

Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales

GIS Tools, Review of their Foundations, Types and Relationship with Spatial Databases



<https://cu-id.com/2177/v32n3e10>

✉ Gabriel Alberto Pérez-Guerra*, ✉ Ivett Sosa-Franco, ✉ Neili Machado-García, ✉ María Elena Ruiz-Pérez

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Laja, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: Los sistemas de información geográfica ofrecen un entorno capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. Son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas, presentar los resultados de todas estas operaciones. En este artículo se describen los conceptos básicos de estos sistemas. Asimismo, se muestran las formas de representación de los datos, así como el uso de los principales softwares de bases de datos espaciales actuales. Se analizan varios trabajos que establecen comparaciones entre los principales sistemas de información geográficas del mercado. Por último, se aborda el uso de los sistemas de información geográfica en la agricultura.

Palabras clave: Sistema de información geográfica, base de datos espacial, representación de datos espaciales, herramienta de desarrollo SIG.

ABSTRACT: Geographic information systems offer an environment capable of integrating, storing, editing, analyzing, sharing and displaying geographically referenced information. They are tools that allow users to create interactive queries, analyze spatial information, edit data, maps, present the results of all these operations. This article describes the basic concepts of these systems. Likewise, the forms of data representation are shown, as well as the use of the main current spatial database software. Several works that establish comparisons between the main geographic information systems of the market are analyzed. Finally, the use of geographic information systems in agriculture is addressed.

Keywords: Geographic information system, spatial database, representation of spatial data, GIS development tool.

INTRODUCCIÓN

Desde finales el siglo XX, la Informática se ha convertido en una de las herramientas más importantes en el desarrollo de la sociedad. El creciente desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y de los servicios de posicionamiento ha potenciado la disponibilidad de información geográfica de diversos sectores de la sociedad. Ello, a su vez, han inducido la creación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas capaces de procesar la gran cantidad de datos existentes y proveer nueva información (Pérez-García, 2019). El surgimiento de esta tecnología ha servido como un referente para el desarrollo tecnológico en diferentes áreas como la agricultura, ganadería,

hidrografía, turismo, topografía. (Barrera-Narváez *et al.*, 2020).

Los SIG son sistemas de información compuestos por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación (Goodchild y Kemp, 1990). Son un marco para reunir, gestionar y analizar datos. Arraigado en la rama de la geografía, integra muchos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones usando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, los SIG revelan conocimientos más profundos de los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

*Autor para correspondencia: Gabriel Alberto Pérez-Guerra, e-mail: gabrielpg@unah.edu.cu

Recibido: 16/11/2022

Aceptado: 24/06/2023

En el siglo XX específicamente en el año de 1962, Roger Tomlinson, crea el primer SIG en Canadá, razón por la cual se lo considera como el padre de los SIG, y es en base a este estudio que en ese mismo año aparece el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales - Environmental Systems Research Institute (ESRI por sus siglas en inglés), quienes actualmente desarrollan aplicaciones para SIG. En la actualidad, el avance de los SIG ha sido vertiginoso, sobre todo con el uso de internet como plataforma masiva de comunicación y manejo de datos geográficos (Pérez-García, 2019).

Los SIG se han convertido en una técnica potente, eficiente en el tiempo y rentable para geólogos, científicos e ingenieros que anteriormente habían estado resolviendo problemas relacionados con los datos geoespaciales de maneras tradicionales (mediante el uso de mapas impresos). Hoy en día, los SIG ofrecen a los profesionales la capacidad de crear sus propios mapas digitales y representar información sobre el mundo real de una manera visual que revela fácilmente patrones, tendencias y relaciones sobre cualquier elemento que tenga un contexto geoespacial. Se han convertido en una poderosa herramienta para la captura de datos, el intercambio de datos, la comunicación y las colaboraciones (Zhou, 2021).

Cualquier ciencia relacionada con el espacio, en especial la geografía, analiza el territorio a través de distintas capas temáticas (el suelo y sus usos, los términos municipales, la red hidrográfica, el sistema de asentamientos, las infraestructuras viarias -- carreteras, ferrocarriles...-- la distribución de equipos y servicios...). Esto es, detectando y usando, aislada o conjuntamente, distintos estratos de información de la misma zona. De esta forma, el investigador puede analizar cada una de estas capas temáticas dependiendo de los objetivos de su estudio. En este sentido, la gran ventaja de los SIG es que pueden relacionar las distintas capas entre sí, lo que concede a estos sistemas excelentes capacidades de análisis, permitiendo responder a peticiones complejas y, por ello, producir mapas derivados que pueden representar situaciones reales o escenarios hipotéticos o simulados de gran utilidad (López-Lara *et al.*, 1998).

En este artículo se presentan los conceptos básicos de estos sistemas, se muestran las formas de representación de los datos, así como el uso de los principales softwares de bases de datos espaciales actuales. Se analizan varios trabajos que establecen comparaciones entre los principales sistemas de información geográficas del mercado. Por último, se aborda el uso de los sistemas de información geográfica en la agricultura.

DESARROLLO DEL TEMA

Conceptos básicos

Cuando se habla de las características y funcionalidades de los SIG es importante tener claro con anterioridad algunos conceptos básicos sobre las características de la información que éstos manipulan. La información de tipo geográfico puede clasificarse en dos categorías, dependiendo de si ésta representa características del espacio geográfico (atributos referentes al espacio geográfico) o por el contrario representa propiedades de los objetos gestionados (atributos referentes a los objetos).

Conceptos básicos referentes al espacio geográfico

El espacio geográfico se define como el espacio de coordenadas (normalmente R^2) en el que los datos geográficos son representados, el cual suele ser o bien cartesiano (en caso de que el SIG utilice un modelo plano del mundo) o bien geodésico. Sobre este espacio geográfico se puede almacenar cierta información, consistente en atributos alfanuméricos de los cuales se asocia un valor de su dominio a cada punto del espacio (Brisaboa *et al.*, 2000).

Otros autores como Santos (1998) lo definen como un conjunto indisociable en el que participan, por un lado, cierta combinación de objetos geográficos, objetos naturales y objetos sociales, y por el otro, la vida que le colma y anima, es decir, la sociedad en movimiento. El contenido (la sociedad) no es independiente de la forma (los objetos geográficos), y cada forma encierra una fracción de contenido. El espacio, por consiguiente, es un conjunto de formas, cada una de las cuales contiene fracciones de la sociedad en movimiento.

Esta información que se almacena sobre el espacio geográfico es lo que se denomina atributos del espacio geográfico (en adelante AEG). Un AEG puede ser continuo (si el valor asociado a los puntos del espacio puede variar de modo gradual a lo largo del espacio geográfico) o discreto (si el conjunto de valores que puede tomar el atributo asociado al espacio geográfico es discreto). Un ejemplo de AEG discreto es el tipo de cultivo, mientras que un ejemplo de atributo continuo sería la salinidad del suelo, la temperatura o la presión atmosférica.

Conceptos básicos referentes a los objetos

Según Brisaboa *et al.* (2000) sobre el espacio geográfico se representan los objetos geográficos, que son objetos que el SIG debe manejar y representar gráficamente. Así se tienen:

Objeto o entidad geográfica. Es un objeto sobre el que la aplicación SIG guarda no sólo información alfanumérica sino también información geográfica que permita representarlo gráficamente sobre un mapa. Por ejemplo, si consideramos el objeto geográfico "Localidad de San José de Las Lajas", además de atributos alfanuméricos como el "nombre", "población", etc. puede tener un atributo geográfico "Localización de la UDP *El Guayabal" que represente la posición del de la UDP El Guayabal y otro atributo geográfico "área" que represente el área del espacio geográfico ocupada por la misma. En el momento de visualización el SIG puede, por ejemplo, utilizar el atributo "Localización de la UDP El Guayabal" para representar la ciudad en presentaciones a escala 1:25.000 o menor, y utiliza el atributo "área" para representar a la ciudad en presentaciones a escalas mayores, donde esta información puede ser más útil. Es conveniente no confundir aquí la escala (de visualización) con la precisión de la representación de los atributos geográficos, que es la resolución con la que la información geográfica es almacenada en el SIG.

Atributo geográfico. Es un atributo que representa información referente a una característica geográfica del objeto al que pertenece (posición, extensión, etc.). Es un subconjunto no vacío y posiblemente infinito del espacio geográfico. Los atributos geográficos se representan mediante figuras geográficas, y su tipo se corresponde con el tipo de figura geográfica que se utiliza para representarlo.

Figura geográfica. Se usan para representar sobre el plano de forma gráfica atributos geográficos de un objeto. En el dominio de los SIG se utilizan diversos tipos de figuras geográficas, siendo las más comunes las siguientes:

- Punto: El valor de una figura geográfica de este tipo se corresponde con un elemento (punto) del espacio geográfico. Un ejemplo de atributo geográfico representable mediante una figura geográfica de este tipo es la posición de un objeto, como por ejemplo la localización geográfica de una oficina de correos.
- Línea: Una figura geográfica de este tipo se corresponde con un conjunto de curvas en el espacio geográfico, donde una curva es una secuencia de puntos del espacio contiguos. Un ejemplo de atributos geográficos que pueden ser representados mediante una línea es el curso de un río o el trazado de una carretera.
- Región: El valor de una figura geográfica de este tipo se corresponde con un conjunto de áreas del espacio geográfico. Ejemplos de atributos geográficos representables mediante una región son el área del espacio ocupada por una parcela de terreno o la zona de un país afectada por las nevadas en un día dado.
- Geográfico: El valor de una figura geográfica de este tipo se corresponde con un conjunto de puntos y/o líneas y/o regiones del espacio geográfico. Aunque menos usado que los anteriores, este tipo de figura geográfica también es de utilidad en ciertos dominios de aplicación para representar atributos geográficos.
- Partición: Una figura geográfica de este tipo representa un elemento de una partición del espacio geográfico en áreas disjuntas. Un ejemplo de atributo geográfico de tipo partición es el área de una escuela de una provincia, en la que los ayuntamientos no pueden superponerse y el área ocupada por el conjunto de todos sus municipios ha de coincidir exactamente con toda el área de la provincia.

Un ejemplo de lo anterior puede apreciarse en la [Figura 1](#) donde pueden verse los atributos geográficos correspondientes a varios objetos geográficos a dos escalas distintas, así como la representación de dos atributos del espacio geográfico. Más en concreto, se observa cómo a la escala. E1 el objeto geográfico "c" (que representa una ciudad) se representa mediante su atributo geográfico "Localización de una Escuela", de tipo punto, mientras que el objeto geográfico "r" se representa mediante un atributo geográfico de tipo línea. A la escala E2, el objeto "c" pasa a ser representado mediante su atributo geográfico "área", de tipo región, mientras que "r" continúa representándose mediante el mismo atributo de tipo línea (aunque al usar una escala mayor en la presentación se puede visualizar la misma con más detalle). A esta escala E2 puede verse además el atributo del espacio geográfico (AEG) discreto "tipo de suelo", que divide el espacio en cuatro regiones con valores ts1, ts2, ts3 y ts4 respectivamente, y el AEG continuo "salinidad" (colores más oscuros representan valores de salinidad del suelo más baja). En el caso de la [Figura 2](#) se puede ver algo similar, un objeto geográfico de tipo punto que representa una propiedad y a medida que se va aumentando la escala el objeto pasa a convertirse de un punto a un área. En esta figura también se pueden observar un nuevo tipo de mapa sobre una imagen satelital.

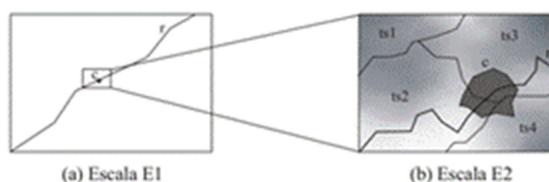


FIGURA 1. Ejemplo de objetos geográficos a diferentes escalas. Fuente: (Brisaboa *et al.*, 2000).

En el software SIG, los objetos geográficos que tienen la misma representación geométrica y de atributos suelen agruparse en las llamadas "capas" para simplificar las tareas de gestión de datos. Por ejemplo, todos los edificios que están representados por polígonos y tienen información sobre el propietario y el año de construcción se agrupan en una capa de "edificios" (Steiniger et al., 2010a).

Un SIG puede estar constituido por varias capas de datos que permiten complementar el mapa del terreno. Estas capas contienen las coordenadas de la zona que ocupan y permiten añadir más datos para el muestreo de la información y la toma de decisiones. La Figura 3 muestra la extrapolación de varias capas de datos en un mapa, en este caso se tienen los datos de calles, edificios y vegetación. A la hora de realizar análisis mientras más información del terreno se tenga más preciso será el resultado.

Representación de datos en un SIG

La representación de datos espaciales (que representa las ubicaciones en una base de datos) puede realizarse en dos formatos básicos: i) Formato vectorial y ii) Formato raster. El formato vectorial se representa como puntos, líneas y áreas, y el formato raster se representa como una cuadrícula de celdas/píxeles. El formato vectorial se basa en vistas de objetos discretos de la realidad (mapas analógicos) y el formato raster se basa en una red formada por celdas o cuadrículas (fotografías, imágenes, etc.), en la que cada cuadrícula (píxel) presenta una cualidad o propiedad espacial (color, altitud, entre otras). La principal diferencia con respecto a un archivo vectorial es que en el archivo raster se almacenan píxeles mientras en el vectorial se almacenan coordenadas de los vértices de cada elemento geométrico.

En principio, cualquier situación del mundo real puede ser representada en forma digital en ambos formatos, raster y vectorial. Los SIG basados en ráster representan datos con puntos (bits) en un mapa (Figura 4). Las ubicaciones se representan en una cuadrícula de celdas. En la figura, la superficie de un lago se asigna a un GIS ráster y da como resultado el grupo de celdas azul a la derecha. Las celdas no coinciden exactamente con los contornos del lago. La "cuadratura" de los bordes se denomina solapamiento (*aliasing* en inglés) y es causada por un muestreo imperfecto de curvas suaves. Tomar más muestras (es decir, usar cuadrículas más pequeñas con más bits por unidad de área) da como resultado menos alias y una mejor representación de la realidad física. Esto se denomina resolución más alta y es un término que se utiliza en todo el dominio de la tecnología espacial para medir el error. Una mejor resolución significa menos errores, pero la adquisición es más costosa. La



FIGURA 2. Ejemplo de objetos geográficos a diferentes escalas y tipos. Fuente: Elaboración propia.

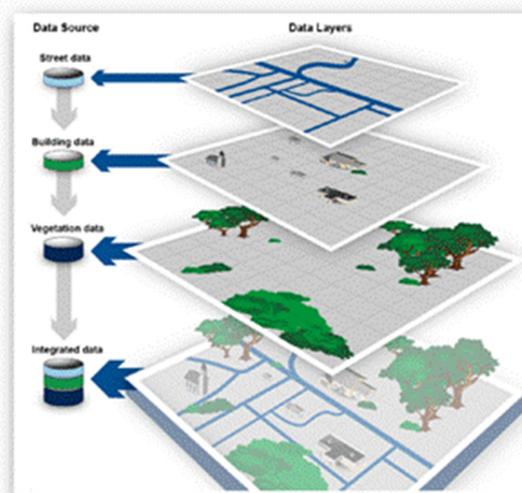


FIGURA 3. Representación visual de varias capas de datos en un SIG. Fuente: Zhou (2021).

precisión de los mapas GIS depende de cuántas muestras de datos se tomen por unidad de área. Los SIG basados en vectores representan las características físicas de la naturaleza como puntos, líneas o polígonos (Figura 5). Debe tenerse en cuenta que también hay solapamiento en los SIG vectoriales. En este caso, los límites curvilíneos de entidades como lagos o carreteras se miden con trozos de línea recta. Cuantas más líneas pequeñas sean usadas, mejor será capturada la verdadera naturaleza de la función (Macarthur, 2002).

En sus trabajos Matellanes-Ferreras (2017) y GEOINFORMATION (2020) establecen una comparación entre los datos raster y vectorial de acuerdo a varios aspectos significativos, donde se puede apreciar las principales diferencias entre ambos. La Tabla 1 muestra un resumen de esta comparación:

Los SIG y las Bases de Datos Espaciales (BDE)

Los datos de un SIG se almacenan en bases de datos espaciales, lo que permite a los usuarios manipular información en relación con otra información sin problemas. Pueden ser representados objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes) agrupados en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación) (Boria *et al.*, 2020).

Las BDE son una parte integral de los SIG al proveer capacidades para representar, almacenar y acceder a los datos, además de resolver los problemas de control de concurrencia, manejo de transacciones, copias de seguridad y recuperación ante fallas (Vitturini *et al.*, 2003). Permiten el almacenamiento de las geometrías de un archivo cartográfico en una base de datos.

Las BDE ofrecen capacidades para el manejo apropiado de datos espaciales, incluyendo modelos

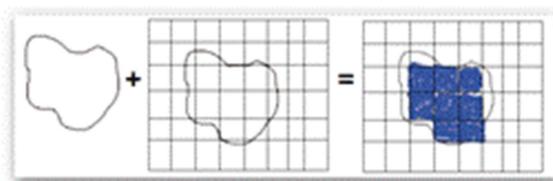


FIGURA 4. Representación utilizando el modelo Raster de un lago. Fuente: [Macarthur \(2002\)](#).



FIGURA 5. Representación utilizando el modelo Vectorial de un lago. Fuente: [Macarthur \(2002\)](#).

TABLA 1. Comparación entre la estructura de datos raster y la estructura de datos vectoriales.

Fuentes: [Matellanes-Ferreras \(2017\)](#) y [GEOINFORMATION \(2020\)](#).

Características	Datos Raster	Datos Vectoriales
Introducción	Un tipo de datos espaciales que se compone de una cuadrícula cuadrada de píxel.	Tipo de datos espaciales que se compone puntos y polígonos.
Naturaleza de los datos	Datos continuos	Datos discretos
Representación	Los datos se representan en celdas o píxeles.	Representa los datos mediante líneas, puntos y polígonos.
Estructura de los datos	Es una estructura de datos simple y de bajo costo.	Es una estructura de datos compleja y costosa.
Identificador de ubicaciones	El modelo de datos raster utiliza una serie de celdas o píxeles para representar ubicaciones en la tierra.	El modelo de datos vectoriales utiliza segmentos de punto y línea para identificar ubicaciones en la tierra.
Operaciones de superposición	En las operaciones de superposición de datos raster, las operaciones se implementan fácilmente.	En las operaciones de superposición de datos vectoriales son difíciles de implementar.
Ejemplo	Temperatura, lluvia y elevación.	Los límites administrativos y las entidades lineales como carretera y ríos.
Capacidad de compactar información	No es posible compactar la información	La información es compactada utilizando un menor volumen de datos.
Precisión	El nivel de precisión está dado por el tamaño de las celdas, pero siempre existe un margen de error en los cálculos de superficies y distancias.	Mayor precisión para el cálculo de superficies y distancias.
Límites	Límites basados en el propio tamaño de píxel y tienen ciertas dificultades para desarrollar análisis espaciales.	Límites más precisos al tratarse de líneas y puntos de fácil definición y distribución.
Estructura	Modelo sencillo y básico, pero poco compacto y tiene bastantes dificultades para representar información cuando se tienen archivos muy pesados	Modelo simple pero compacto. La representación de la información es sencilla y facilita en gran medida el nivel de precisión.
Representación tridimensional	Pueden representar la realidad mediante el uso de matrices de tres dimensiones.	Tienen un carácter plano y no están capacitados para ser representados de la misma forma en el espacio.
Uso comercial	Difíciles de generar y conseguir, por lo que presentan un coste económico más elevado.	Son más utilizados y compartidos por su facilidad de generación.
Asignación de atributos cualitativos o cuantitativos	Admiten mejor la incorporación de datos desde el inicio de la creación del archivo cuando se trata de imágenes satelitales. Pero es difícil la edición de los datos posteriormente.	Facilidad de edición de los datos.
Generación de reglas y condiciones topológicas	Menor facilidad a la hora de desarrollar reglas y condiciones topológicas.	Generan problemas topología (solapamientos entre elementos de la misma capa).

para la representación de objetos espaciales, métodos de recuperación rápidos y lenguajes de consulta específicos. Los datos espaciales están formados por objetos espaciales construidos a partir de puntos, líneas, regiones, rectángulos, superficies, volúmenes y aún objetos de dimensiones superiores que pueden incluir restricciones temporales. Como ejemplos de datos espaciales se pueden citar ciudades, ríos, rutas, áreas montañosas, entre otros (Vitturini *et al.*, 2003).

Por su parte Hamid *et al.* (2020) afirma que el componente principal de un SIG es su base de datos de información. Esta base de datos es sofisticada al tomar información de diversas fuentes como mapas topográficos, mapas temáticos y mapas catastrales, en forma equivalente, imágenes detectadas a distancia en forma digital, entre otros. Cualquiera que sea la base de la información, es fundamental combinarlos en una proyección y grabación común.

Existen varias alternativas de BDE, que posibilitan el almacenamiento y tratamiento de la información georreferenciada. La Tabla 2 muestra un resumen de algunos de estos softwares.

La elección de la base de datos espacial adecuada es extremadamente importante. Cada sistema tiene sus propias ventajas y desventajas que dependen del tipo de datos ingeridos y del resultado esperado del análisis. Tomar la decisión correcta se vuelve cada vez más difícil a medida que las BDE agregan módulos

espaciales o extensiones para usar con datos geoespaciales (Deprizio, 2020).

En su trabajo Agarwal y Rajan (2016) realizan una comparación entre PostreSQL (PostGIS) y MongoDB donde se analizan los ventajas y desventajas de utilizar un sistema de base de datos espaciales utilizando bases de datos relacionales y no relacionales. Los autores plasman en este documento la utilidad de PostgreSQL como una de las mejores alternativas de código abierto para el almacenamiento de datos espaciales.

Asimismo, concluyen que MongoDB se desempeña mejor a medida que aumenta el tamaño de los datos en las operaciones indexadas y no indexadas tanto para la intersección de líneas como para el problema de contención de puntos; las bases de datos NoSQL pueden estar mejor definidas para sistemas de consulta simultáneos de múltiples usuarios, incluidos *Web-GIS* y *mobile-GIS*; las bases de datos no relacionales son más adecuadas para los sistemas de consulta multiusuario y tienen el potencial de ser implementadas en servidores con potencia computacional limitada.

Por otra parte, afirman que todavía existen algunas limitaciones en el uso de bases de datos NoSQL sobre bases de datos SQL. No hay tantas funciones espaciales en NoSQL como en SQL. Las funciones geográficas implementadas actualmente solo admiten

TABLA 2. Alternativas de bases de datos espaciales. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Descripción	Desarrollador	Fecha de lanzamiento
MySQL Spatial	Extensión de MySQL, base de datos por defecto en plataformas de hosting y, por tanto, muy usada por desarrolladores web.	Oracle Corporation	1995
Spatialite	Extensión de SQLite, base de datos muy simple basada en ficheros.	Alessandro Furieri	2008
PostGIS	Extensión de PostgreSQL, potente base de datos multiplataforma que es totalmente compatible con los estándares ofrecidos por el Open Geospatial Consortium (OGC).	Refractions Research	1996
H2GIS	Extensión de H2, una base de datos ligera programada en Java, la cual funciona por medio de ficheros del mismo modo que SQLite.	Thomas Mueller	2005
GeoMesa	Base de datos espacio-temporal basada en la nube construida sobre Apache Accumulo y Apache Hadoop (también es compatible con Apache HBase, Google Bigtable, Apache Cassandra y Apache Kafka). GeoMesa admite funciones simples de OGC completas y un complemento GeoServer.	LocationTech, CCRi	2015
Oracle Spatial and Graph	Componente gratuito de Oracle Database, proporciona características espaciales para administrar datos geográficos y de ubicación con tipos de datos nativos.	Oracle Corporation	2011
MongoDB	Sistema de Base de Datos NoSQL*. En lugar de guardar los datos en tablas, tal y como se hace en las bases de datos relacionales, MongoDB guarda estructuras de datos BSON (una especificación similar a JSON).	MongoDB Inc.	2009
MarkLogic	Base de datos empresarial NoSQL, se considera un multi-modelo de base de datos NoSQL por su capacidad para almacenar, gestionar y buscar documentos JSON, XML y semánticas de datos (triples RDF).	MarkLogic Inc.	2001
Neo4j	Base de datos orientada a grafos, implementado en Java. Motor de persistencia embebido, basado en disco, completamente transaccional, que almacena datos estructurados en grafos en lugar de en tablas.	Neo4j	2007

*No usan SQL como lenguaje de consultas. Los datos almacenados no requieren estructuras como tablas, utiliza un esquema similar a JSON.

operaciones muy básicas. Las bases de datos relacionales siguen siendo muy superiores si el usuario necesita calcular la información geográfica a nivel de la base de datos.

En su artículo [Deprizio \(2020\)](#) presenta una comparación de las principales BDE más utilizadas actualmente. Se analizan MySQL, MongoDB, MarkLogic, Neo4j, y PostgreSQL (utilizando PostGIS). En la investigación se analiza el procesamiento de un conjunto de operaciones espaciales en cada uno de estas BDE. Para la inserción de datos se destaca PostgreSQL, mientras para que para la realización de consultas MarkLogic resulta ser el más rápido.

PostgreSQL y su extensión PostGIS resultan en ambos casos un denominador común entre las BDE analizadas. Entre las características que más destacan según [Agarwal y Rajan \(2016\)](#) se encuentran:

- Admite tipos de geometría para Puntos, LineStrings, Polygons, MultiPoints, MultiLineStrings, Multipolygons y GeometryCollections.
- Admite operadores espaciales para determinar medidas geoespaciales como área, distancia, longitud y perímetro.
- PostGIS también admite índices espaciales R-tree-over-GiST (árbol de búsqueda generalizada) para consultas espaciales de alta velocidad.
- La implementación de PostGIS se basa en geometrías e índices "ligeros" optimizados para reducir la huella de disco y memoria.

Herramientas de desarrollo SIG

Son varias las empresas y organizaciones que desarrollan nuevas herramientas SIG. [Steiniger et al. \(2010\)](#) las clasifican según su funcionalidad en siete tipos: (i) SIG de escritorio, (ii) Sistema de gestión de bases de datos espaciales (SDBMS), (iii) Servidor de mapas web, (iv) Servidor SIG, (v) Cliente web SIG, (vi) SIG móvil y (vii) Bibliotecas y extensiones ([Figura 6](#)).

En [Steiniger y Hunter \(2013\)](#) se definen cada uno de estos tipos de SIG y sus funcionalidades. Explican que el proceso de selección, ya sea para empresas, investigación o docencia, debe basarse en un riguroso proceso de evaluación de software. Sostienen que entre los criterios que deben aplicarse durante la evaluación del proceso son, por ejemplo: funcionalidad del software, estabilidad del software, soporte de la plataforma, participación de mercado, credibilidad (marca) del fabricante del software, así como el tamaño de la red de soporte y distribución. Si bien estos criterios son comunes a la selección de software propietario, con respecto al software libre y de código abierto, también son importantes otros criterios. En particular, se debe considerar el proyecto que creó el software, ya que el estado del proyecto



FIGURA 6. Diferentes tipos de software SIG.

Fuente ([Steiniger et al., 2010b](#)).

influirá en el soporte, la evolución (en términos de funcionalidad y dominio de uso) y la longevidad del software.

Diferentes investigaciones realizan comparaciones entre varios SIG. [Ruiz \(2016\)](#) analiza QGIS, gvSIG y ArcGIS en cuanto a herramientas que proporcionan para la creación de simbología vectorial y etiquetado, compatibilidad existente para la exportación e importación de estilos y simbologías, además también se examinan las capacidades para la realización de series de mapas de forma automática. Se concluye la investigación afirmando que ArcGIS y QGIS para la elaboración de simbología vectorial presentan grandes similitudes, mientras que gvSIG tiene grandes limitaciones en este aspecto; la interfaz de QGIS para el diseño de los distintos símbolos cartográficos resulta más sencilla e intuitiva para el usuario, presentando todas las herramientas en una misma ventana; pero las capacidades de los SIG para la colocación de los rótulos sobre un mapa aún tiene mucho que mejorar, ya que una buena rotulación requiere de numerosas decisiones que los softwares en el momento de efectuada la investigación no son capaces de adoptar; ArcGIS presenta un tipo de rotulado avanzado que, junto con la utilidad de sus capas de anotaciones, facilita enormemente al usuario la tarea de colocación de las etiquetas, estando muy por encima de las capacidades de los otros dos programas.

Por otro lado [Olivo-Bermeo \(2019\)](#) compara los SIG aplicados en estudios de casos ambientales, donde el factor clave de comparación es la licencia del sistema (software libre o comerciales). Se analizan varios factores a ambos grupos como el manejo de capas, método de aplicación, la configuración general, la interfaz, el tratamiento de imágenes, entre otros. Se les asigna un peso a los factores determinantes a juicio del autor que permiten compararlos. La [Tabla 3](#) muestra el resultado final del estudio realizado.

Concluye la investigación destacando que los softwares comerciales presentan mayor fiabilidad y rentabilidad, basados en los parámetros de evaluación de software presentando una mayor interoperabilidad, generación de mapa, funcionalidad, capacidad y análisis en cuanto a las características de sus herramientas. Aunque también los SIG deben ser valorados por su aplicabilidad y las funcionalidades que se requieren, pues en determinados estudios

TABLA 3. Resultado final de la comparación de SIG de licencias comerciales y libres. Fuente: [Olivo-Bermeo \(2019\)](#)

	Peso	QGIS	GvSIG	ArcGIS	Global Mapper
Funcionalidad	11	9	8.5	11	10
Análisis Espacial	4	3	1	4	4
Capacidad Vectoral	2	1.5	1.5	2	2
Capacidad Raster	4	2	2	4	4
Interoperabilidad	5	5	5	3.5	5
Rendimiento	4	3	3.5	3.5	4
Generación de Mapas	6	4.5	4.5	6	5
Documentación y Soporte	3	1.5	2	2.5	3
Total		29.5	28	36.5	37

ambientales un SIG presenta mejores características a diferencia de otros.

Utilizar un SIG u otro depende mucho de las necesidades del usuario, las características de lo que se quiere hacer y del presupuesto con el que cuenta. Es necesario analizar si el presupuesto con el que se cuenta y el pago del software a utilizar pueda estar balanceado. Varios usuarios colocan a ArcGIS como el SIG más completo y el que cuenta con más funcionalidades, no obstante QGIS se ha convertido en los últimos años una alternativa libre fiable que cumple con la mayoría de los requerimientos de la comunidad.

Aplicaciones de los SIG en la agricultura

Muchos desafíos están agregando presión sobre las cadenas de suministro agrícola actuales que incluyen la reducción del tamaño de la tierra, una demanda cada vez mayor de recursos naturales y problemas ambientales. Los sistemas agrícolas necesitan una gran transformación de las prácticas tradicionales a la agricultura de precisión o prácticas agrícolas inteligentes para superar estos desafíos. Los SIG constituyen una de esas tecnologías que impulsa los métodos actuales hacia la agricultura de precisión ([Sharma et al., 2018](#)).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, la población mundial en julio de 2022 era de 7,9 mil millones de personas. Se calcula que en 2030 será de 8,5 y para 2100 de 11,2 mil millones de personas. Este crecimiento impone el desafío para la producción de alimentos, aunado al fomento del crecimiento socioeconómico, la adopción de sistemas productivos sostenibles y la adaptación al cambio climático. Dado el impacto socioambiental de la agricultura, la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación recomienda cinco principios para volverla sostenible: mejorar la eficiencia en el uso de recursos; realizar actividades directas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales; proteger y mejorar los medios de vida rurales, la equidad y el bienestar social; reforzar la resiliencia de las personas, comunidades y

ecosistemas; implementar políticas públicas responsables y eficaces que aseguren la sostenibilidad de la agricultura y la alimentación ([Ocampo y Santa Catarina, 2018](#)).

En la actualidad, la aplicación de SIG ha penetrado en todos los aspectos de la sociedad, involucrando todos los campos de información espacial relevantes, como la agricultura, la silvicultura, la conservación del agua, la tierra, los recursos y el medio ambiente. Las aplicaciones específicas incluyen la gestión de recursos naturales, el diseño agrícola y comercial, el análisis político y económico, la planificación del suelo urbano, la gestión del diseño de ingeniería, la ciencia, la educación, la cultura y el entrenamiento físico, la tecnología de defensa nacional, el transporte financiero, las instalaciones públicas y otros campos ([Zhang y Cao, 2019](#)).

Los SIG juegan un papel primordial en la agricultura actual. Su uso posibilita, entre otros la clasificación, mapeo y cartografía de cultivos con información georreferenciada. También la identificación de etapas fenológicas de las plantas, el monitoreo del riego y la predicción de rendimientos. Todo ello basado, fundamentalmente, en fuentes de información como las imágenes satelitales, la fotogrametría aérea y los datos de cosecha de las maquinarias agrícolas ([Pérez-García et al., 2019](#)).

Según [Zhang y Cao \(2019\)](#) algunos de los usos específicos de los SIG en la agricultura son para llevar a cabo:

- Encuestas de zonificación agrícola
- Estimación de rendimiento de cultivos
- La Agricultura de precisión
- Encuestas y contabilidad de cobertura vegetal
- Planes de toma de decisiones de gestión forestal
- Detección de incendios forestales

Monitorear las tendencias del mercado, mejorar los rendimientos y predecir el clima se encuentran entre las muchas responsabilidades requeridas para reducir el riesgo de pérdida y aumentar la rentabilidad de los campos productivos. Utilizando el análisis geoespacial

y modelado predictivo, los agricultores tienen la capacidad de visualizar sus tierras, cultivos y prácticas de gestión. Acceder a datos espaciales se ha convertido en una práctica agrícola esencial. Las agencias gubernamentales como el Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) y la Unión Europea alojan sitios web que brindan información valiosa para ayudar a los agricultores a comprender mejor su tierra y tomar decisiones más informadas. Se puede acceder a estos datos en Internet y utilizarlos para crear mapas inteligentes para mejores prácticas comerciales agrícolas (Reza y Mohammad, 2015).

En los últimos años, el trabajo en teledetección agrícola se ha centrado más en la caracterización de las propiedades biofísicas de las plantas. La teledetección se ha utilizado durante mucho tiempo en el seguimiento y análisis de las actividades agrícolas. La teledetección de los doseles agrícolas ha proporcionado información valiosa sobre varios parámetros agronómicos. La ventaja de la teledetección es su capacidad para proporcionar información repetida sin un muestreo destructivo del cultivo, que puede utilizarse para proporcionar información valiosa para aplicaciones agrícolas de precisión. La teledetección ofrece una alternativa económica para la adquisición de datos en grandes áreas geográficas (Palanisamy et al., 2019).

En su trabajo Budiharto et al. (2019) comentan sobre el uso de los vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés) en la agricultura. Explican el gran auge que han tenido en los últimos años el uso de drones para la fumigación de los campos, control de plagas, así como la cartografía de los terrenos productivos. Indican que las imágenes del terreno que pueden ser obtenidas a través de los satélites no siempre tienen la calidad necesaria para detectar ciertas anomalías en los cultivos o para detectar los cultivos propios; de ahí que los drones cumplan un papel fundamental en este sentido. Expresan que la información capturada por los drones es almacenada y georreferenciada para luego ser mostrada mediante en un SIG, pudiéndose georreferenciar cada aspecto capturado para su posterior análisis utilizando, por ejemplo, técnicas de Deep Learning (Aprendizaje Profundo)*.

Por otro lado, Sambrekar y Rajpurohit (2019) promueven el uso de *Cloud Computing* (Computación en la Nube)† aplicado en los procesos agrícolas. Indican que la información obtenida de los campos permite determinar cultivos marginales cultivados en terrenos fragmentados, cuantificación de su efecto en el rendimiento de los cultivos y detección del estrés de

los cultivos debido a nutrientes y enfermedades. Indican que la aplicación de técnicas de *cloud computing* posibilita el acceso de los usuarios al recurso de almacenamiento en cualquier momento y en cualquier lugar a través de Internet.

CONCLUSIONES

Un SIG es una herramienta informática utilizada para analizar la información geográfica. No es un simple mapa digitalizado, ni tampoco un contenedor de mapas. Contiene una base de datos espaciales y atributos o información descriptiva de las características de un mapa que pueden ser utilizados para crear mapas preferidos. La ventaja fundamental de los SIG es la separación de la información de referencia espacial o geográfica y atributos o información descriptiva de las características del mapa para la entrada de datos y el desarrollo de bases de datos y su vinculación durante el análisis. La separación de los dos tipos de información facilita la introducción de la información espacial (mapa) en las computadoras en forma digitalizada y establecer la conectividad (topología) entre las diferentes características del mapa almacenadas (puntos, líneas y polígonos). Los datos de los atributos de las características son introducidos independientemente teniendo cuidado de introducir una variable de identificación para cada característica que se comparte con el espacio base de datos. Para el análisis geográfico, los datos espaciales y de atributos se vinculan a través de esta variable identificadora única común a los dos tipos de bases de datos.

Inicialmente, la captura de datos espaciales se realiza en unidades espaciales y coordenadas del instrumento de captura de datos. Para traducir la información del mapa en información del mundo real de ubicaciones, distancias y áreas, éstas deben ser traducidas a unidades del mundo real a través de transformaciones apropiadas de escala y proyecciones de mapas.

Los mapas digitalizados y sus atributos de características asociadas son los bloques de construcción del SIG. Los mapas pueden ser creados y almacenados en diferentes capas, cada una de las cuales contiene información sobre una característica. Pueden superponerse a cada una de las otras para obtener nuevos mapas (coberturas) con nuevos polígonos que sean homogéneos con respecto a los atributos de las características especificadas de los mapas que se usaron en las superposiciones. Las operaciones de superposición deben ser entre mapas con ajustes de límites exactos. Ajustes exactos se obtienen entre

*Fast-growing domain of machine learning, primarily for solving problems in computer vision. It is a class of machine learning algorithms that use a cascade of many layers of nonlinear processing.

†It is the use of a network of remote servers connected to the Internet to store, manage and process data, servers, databases, networks and software. Instead of relying on a physical installed service, it is possible to have access to a framework where software and hardware are virtually integrated.

mapas sólo si se crean en la misma proyección y escala. Para hacer ajustes exactos, en las operaciones de superposición de proyección y transformación de escala de los mapas, las operaciones apropiadas de proyección y transformación de escala de los mapas serán necesarias antes de que se pueda realizar un análisis geográfico mediante operaciones de superposición.

Existen software SIG actuales con gran cantidad de funcionalidades implementadas que posibilitan el manejo adecuado de los datos geográficos. Es siempre necesario realizar un estudio al utilizar un SIG cuál de las implementaciones creadas actualmente se adapta mejor a las necesidades del problema en cuestión. Otro aspecto importante a tener en cuenta es si existe la necesidad de utilizar software de pago o con el software libre actual se cubren las necesidades.

Se espera que los sistemas SIG sufran gran impulso en los próximos años debido a su capacidad de representar gráficamente objetos geográficos, demostrando así las relaciones espaciales entre ellos fácilmente y mejorando las funcionalidades y facilidad de uso de muchas aplicaciones. Por otro lado, la evolución de las herramientas de desarrollo SIG facilita el desarrollo de aplicaciones SIG eficaces y adaptadas a cada dominio de aplicación. Las nuevas líneas de investigación descritas anteriormente dotarán además a los SIG de mayores funcionalidades que las herramientas actuales, principalmente en ciertos entornos de aplicación (catastro, gestión de redes, navegación, entre otros)

La introducción de tecnologías digitales mejora la calidad del monitoreo de las tierras agrícolas y la precisión de las evaluaciones de criterios de los parámetros de la condición de los cultivos y los niveles de fertilidad, incluida la capacidad para localizar y mapear los procesos degradados del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, S.; RAJAN, K.S.: "Performance analysis of MongoDB versus PostGIS/PostgreSQL databases for line intersection and point containment spatial queries", *Spatial Information Research*, 24(6): 671-677, 2016.
- BARRERA NARVÁEZ, C.-F.; GONZÁLEZ SANABRIA, J.-S.; CÁCERES CASTELLANOS, G.; BARRERA NARVÁEZ, C.-F.; GONZÁLEZ SANABRIA, J.-S.; CÁCERES CASTELLANOS, G.: "Toma de decisiones en el sector turismo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica e inteligencia de negocios", *Revista científica*, (38): 160-173, agosto de 2020, ISSN: 0124-2253, DOI: [10.14483/23448350.15997](https://doi.org/10.14483/23448350.15997).
- BORIA, E.S.; BADHRUDEEN, M.; FONTEIX, G.; DERRIBLE, S.; SICILIANO, M.: "A Protocol to Convert Infrastructure Data from Computer-Aided Design (CAD) to Geographic Information Systems (GIS)", *arXiv preprint arXiv:2006.14112*, 2020.
- BRISABOA, N.R.; LEMA, J.A.C.; FARIÑA, A.; LUACES, M.R.; VIQUEIRA, J.R.: "Sistemas de Información Geográfica: Revisión de su Estado Actual", *Laboratorio de Bases de Datos, Universidad de Coruña*, : 77-94, 2000.
- BUDIHARTO, W.; CHOWANDA, A.; GUNAWAN, A.A.S.; IRWANSYAH, E.; SUROSO, J.S.: "A Review and Progress of Research on Autonomous Drone in Agriculture, Delivering Items and Geographical Information Systems (GIS)", [*en línea*], En: *2019 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE)*, Ed. IEEE, Nagoya, Japan, pp. 205-209, diciembre de 2019, DOI: [10.1109/WSCE49000.2019.9041004](https://doi.org/10.1109/WSCE49000.2019.9041004), ISBN: 978-1-72815-329-2, Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9041004/>, [Consulta: 24 de julio de 2022].
- DEPRIZIO, J.: *Comparative Analysis of Database Spatial Technologies (CADST)*, [*en línea*], George Mason University, Thesis, Fairfax, USA, 103 p., Accepted: 2020-01-29T18:16:37Z, 29 de enero de 2020, Disponible en: <http://mars.gmu.edu/handle/1920/11656>, [Consulta: 16 de enero de 2021].
- GEOINFORMATION: "Advantages and Disadvantages of Raster and Vector data model", *GEOINFORMATION*, 15 de diciembre de 2020, Disponible en: <https://www.geoinformations.com/2020/08/advantages-and-disadvantages-of-raster.html>, [Consulta: 15 de diciembre de 2020].
- GOODCHILD, M.F.; KEMP, K.K.: *NCGIA core curriculum: introduction to GIS*, Ed. National Center for Geographic Information and Analysis, University of Southern California, vol. 1, 1990.
- HAMID, A.M.; SAMEER, M.K.; MAGEED, N.N.: "Geo-database production of digital land use map using remote sensing and GIS techniques", [*en línea*], En: *AIP Conference Proceedings*, Ed. American Institute of Physics, vol. 2213, p. 020024, 25 de marzo de 2020, DOI: [10.1063/5.0000099](https://doi.org/10.1063/5.0000099), Disponible en: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0000099>, [Consulta: 16 de enero de 2021].
- LÓPEZ LARA, E.J.; POSADA SIMEÓN, J.C.; MORENO NAVARRO, J.G.: "Los sistemas de información geográfica", En: *Rodríguez García, J. y Collado Machuca, JC (eds.). Andalucía en el umbral del Siglo XXI. Congreso de Ciencia Regional de Andalucía (1. 1997. Jerez de la Frontera)*, 789-804, Ed. Universidad de Cádiz, Andalucía, España, 1998, ISBN: 84-7786-534-5.
- MACARTHUR, R.: "Chapter 6 - GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND THEIR USE FOR ENVIRONMENTAL MONITORING", [*en línea*], En: *Artiola, J.F.; Pepper, I.L. y Brusseau, M.L. (eds.), Environmental Monitoring and Characterization*, Ed. Academic Press, Burlington, pp. 85-100, 1 de enero de 2002, DOI: [10.1016/](https://doi.org/10.1016/)

- [B978-012064477-3/50008-4](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.001), ISBN: 978-0-12-064477-3, Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120644773500084>, [Consulta: 18 de enero de 2021].
- MATELLANES FERRERAS, R.: “Modelo vectorial y raster: ventajas y desventajas - Blog Geoinnova”, *Territorio Geoinnova - SIG y Medio Ambiente*, 23 de mayo de 2017, Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/modelo-vectorial-y-modelo-raster/>, [Consulta: 16 de febrero de 2020].
- OCAMPO, M.; SANTA CATARINA, C.: “Agricultura de Precisión”, En: *Oficina de Información Científica y Tecnológica para el congreso de la Union (INCyTU)*, p. 15, 2018.
- OLIVO BERMEO, M.J.: *Comparativas de software sig libre y comercial para estudios Ambientales.*, [en línea], Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Thesis, Ecuador, 81 p., Accepted: 2019-10-02T20:53:20Z, 24 de septiembre de 2019, Disponible en: <http://localhost/xmlui/handle/123456789/1974>, [Consulta: 16 de enero de 2021].
- PALANISAMY, S.; SELVARAJ, R.; RAMESH, T.; PONNUSAMY, J.: “Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review”, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8: 2270-2283, 20 de enero de 2019, DOI: [10.20546/ijcmas.2019.801.238](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238).
- PÉREZ GARCÍA, C.A.: *Sistema de información geográfica para la aplicación de técnicas avanzadas de cultivo en la caña de azúcar*, [en línea], Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales, Thesis, Accepted: 2019-05-08T14:58:24Z, 2019, Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/11148>, [Consulta: 4 de agosto de 2022].
- PÉREZ-GARCÍA, C.A.; PÉREZ-ATRAY, J.J.; HERNÁNDEZ -SANTANA, L.; GUSTABELLO-COGLE, R.; BECERRA-DE ARMAS, E.: “Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara”, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(2): 30-46, junio de 2019, ISSN: 2227-1899.
- REZA, M.; MOHAMMAD, A.: “Application of Gis and Gps in Precision Agriculture (a Review)”, *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, : 9, 2015, ISSN: 2322-4827.
- RUIZ FERNÁNDEZ, E.: *Comparativa de software para la Realización de Simbolización Cartográfica*, Universidad de Oviedo, Asturias, España, 102 p., 2016.
- SAMBREKAR, K.; RAJPUROHIT, V.S.: “Fast and Efficient Multiview Access Control Mechanism for Cloud Based Agriculture Storage Management System”, *International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC)*, 9(1): 33-49, 1 de enero de 2019, ISSN: 2156-1834, DOI: [10.4018/IJCAC.2019010103](https://doi.org/10.4018/IJCAC.2019010103).
- SANTOS, M.: “De la totalidad al lugar”, *Estudios Geográficos*, 59: 135, 1998.
- SHARMA, R.; KAMBLE, S.S.; GUNASEKARAN, A.: “Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 155: 103-120, 1 de diciembre de 2018, ISSN: 0168-1699, DOI: [10.1016/j.compag.2018.10.001](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.001).
- STEINIGER, S.; HUNTER, A.J.S.: “The 2012 free and open source GIS software map - A guide to facilitate research, development, and adoption”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 39: 136-150, 1 de mayo de 2013, ISSN: 0198-9715, DOI: [10.1016/j.compenurbsys.2012.10.003](https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2012.10.003).
- STEINIGER, S.; WEIBEL, R.; WARF, B.: “GIS software: a description in 1000 words”, En: *Encyclopedia of geography*, London, GB, 2010a, ISBN: 978-1-4129-5697-0.
- STEINIGER, S.; WEIBEL, R.; WARF, B.: “GIS software: a description in 1000 words”, [en línea], En: *Encyclopedia of geography*, Ed. Sage, London, GB, p. online, 2010b, DOI: [10.5167/uzh-41354](https://doi.org/10.5167/uzh-41354), ISBN: 978-1-4129-5697-0, Disponible en: <http://www.sagepub.com/booksProdDesc.nav?prodId=B00k230922>, [Consulta: 16 de enero de 2021].
- VITTURINI, M.; FILLOTTRANI, P.R.; CASTRO, S.M.: “Modelos de datos para datos espaciales”, En: *V Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2003.
- ZHANG, F.; CAO, N.: “Application and Research Progress of Geographic Information System (GIS) in Agriculture”, [en línea], En: *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, Ed. IEEE, Istanbul, Turkey, pp. 1-5, julio de 2019, DOI: [10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476](https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476), ISBN: 978-1-72812-116-1, Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8820476/>, [Consulta: 24 de julio de 2022].
- ZHOU, W.: “GIS for Earth Sciences”, [en línea], En: Alderton, D. y Elias, S.A. (eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)*, Ed. Academic Press, Oxford, pp. 281-293, 1 de enero de 2021, DOI: [10.1016/B978-0-08-102908-4.00018-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00018-7), ISBN: 978-0-08-102909-1, Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081029084000187>, [Consulta: 18 de enero de 2021].

Gabriel Alberto Pérez-Guerra, MSc., Profesor, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 23 1/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: gabrielpg@unah.edu.cu.

Ivett Sosa-Franco, MSc., Profesora, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 23 1/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: ivett@unah.edu.cu.

Neili Machado-García, Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 23 1/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: neili@unah.edu.cu.

María Elena Ruiz-Pérez, Dr.C., Profesora Titular, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Carretera Tapaste y Autopista Nacional km 23 1/2, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700, e-mail: mruiz@unah.edu.cu.

The authors of this work declare no conflict of interests.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** G. Pérez, N. Machado. **Data curation:** G. Pérez, N. Machado. **Formal Analysis:** G. Pérez, N. Machado, M. E. Ruiz. **Software:** G. Pérez, N. Machado. **Supervision:** G. Pérez, N. Machado, M. E. Ruiz. **Validation:** G. Pérez, N. Machado, M. E. Ruiz, I. Sosa. **Visualization:** G. Pérez, N. Machado, I. Sosa. **Writing - original draft:** G. Pérez, N. Machado, M. E. Ruiz. **Writing - review&editing:** G. Pérez, N. Machado, M. E. Ruiz, I. Sosa.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.