadas Completas y Parciales que permiten mejorar los tiempos de respuestas en las consultas espaciales [19]. Estas vistas a su vez permiten el manejo de tipos de datos genéricos que se representan como se mencionó en el almacenamiento espacial, en tipos de datos discretos y continuos, los cuales permiten manejar una serie de operadores para su utilización; lo anterior se integra en un álgebra relacional que implica operadores clásicos como OLAP⁹ Roll Up¹⁰ y Drill Down¹¹ para su representación física y permitir analizar de forma general la información [20].

6 Algoritmo de desarrollo multiespectral

7 Lenguaje de modelamiento unificado

8 Lenguaje de restricción de objetos

9 Procesamiento analítico en línea

10 Generalizar

11 Especificar

Llegado a este punto se puede evidenciar el manejo de procesos de personalización espacial, de manera que se actualiza el esquema SDW utilizando para ello perfiles UML para el espacio multidimensional, un modelo de usuario y lenguaje de reglas, para así obtener el Meta-modelo Estándar de Especificación para este tipo de información [21]. Se observa como los meta-modelos manejan los conceptos de dimensiones y atributos para situarse en jerarquías y niveles para implementar constructores y restricciones para seguir el modelo final [22]. Como si fuera poco, se debe soportar un modelamiento complejo para encontrar estereotipos de atributos y medidas en objetos espaciales y aumentar de esta manera el poder de cobertura y modelización en el almacén de datos [23].

En lo que se refiere a consultas se valora que cerca de 80% de los datos que se utilizan en la toma de decisiones tienen componente espacial [24], razón por la cual se desarrolló una forma de mejorar los resultados por medio de un álgebra de generalización de mapas, esta proporciona una forma más legible de visualización y tratamiento de medidas [25]. Por otra parte el manejo de un lenguaje de consulta llamado TPiet-QL¹² permite el cambio de objetos espaciales a través del tiempo permitiendo realizar análisis de suelos y relacionados [26].

En vista al tema, existen formulaciones OLAP que soportan objetos espaciales que definen cubos de datos con categorización, contención y medición de volumen de operaciones, esto para definir, manipular, consultar y analizar de forma completa los resultados [27]. No obstante, existen estrategias de modelado que incorporan los tres niveles del diseño: conceptual, lógico y aplicación que incorporan en su desarrollo nuevos tipos abstractos de datos multidimensionales ADT y operaciones de apoyo [28]. También existe un modelo formal basado en representación de fecha y hora que introduce un lenguaje formal de primer orden denotado como Lt¹³ que expresa espacio-temporales en SIG¹⁴, OLAP y datos de trayectoria [29].

Con relación a la topología del dato también es muy importante tener en cuenta elementos como puntos, polígonos y líneas que son esenciales para la interpretación, además en este modelado se utilizan técnicas de optimización heurísticas, meta-heurísticas y de programación matemática [30]. Hay otro aspecto que implica el lenguaje de consulta multidimensional GeoMDQL¹⁵ que analiza el dato por medio de un

12 Lenguaje de programación enfocado a mapas de bits

13 Plantilla léxica

14 Sistema de información geográfica

15 Lenguaje de consulta geográfica multidimensional

diagrama de clases UML proponiendo sus especificaciones formales en un cubo de datos espacial [31].

En el diseño físico para la implementación de los almacenes de datos espaciales pueden existir cuestiones en la forma de combinar las dimensiones espaciales y las no espaciales como también representar estas en campos continuos [32], lo que representa un nuevo modelo de calidad de análisis cuyo resultado viene dado directamente de la calidad de los datos; para esto se creó un lenguaje de restricción de objetos y generación de código automático llamado OCL2SQL el cual permite en gran medida solucionar este tipo de requerimientos [33].

En el manejo de consultas también es importante la interacción con los usuarios y como estos pueden mejorar su experiencia en la manipulación de los datos, para ello se ha generado una metodología que soporta la consulta de datos estructurados por notaciones visuales, lo cual mejora considerablemente la utilización de datos espaciales sin tener mayor conocimiento de la estructura de los mismos [34]. Sin embargo, el rendimiento de las consultas se ve afectado ya que algunas formas de obtener la información pueden utilizar demasiados recursos y de esta forma generar la sensación de demora en los resultados para la toma de decisiones, razón por la cual se comparan formas de indexación para consultas como SB-Index, Star-Join¹⁶ y R-Tree, dando como resultado según pruebas que el índice SB-Index mejora el rendimiento de un 25% a un 69% en las consultas [35].

Existen también formas de mejorar las consultas a través de tecnologías de la información como XML¹⁷, la cual permite el intercambio de cubos de datos espaciales con un contexto de servicio web [36]. Otra forma es el manejo de sistemas MOLAP¹⁸ que procesan funciones agregadas para consultas espaciales [37] y manejo de múltiples asociaciones entre relaciones para mapas generalizados [38].

Además, si se separan los tipos de almacén de datos y las formas de almacenamiento posibles, se puede disponer de un análisis de varios sectores que se detalla en la Fig. 3, donde se muestran las formas de modelar los datos en almacenes de datos ya sean alfanuméricos, geográficos, detallados y agregados.

16 Unión en estrella

17 Lenguaje de marcas extensible

18 Procesamiento analítico en línea multidimensional

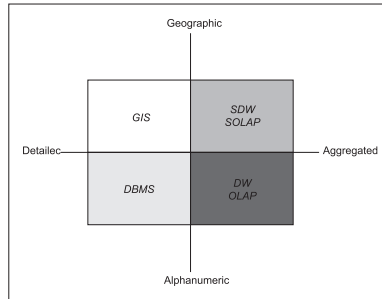


Fig. 3. Clasificación de almacenes de datos según sus tipos de datos y uso. En esta figura se observa un paralelo de clasificación de elementos según el tipo de dato si es espacial, alfanumérico, detallado o agregado. Fuente. [39]

5. Minería Espacial y Algoritmos

En la minería de datos espaciales el conocimiento es fundamental para la toma de decisiones, este se obtiene a través de grandes volúmenes de datos los cuales pueden tener características espaciales o no, además que integra una serie de técnicas para el manejo de la información [40]. La Tabla 2 muestra un paralelo de técnicas de minería de datos utilizadas.

Supervisados	No Supervisados
Árboles de Decisión	Detección de Desviaciones
Inducción Neuronal	Segmentación
Regresión	Agrupamiento
Series Temporales	Reglas de Asociación
	Patrones Secuenciales

Tabla 2. Técnicas de minería de datos. Se clasifican en supervisados y no supervisados, estas técnicas aplican según el tipo de minería de datos que se realice. Fuente. [40]

Al mismo tiempo existen relaciones que tienen o no características espaciales que hacen posible la extracción de datos según una serie de reglas a cumplir [40], la Tabla 3 muestra estas relaciones.

Relaciones No Espaciales (Explícito)	Relaciones Espaciales (Frecuentemente Implícito)
Aritméticas	Orientado a Conjunto: unión, intersección...
Ordenamiento	Topologías: Solapamiento, inclusión...
Subclases de	Métricas
Partes de	Dinámicas

Tabla 3. Relaciones espaciales y no espaciales. Estas relaciones se clasifican según el método de organización de los datos y funciones aplicadas. Fuente. [40]

Las anteriores relaciones se enfocan en paradigmas y metodologías que se evocan en reglas de evolución y meta-reglas para el descubrimiento espacio-temporal [41].

Como se denotaba anteriormente la minería de datos espaciales maneja volúmenes de información grandes, lo que implica el desarrollo de técnicas de análisis especializadas, algunas de ellas son: patrón de punto, predicción de datos espacio-temporales y análisis de objetos en movimiento, a partir de estas se desarrollaron algoritmos genéticos para la optimización de contextos para la clasificación de imágenes e interpolación espacial [42], además existen desarrollos en módulos de optimización multi-objetivo para la toma de decisiones [43].

Hay otro aspecto que aplica a la minería de datos espaciales, tal es el caso de la geografía marina donde los datos sobre su superficie se almacenan en cantidades masivas según el rango de exploración[44], otro es la asignación del uso de la tierra donde hay un problema que ha generado bastante atención para integrar Inteligencia Artificial con Sistemas de Información Geográfica, utilizando para ello GEP¹⁹ y MLUA²⁰ [45], y de esta forma tener un acercamiento a la solución del problema, al mismo tiempo clasificar el territorio, segmentar y agrupar asociaciones territoriales [46].

En la minería de datos espaciales se han desarrollado también modelos para la predicción y clasificación del territorio como MRF²¹ y SAR²², cuyas relaciones y comparaciones se realizan utilizando elementos probabilísticos y experimentales [47]. También existen aplicaciones para mejorar la tecnología GIS, el cual es el caso del prototipo INGENS 2.0 que navega por las estructuras de los datos geográficos e incorpora un lenguaje de consulta llamado SDMOQL²³ el cual contiene muchas herramientas de manejo espacial especializadas [48].

Otra interesante aplicación de la minería de datos espaciales es 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 [49].

Por último se desarrollaron 3 algoritmos de manejo de minería de datos espaciales que hacen posible el manejo de los grandes volúmenes de información; estos son el DSDM²⁴ por medio de una serie de estrategias genéricas [50] y los algoritmos MDFirst y GEOFfirst, una evaluación de los dos muestra que el GEOFfirst es más adecuado en manejo de minería espacial [51].

19 Programación de Expresión Génica

20 Multi-sitio para Uso del Suelo

21 Campos Aleatorios de Markov

22 Modelos Autorregresivos Espaciales

23 Lenguaje de consulta de minería de datos basado en OQL

24 Minería de datos espacial descentralizada

Otro aspecto importante es el procesamiento espacial, fundamental para poder obtener un almacén de datos acorde con la cantidad de datos manejados; la rapidez y flexibilidad son desafíos cruciales para su implementación [52]. Este procesamiento a su vez utiliza las dimensiones espaciales que son los ejes para su operación, por esta razón surgió CSOLAP²⁵ [53], acompañado de procesamientos más eficientes para almacenes de datos espaciales en un número de tablas elevado y su relación con la extracción de datos [54].

6. Aplicabilidad y Sistemas Software

La aplicabilidad de la inteligencia de negocios espaciales se extiende a muchas áreas del conocimiento y del desarrollo humano; estas implican adelantos en el manejo de la información haciendo más claro el camino para la obtención de resultados o llegar a ellos de la mejor manera. Este apartado se enfoca en las aplicaciones prácticas de la inteligencia de negocios espaciales y sistemas software desarrollados para el manejo de la información espacial en el enfoque de análisis de decisiones. La Tabla 4 muestra cada uno de los estudios realizados respecto a aplicabilidad y su estudio.

Estudio	Aplicación	Enlace
SDSS de Clasificación de Imágenes	Evaluación de Superficies de Arroz	[55]
Conglomerados espaciales multivariados	Análisis, Regionalización y Geovisualización	[56]
Clustering Espacial	Visualización de mapas y SOLAP de forma clara	[57]
Análisis de datos socio-espaciales con gráficos interactivos	Provincia de Buenos Aires en resaltamiento de datos atípicos espaciales en SIG y Sistemas de Ayuda de Decisión Espacial (SADE)	[58]
Sistema de apoyo a decisiones espaciales para planificación del uso de la tierra	Identificación de unidades de tierra, verificación de ecosistemas, desarrollo de software Exgis y ForAndesT	[59]
Sistema de apoyo territorial para asignación de tierras en Turquía	Concentración parcelaria, reasignación de tierras, Software AT_MKDS 1.0	[60]
Evaluar impactos de deposición atmosférica de azufre	Sistemas acuáticos en la región sur de los Apalaches	[61]
SDSS para ayuda en el sector público	Sistema de información SIGGESC para apoyo a SDSS en SIG en el país de Portugal	[62]
Diseño de almacenes de datos espaciales para la toma de decisiones en datos geoespacial	Mejor manejo de información en instituciones como autoridad y gobiernos	[63]
SDSS para gestión de aguas pluviales y evaluación de calidad	Uso de la tierra en Estados Unidos, geolocalizar contaminación en una zona urbana	[64]
Efectos de una simulación modelada para transformaciones urbanas en Montecarlo	Plan maestro de SDSS para Castillo Capuano, Nápoles	[65]
Integración de Soft y Hard en SDSS	Selección de indicadores y combinaciones realizado en el territorio del sur de Italia	[66]
Análisis de indicadores energéticos agrícolas	Verificación de consumos de energía en actividades agropecuarias con reportes de producción	[67]
Aplicación de hoja de cálculo basada en SDSS	Ampliar el potencial de uso de SDSS para investigación, gestión y docencia	[68]
SDSS Web para ruteo de vehículos utilizando Google Maps	Generación de rutas optimizadas y mapas, fue probado en Coimbra, Portugal	[69]
Procesamiento analítico de datos geográficos con Google Earth	Integración de un Geo Navegador con motor OLAP Mondrian	[70]
Modelos de simulación demográficos y económicos	Uso de un modelo de simulación PRIMA con herramientas SOLAP	[71]
Minería de datos espaciales para la agricultura	Utilización del algoritmo <i>k-means</i> y métodos de optimización de refinamiento progresivo	[72]
Planificación de infraestructuras urbanas	SDSS orientado a ofrecer al gobierno o agencias municipales ayuda en planeación	[73]
CTMSOLAP Sistema geo decisonal regional	Sistema para evaluar la contaminación para Marruecos, integra además MOLAP y otras herramientas	[74]

²⁵ Procesamiento Analítico Continuo Espacial en Línea

Estudio	Aplicación	Enlace
SDSS de control de contaminación y prevención de la cuenca del río	Combinación entre GRID y DSS para estudiar en detalle la red de información	[75]
SDSS para la evacuación a gran escala de edificios públicos	Basado en Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) para el manejo de emergencias	[76]
SDSS de gran escala de enrutamiento de vehículos	Mejorar la eficiencia y reducir los costos de transporte, aplicado en una compañía China	[77]
SDSS para optimización y estructura del uso del suelo	Aplicación de módulos de uso del suelo y GIS para programación lineal y agrupamiento difuso, usado en Pínggu Beijing	[78]
SDSS para gestión de cítricos	Gestionar la producción de cítricos en granjas de China	[79]
SDSS para bienes raíces	Mejoramiento de análisis cuantitativo y evaluación de bienes raíces	[80]
Análisis de Cubos de Mapas para tráfico en carreteras	Pasos para generación del cubo de mapas	[81]
Infraestructura de geo simulación de propósito general	Implementación de infraestructura de simulación MAGI	[82]
Vigilancia de vulnerabilidades de salud relacionadas con el clima	Proporción de nuevos operadores para explorar datos multidimensionales para diferentes regiones y épocas	[83]
SDSS para la evaluación potencial de proyectos de concentración parcelaria	Mejorar la productividad, reducir costos y mejorar el entorno ecológico, incorporación de análisis de correlación Gray y modelo EPI	[84]
Investigaciones avanzadas SDSS	Concepto basado en orientación a objetos y principio de realización, integrado para generar conocimiento en fuga de químicos peligrosos	[85]
Instalación de la red de transformación de servicios de análisis	Instalación de un análisis y optimización de red iFAO	[86]
SDSS para control de la mosca mediterránea en cítricos	Conocimiento del dominio y toma de decisiones para cítricos en Israel	[87]
SDSS para la recuperación de carbón a cielo abierto	Implementación de un modelo de evaluación para manejo de factores biológicos, analizados en Haizhou (China) y Mao Moh Mine (Tailandia)	[88]
SOLAP Móvil	Aplicación de servicios geoespaciales en arquitecturas Móviles	[89]
SDSS para evaluación de capacidad de adaptación ambiental de cultivos	Identificación de capacidad de adaptación de cultivos agroecológicos para mejorar la eficiencia	[90]
SDSS para construcción de modelos en la nube	Aplicación de computación en la nube otorgando servicios y funciones en la toma de decisiones espacial	[91]

Tabla 4. Aplicaciones de la SDSS en desarrollo de proyectos que implican el uso de datos espaciales para la toma de decisiones. Fuente. Elaboración propia

Por otro lado, existen sistemas software que permiten la aplicación de inteligencia de negocios espaciales para la solución de problemas y toma de decisiones. Estas herramientas se listan a continuación:

- St-Toolkit: Marco de trabajo para diseño e implementación de almacenes de datos [92].
- i3Geo: Software libre SIG con herramientas de análisis estadísticos y mapas interactivos, utiliza Google Maps, Google Earth y Open Layers [93].
- Saiku: Utiliza consultas MDX²⁶, herramientas OLAP GeoMondrian y Geovisores HTML5 Leaflet [94].
- SADA: Sistema de análisis espacial y asistente de decisiones, incorpora herramientas para evaluación y remediación ambiental con módulos de análisis y visualización [95].
- DECERNS: Sistema de decisión espacial multicriterio para ordenamiento territorial, está diseñado sobre arquitectura web, utilizado para selección de sitios para ubicación de vivienda [96].

²⁶ Expresiones multidimensionales

- Analytics: Incorpora dimensiones geográficas y herramientas Oracle para manejo de información espacial [97].
- GeoMondrian y SOLAPLayers: Integración de una suite de aplicación de inteligencia de negocios espaciales, como se puede apreciar en la Fig. 4 se tiene la fuente de datos, la extracción, transformación y carga, el almacén de datos, la minería, visualización y reportes [98].

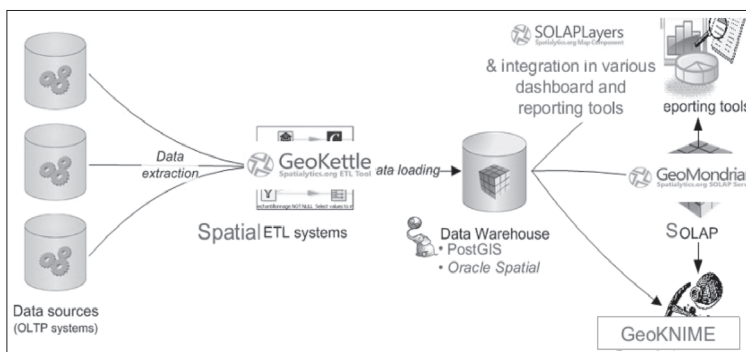


Fig. 4. Arquitectura SOLAP con software libre. En la figura se muestra el proceso de aplicación de SOLAP en cada una de las fases. 1. Fuente de datos, 2.ETL, 3. Bodega de datos, 4. Minería espacial, 5. Organización y representación de los datos. Fuente: [98].

- JMap: Integración de un módulo que selecciona los datos geográficos para ejecutar minería de datos espaciales [99].
- Oracle Business Intelligence and Spatial Views: Software de Oracle para la integración de OLAP con SIG [100]
- Piet: Usa técnicas de procesamiento de consultas con subpoligonización y manejo individual de los polígonos para procesar las consultas [101].

7. Conclusiones

Al día de hoy se han desarrollado una gran cantidad de proyectos relacionados con la Inteligencia de Negocios Espaciales, de este modo, el almacenamiento espacial ha evolucionado de manera notable incorporando nuevas formas de guardar el tipo espacial y mejorando la distribución de las tablas e índices para la recuperación de los mismos, a su vez los modelos y consultas espaciales incrementan el rendimiento e integridad en la recuperación de la información, teniendo en cuenta que la gran cantidad de información hace que el procesamiento de estas consultas exija mejores procedimientos para obtener los datos. En concordancia, el surgimiento de nuevos algoritmos para extraer la información espacial hace que la minería de datos adquiera nuevas

técnicas de transformación de los datos para que cumplan los requerimientos exigidos.

Como se ha denotado la aplicabilidad de la Inteligencia de Negocios Espaciales tiene gran aumento y se utiliza en un número amplio de temáticas, permitiendo que la misma se involucre con áreas del conocimiento que posibilita obtener resultados más completos y visibles para la toma de decisiones para presente y futuro.

Por último se concluye que SOLAP es ideal para el tratamiento de objetos espaciales ofreciendo las capacidades de gestionar los datos geométricos de las bases de datos espaciales en cuanto a estructura, visualización y exploración, todo esto para disponer de una plataforma visual que apoya la toma de decisiones de forma rápida y precisa en un enfoque multidimensional, dando valor agregado a grupos de investigación enfocados a obtener información sobre qué, cómo y dónde ocurrió un suceso y poder analizar donde ocurrirá nuevamente.

Referencias

- [1] Sugumaran, R. and J. Degroote, Spatial Decision Support Systems - Principles and Practices. 2011
- [2] Flacke, J., Spatial Decision Support Systems – Introduction to Concepts and Requirements. 2012
- [3] Viswanathan, G. and M. Schneider, User-centric spatial data warehousing: a survey of requirements and approaches. 2012
- [4] Siqueira, T.L., et al., The SB-index and the HSB-index: efficient indices for spatial data warehouses. ACM, 2012: p. 165-205
- [5] Simion, B., S. Ray, and A.D. Brown, Surveying the landscape: an in-depth analysis of spatial database workloads. ACM, 2012: p. 376-385
- [6] Garg, N. and S. Mithal, Spatial Data warehouses. 2012
- [7] Siqueira, T.L.L., et al., Benchmarking spatial data warehouses. ACM, 2010
- [8] Sboui, T. and Y. Bédard, MGsP: extending the GsP to support semantic interoperability of geospatial datacubes. ACM, 2010: p. 23-32

- [9] Mateus, R.C., et al., How Does the Spatial Data Redundancy Affect Query Performance in Geographic Data Warehouses? 2010
- [10] Glorio, O., et al., Using Web-based Personalization on Spatial Data Warehouses. 2010
- [11] David, P., S.M. J, and P.I. H, Fuzzy Spatial Data Warehouse: A Multidimensional Model, 2010
- [12] Bimonte, S. and M.-A. Kang, Towards a Model for the Multidimensional Analysis of Field Data, 2010
- [13] Yuan, M., Toward Knowledge Discovery about Geographic Dynamics in Spatiotemporal Databases. 2009
- [14] Vaisman, A. and E. Zimányi, What Is Spatio-Temporal Data Warehousing? ACM, 2009
- [15] Jizhou, W. and L. Chengming, Research on the framework of spatio-temporal data warehouse. 2009
- [16] Gervais, M., et al., Data Quality Issues and Geographic Knowledge Discovery. 2009
- [17] Vaisman, A. and E. Zimányi, A multidimensional model representing continuous fields in spatial data warehouses. ACM, 2009
- [18] Glorio, O. and J. Trujillo, Designing Data Warehouses for Geographic OLAP querying by using MDA. 2009
- [19] Yaagoub, A., et al., Materialized views for count aggregates of spatial data. ACM, 2012: p. 427-440
- [20] Gómez, L.I., S.A. Gómez, and A.A. Vaisman, A generic data model and query language for spatiotemporal OLAP cube analysis. ACM, 2012: p. 300-311
- [21] Glorio, O., et al., A personalization process for spatial data warehouse development. ACM, 2012: p. 884-898
- [22] Cuzzocrea, A. and R.d.N. Fidalgo, SDWM: An Enhanced Spatial Data Warehouse Metamodel. 2012.
- [23] Cuzzocrea, A. and R.d.N. Fidalgo, Enhancing coverage and expressive power of spatial data warehousing modeling: the SDWM approach. ACM, 2012: p. 15-29

- [24] Aissi, S. and M.S. Gouider, Spatial and Spatio-Temporal Multidimensional Data Modelling A Survey. 2012
- [25] Bimonte, S., et al., Spatial OLAP and Map Generalization Model and Algebra. 2012
- [26] Bisceglia, P., L. Gomez, and A. Vaisman, Temporal SOLAP: Query Language, Implementation, and a Use Case. 2012
- [27] Viswanathan, G. and M. Schneider, OLAP Formulations for supporting complex spatial objects in data warehouses. ACM, 2011: p. 39-50
- [28] Viswanathan, G. and M. Schneider, On the requirements for user-centric spatial data warehousing and SOLAP. ACM, 2011
- [29] Gómez, L., B. Kuijpers, and A. Vaisman, A data model and query language for spatio-temporal decision support. ACM, 2011
- [30] Vanegas, P., D. Cattrysse, and J.V. Orshoven, Compactness in spatial decision support: a literature review. 2010
- [31] Silva, J.d., et al., Modelling and querying geographical data warehouses. ACM, 2010: p. 592-614
- [32] Gómez, L., A. Vaisman, and E. Zimányi, Physical design and implementation of spatial data warehouses supporting continuous fields. 2010
- [33] Boulil, K., et al., Towards the definition of spatial data warehouses integrity constraints with spatial OCL. ACM, 2010: p. 31-36
- [34] Bimonte, S., et al., A Visual Query Language for Spatial Data Warehouses. 2010.
- [35] Siqueira, T.L.L., et al., The impact of spatial data redundancy on SOLAP query performance. 2009
- [36] Dube, E., T. Badard, and Y. Bedard, XML Encoding and Web Services for Spatial OLAP Data Cube Exchange an SOA Approach. 2009
- [37] Choi, K. and W.-S. Luk, Processing Aggregate Queries on Spatial OLAP Data. ACM, 2008

- [38] Bimonte, S., J. Gensel, and M. Bertolotto, Enriching Spatial OLAP with Map Generalization: a Conceptual Multidimensional Model. ACM, 2008
- [39] Ahmed, T.O., Spatial On-line Analytical Processing (SOLAP): Overview and Current Trends. ACM, 2008
- [40] Reyes, M.X.D., Minería de datos espaciales en búsqueda de la verdadera información. 2009
- [41] Roddick, J.F. and B.G. Lees, Spatio-Temporal Data Mining Paradigms and Methodologies. 2009
- [42] Guo, D. and J. Mennis, Spatial data mining and geographic knowledge discovery—An introduction. 2009
- [43] Qing, J., et al., The Research on Spatial Data Mining Module Based on Multi-objective Optimization Model for Decision Support System. 2010
- [44] LI Gaixiao, et al., Spatial Data Mining and its application in Marine Geographical Information System 2010
- [45] Eldrandaly, K., A GEP-based spatial decision support system for multisite land use allocation. 2010
- [46] Miller, H.J. and J. Han, Geographic Data Mining and Knowledge Discovery. 2009
- [47] Shekhar, S., R.R. Vatsavai, and S. Chawla, Spatial contextual classification and prediction models for mining geospatial data 2009
- [48] Malerba, D., A. Lanza, and A. Appice, Leveraging the Power of Spatial Data Mining to Enhance the Applicability of GIS Technology. 2009
- [49] Wang, H.-l., et al., Data Mining Application Based on Cloud Model in Spatial Decision Support System. 2008
- [50] Laube, P. and M. Duckham, Decentralized Spatial Data Mining for Geosensor Networks 2009
- [51] Medeiros, V.N., et al., Especificação e avaliação de algoritmos para processamento multidimensional-geográfico. ACM, 2008

- [52] Bédard, Y. and J. Han, Fundamentals of spatial data warehousing for geographic knowledge discovery. 2009
- [53] Ahmed, T.O. and A.M. Buras, CSOLAP (Continuous Spatial On-Line Analytical Processing). World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009
- [54] Brito, J.J., et al., Efficient processing of drill-across queries over geographic data warehouses. ACM, 2011
- [55] Wan, S., T.C. Lei, and T.Y. Chou, An enhanced supervised spatial decision support system of image classification: consideration on the ancillary information of paddy rice area. 2010
- [56] Guo, D., Multivariate Spatial Clustering and Geovisualization. 2009
- [57] Silva, R., J. Moura-Pires, and M.Y. Santos, Spatial clustering to uncluttering map visualization in SOLAP. ACM, 2011: p. 253-268
- [58] Humacata, L.M., Análisis exploratorio de datos socio-espaciales mediante gráficos interactivos. 2010
- [59] Meyer, A.D., et al., A conceptual framework and its software implementation to generate spatial decision support systems for land use planning. 2013
- [60] Uyan, M., T. Cay, and O. Akcakaya, A Spatial Decision Support System design for land reallocation: A case study in Turkey, 2013
- [61] Reynolds, K.M., et al., Spatial Decision Support for Assessing Impacts of Atmospheric Sulfur Deposition on Aquatic Ecosystems in the Southern Appalachian Region. 2012
- [62] Oliveira, T.H.M.d., M. Painho, and R. Henriques, A spatial decision support system for the Portuguese public transportation sector. 2012
- [63] Kyung, M.-J., J.-H. Yom, and S.-Y. Kim, Spatial data warehouse design and spatial OLAP implementation for decision making of geospatial data update. KSCE Journal of Civil Engineering, 2012
- [64] Kaunda-Bukenya, N., et al., Spatial Decision Support System (SDSS) for Stormwater Management and Water Quality Assessment 2012

- [65] Cerreta, M. and P.D. Toro, Assessing urban transformations: a SDSS for the master plan of castel capuano, naples. 2012
- [66] Cerreta, M. and R. Mele, A landscape complex values map: integration among soft values and hard values in a spatial decision support system. 2012
- [67] Bimonte, S., et al., Definition and analysis of new agricultural farm energetic indicators using spatial OLAP. ACM, 2012: p. 373-385
- [68] Sugumaran, R., D. Oryspayev, and J. DeGroot, Development and Application of a Spreadsheet-Based Spatial Decision Support System SDSS. 2011
- [69] Santos, L., J. Coutinho-Rodrigues, and C.H. Antunes, A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. 2011
- [70] Martino, S., et al., Spatial OnLine Analytical Processing of Geographic Data through the Google Earth Interface. 2011
- [71] Mahboubi, H., S. Bimonte, and G. Deffuant, Analyzing demographic and economic simulation model results: a semi-automatic spatial OLAP approach. 2011: p. 17-31
- [72] D.Rajesh, Application of Spatial Data Mining for Agriculture. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 2011
- [73] Coutinho-Rodrigues, J., A. Simão, and C.H. Antunes, A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. 2011
- [74] OUBENAALLA, Y. and O.E. BEQQALI, CTMSOLAP A Regional geo-decisional Support System Based on the SOLAP Approach and a Chemistry Transport Model. 2010
- [75] Minghu, W., et al., A Spatial Decision Support System for River Basin Water Pollution Control and Prevention, 2010
- [76] Zhichong, Z. and W. Yaowu, Framework of Spatial Decision Support System for Large-Scale Public Building Evacuation, 2009
- [77] Yu, X. and K. Liu, A Spatial Decision Support System for Large Scale Vehicle Routing, 2009

- [78] Xiaoli, L., Y. Chen, and L. Daoliang, A spatial decision support system for land-use structure optimization, 2009
- [79] Wu, W., et al., A Spatial Decision Support System for Citrus Management A Case Study of the Three Gorges Area of China, 2009
- [80] Sun, L. and H. Zhu, GIS-Based Spatial Decision Support System for Real Estate Appraisal, 2009
- [81] Lu, C.-T., A.P. Boedihardjo, and S. Shekhar, Analysis of Spatial Data with Map Cubes: Highway Traffic Data, 2009
- [82] Blečić, I., A. Cecchini, and G.A. Trunfio, A general-purpose geosimulation infrastructure for spatial decision support, 2009
- [83] Bernier, E., et al., Easier surveillance of climate-related health vulnerabilities through a Web-based spatial OLAP application. 2009
- [84] Zou, X., et al., Spatial decision support system for the potential evaluation of land consolidation projects. 2008
- [85] Zhu, H., et al., Advanced Researches on Intelligent Spatial Decision Support System (ISDSS): A Combination of Model-Blade, Generalized Repository and GIS. 2008
- [86] Yin, W., et al., Towards Data Management of Web-Based Spatial Decision Support: The Case of Facility Network Transformation Analysis Services. 2008
- [87] Cohen, Y., et al., Spatial decision support system for Medfly control in citrus. 2008
- [88] Chen, Y. and D. Li, Spatial decision support system for reclamation in opencast coal mine dump. 2008
- [89] Badard, T., et al., Web services-oriented architectures for mobile SOLAP applications. ACM, 2008: p. 434-464
- [90] Sikder, I.U., Knowledge-based spatial decision support systems: An assessment of environmental adaptability of crops. 2009
- [91] De-guo, S., et al., Research of Spatial Decision Support System Construction Based on Cloud Model. 2010

- [92] Campora, S., J.A.F.d. Macedo, and L. Spinsanti, St-Toolkit: A Framework for Trajectory Data Warehousing 2011
- [93] Moretti, E., Introdução ao Uso do Software i3Geo. 2013
- [94] Lamas, A., et al., Creación de un módulo espacial OLAP para Saiku. 2013
- [95] Stewart, R.N. and S.T. Purucker, An environmental decision support system for spatial assessment and selective remediation. 2011
- [96] Yatsalo, B., et al., Multi-Criteria Spatial Decision Support System DECERNS: Application to Land Use Planning. 2010
- [97] Sharma, J. and A. Agarwal, Value of Spatial Analytics in Business Intelligence. 2010
- [98] Badard, T., Open source Geospatial Business Intelligence in action with GeoMondrian and SOLAPLayers! 2010
- [99] GeoTec, JMap Spatial OLAP. 2008
- [100] Agarwal, A. and J. Sharma, Oracle Business Intelligence & Spatial Views. 2008
- [101] Gomez, L.I., A.A. Vaisman, and S. Zich, Piet: a GIS-OLAP Implementation. ACM, 2008