

SIG, características, relación con las bases de datos espaciales y su uso en la agricultura.

GIS, characteristics, relationship with spatial databases and their use in agriculture.

^{1*} Gabriel Alberto Pérez Guerra

² Ivett Sosa Franco

³ DraC. Neili Machado García

⁴ DraC. María Elena Ruiz Pérez

Universidad Agraria De La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”.
Carretera Tapaste km 23 ½. San José de Las Lajas, Mayabeque. Cuba

Autor para correspondencia: gabrielpg@unah.edu.cu

Resumen

Los sistemas de información geográfica constituyen herramientas que permiten integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. Permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar información espacial; así como editar datos, mapas y presentar los resultados de dichas operaciones. En este artículo se describen los conceptos básicos de estos sistemas. De igual forma, 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; SIG en la agricultura; representación de datos espaciales; herramienta de desarrollo SIG.

Abstract

Geographic information systems are tools that allow integrating, storing, editing, analyzing, sharing and displaying geographically referenced information. They allow users to create interactive queries, analyze spatial information; as well as edit data, maps and present the results of said operations. This article describes the basic concepts of these systems. In the same way, 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.

Recibido: 8 de noviembre de 2022

Aprobado:12 de diciembre de 2022

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, ha 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,

Introduction

Since the end of the 20th century, Information Technology has become one of the most important tools in the development of society. The growing development of Information and Communication Technologies and positioning services has enhanced the availability of geographic information for various sectors of society. This, in turn, has led to the creation of Geographic Information Systems (GIS) as tools capable of processing the large amount of existing data and providing new information (Pérez García, 2019). The emergence of this technology has served as a benchmark for technological development in different areas such as agriculture, livestock, hydrography, tourism, topography. (Barrera Narváez et al., 2020).

GIS are information systems made up of hardware, software, and procedures to capture, manage, manipulate, analyze, model, and represent georeferenced data, with the aim of solving management and planning problems (Goodchild and Kemp, 1990). They are a framework for collecting, managing and analyzing data. Rooted in the geography branch, it integrates many types of data. Analyze spatial location and layer information into visualizations using maps and 3D scenes. With this unique ability, GIS reveals deeper insights from data, such as patterns, relationships, and situations,

ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

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

helping users make smarter decisions.

In the 20th century, specifically in the year 1962, Roger Tomlinson created the first GIS in Canada, which is why he is considered the father of GIS, and it is based on this study that the Institute appeared that same year. Systems Research Institute - Environmental Systems Research Institute (ESRI), who currently develop applications for GIS. Currently, the progress of GIS has been dizzying, especially with the use of the Internet as a massive platform for communication and management of geographic data. (Perez Garcia, 2019)

GIS has become a powerful, time-efficient, and cost-effective technique for geologists, scientists, and engineers who have previously been solving problems related to geospatial data in traditional ways (using printed maps). Today, GIS offers professionals the ability to create their own digital maps and represent information about the real world in a visual way that easily reveals patterns, trends, and relationships about anything that has a geospatial context. They have become a powerful tool for data capture, data sharing, communication, and collaborations (Zhou, 2021).

Any science related to space, especially geography, analyzes the territory through different thematic layers (soil and its uses, municipal areas, the hydrographic network, the settlement system, road infrastructures -- roads, railways...-- the distribution of equipment and services...). That is, detecting and using, isolated or jointly, different layers of information from the same area. In this way, the researcher can analyze each of these thematic layers depending on the objectives of his study. In this sense, the

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.

1. 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).

1.1 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

great advantage of GIS is that they can relate the different layers to each other, which gives these systems excellent analysis capabilities, allowing them to respond to complex requests and, therefore, produce derived maps that can represent real situations or very useful hypothetical or simulated scenarios (López Lara et al., 1998).

In this article the basic concepts of these systems are presented, 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 on the market are analyzed. Finally, the use of geographic information systems in agriculture is addressed.

1. Basics concepts

When talking about the characteristics and functionalities of GIS, it is important to be clear in advance about some basic concepts about the characteristics of the information that they manipulate. Geographic type information can be classified into two categories, depending on whether it represents characteristics of the geographic space (attributes referring to the geographic space) or, on the contrary, it represents properties of the managed objects (attributes referring to the objects).

1.1 Basic concepts related to geographic space

Geographic space is defined as the coordinate space (usually R^2) in which geographic data is represented, which is usually either Cartesian (in case the GIS

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.

1.2 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

uses a flat world model) or geodetic. About this geographic space, certain information can be stored, consisting of alphanumeric attributes of which a value of its domain is associated with each point in space (Brisaboa et al., 2000).

Other authors such as Santos (1998) define it as an inseparable set in which, on the one hand, a certain combination of geographical objects, natural objects and social objects participate, and on the other, the life that fills and animates it, that is, , society in motion. The content (society) is not independent of the form (geographical objects), and each form contains a fraction of content. Space, therefore, is a set of forms, each of which contains fractions of society in motion.

This information that is stored about the geographic space is called geographic space attributes (hereinafter AEG). An AEG can be continuous (if the value associated to the space points can vary gradually throughout the geographic space) or discrete (if the set of values that the attribute associated with the geographic space can take is discrete). An example of a discrete AEG is crop type, while an example of a continuous attribute would be soil salinity, temperature, or atmospheric pressure.

1.2 Basic concepts related to objects

According to Brisaboa et al., (2000) on the geographic space the geographic objects are represented, which are objects that the GIS must manage and represent graphically. This is how they are:

- Object or geographic entity. It is an

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 UDP¹ 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:

object on which the GIS application saves not only alphanumeric information but also geographic information that allows it to be represented graphically on a map. For example, if we consider the geographical object "Town of San José de Las Lajas", in addition to alphanumeric attributes such as "name", "population", etc. may have a geographic attribute "Location of the UDP El Guayabal²" that represents the position of the UDP El Guayabal and another geographic attribute "area" that represents the area of geographic space occupied by it. At the time of visualization, the GIS can, for example, use the attribute "Location of the UDP El Guayabal" to represent the city in presentations at a scale of 1:25,000 or less, and use the attribute "area" to represent the city in presentations at larger scales, where this information may be more useful. It is convenient not to confuse here the (display) scale with the precision of the representation of the geographic attributes, which is the resolution with which the geographic information is stored in the GIS.

- Geographic attribute. It is an attribute that represents information referring to a geographic characteristic of the object to which it belongs (position, extent, etc.). It is a non-empty and possibly infinite subset of geographic space. Geographic attributes are represented by geographic figures, and their type corresponds to the type of geographic figure that is used to represent it.
- Geographic figure. They are used to

¹Unidad Docente Productiva

²Productive Teaching Unit

- 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.

graphically represent geographic attributes of an object on the plan. Various types of geographical figures are used in the domain of GIS, the most common being the following:

- Point: The value of a geographic figure of this type corresponds to an element (point) of geographic space. An example of a geographic attribute representable by such a geographic figure is the position of an object, such as the geographic location of a post office.
- Line: A geographic figure of this type corresponds to a set of curves in geographic space, where a curve is a sequence of contiguous points in space. An example of geographic attributes that can be represented by a line is the course of a river or the layout of a road
- Region: The value of a geographic figure of this type corresponds to a set of areas of geographic space. Examples of geographic attributes that can be represented by a region are the area of space occupied by a parcel of land or the area of a country affected by snowfall on a given day.
- Geographic: The value of a geographic figure of this type corresponds to a set of points and/or lines and/or regions of geographic space. Although less used than the previous ones, this type of geographic figure is also useful in certain application domains to represent geographic attributes.
- Partition: A geographic figure of this type represents an element of a partition of geographic space into disjoint areas. An example of a partition-type geographic attribute is the area of a school in a province, in which the municipalities cannot overlap and the area occupied by the set of all its municipalities must exactly coincide with the entire area of the province.

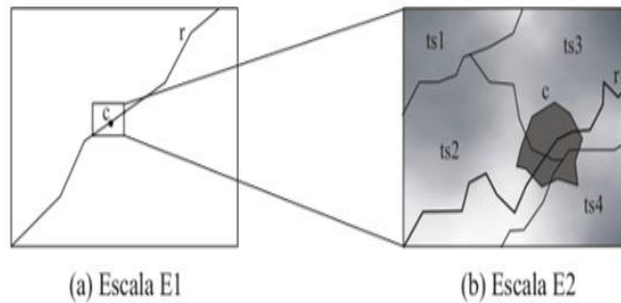


Figura 1: Ejemplo de objetos geográficos a diferentes escalas. Fuente: Brisaboa et al., (2000)

Figure 1: Example of geographic objects at different scales. Source: Brisaboa et al., (2000)

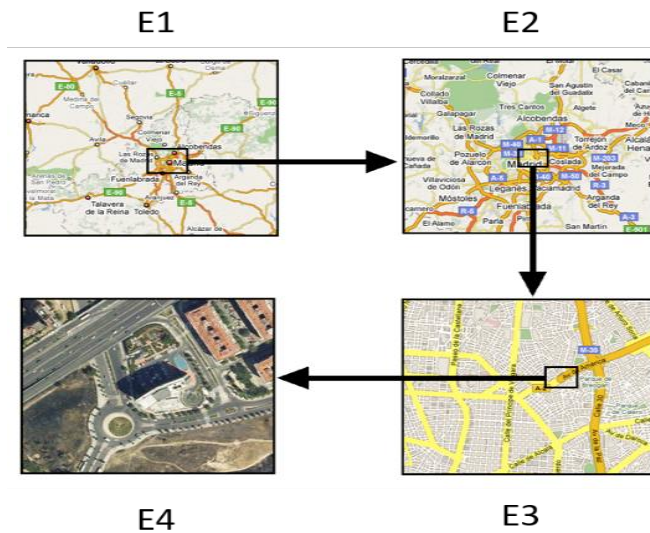


Figura 2: Ejemplo de objetos geográficos a diferentes escalas y tipos. Fuente: Elaboración propia.

Figure 2: Example of geographic objects at different scales and types. Source: self-made.

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

An example of the above can be seen in Figure 1 where you can see the geographic attributes corresponding to various geographic objects at two different scales, as well as the representation of two attributes of geographic space. More specifically, it can be seen how at the E1 scale the geographic object "c" (representing a city) is represented by its point-type geographic attribute "Location of a School", while the geographic object "r" is represented by means of a geographic

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.

attribute of line type. At the E2 scale, the object "c" starts to be represented by its geographic attribute "area", of region type, while "r" continues to be represented by the same attribute of line type (although by using a larger scale in the presentation it can be viewed in more detail). At this E2 scale, the discrete geographic space attribute (AEG) "soil type" can also be seen, which divides the space into four regions with values ts1, ts2, ts3 and ts4 respectively, and the continuous AEG "salinity" (colors plus The dark ones represent lower soil salinity values.) In the case of Figure 2, something similar can be seen, a point-type geographic object that represents a property and as the scale increases, the object becomes a point to an area. In this figure you can also see a new type of map on a satellite image.

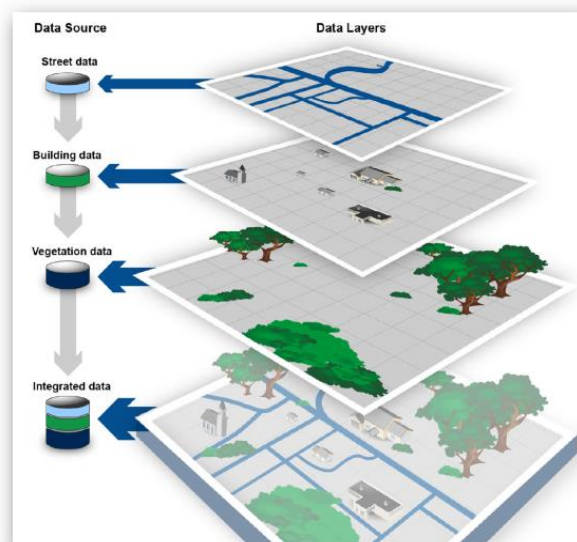


Figura 3: Representación visual de varias capas de datos en un SIG. Fuente: Zhou (2021)

Figure 3: Visual representation of various data layers in a GIS. Source: Zhou (2021)

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" (Stefan Steiniger et al., 2010).

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 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

In GIS software, geographic features that have the same geometric and attribute representation are often grouped into so-called "layers" to simplify data management tasks. For example, all buildings that are represented by polygons and have information about the owner and the year of construction are grouped in a "buildings" layer (Stefan Steiniger et al., 2010).

A GIS can be made up of several data layers that allow complementing the terrain map. These layers contain the coordinates of the area they occupy and allow more data to be added for information sampling and decision making. Figure 3 shows the extrapolation of several data layers on a map, in this case we have the data for streets, buildings and vegetation. When carrying out analysis, the more information about the terrain you have, the more accurate the result will be.

2. Representation of data in a GIS

The representation of spatial data (which represents the locations in a database) can be done in two basic formats: i) Vector format and ii) Raster format. The vector format is represented as points, lines, and areas, and the raster format is represented as a grid of cells/pixels. The vector format is based on views of discrete objects of reality (analog maps) and the raster format is based on a network made up of cells or grids (photographs, images, etc.), in which each grid (pixel) presents a quality or spatial property (color, altitude, among others).

The main difference with respect to a vector file is that pixels are stored in the

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 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

raster file while in the vector file the coordinates of the vertices of each geometric element are stored.

In principle, any situation in the real world can be represented digitally in both raster and vector formats. Raster-based GIS represent data with points (bits) on a map (Figure 4). The locations are represented in a grid of cells. In the figure, the surface of a lake is mapped to a GIS raster, resulting in the blue group of cells on the right.

The cells do not exactly match the contours of the lake. The "squaring" of the edges is called aliasing and is caused by imperfect sampling of smooth curves. Taking more samples (using smaller grids with more bits per unit area) results in less aliasing and a better representation of physical reality.

This is called higher resolution and is a term used throughout the space technology domain to measure error. Better resolution means fewer errors, but is more expensive to acquire. The accuracy of GIS maps depends on how many data samples are taken per unit area. Vector-based GIS represent physical features in nature as points, lines, or polygons (Figure 5).

It should be noted that there is also overlap in vector GIS. In this case, the curvilinear boundaries of features such as lakes or roads are measured with straight line pieces. The more small lines that are used, the better the true nature of the feature will be captured (Macarthur, 2002).

línea recta. Cuantas más líneas pequeñas sean usadas, mejor será capturada la verdadera naturaleza de la función (Macarthur, 2002).

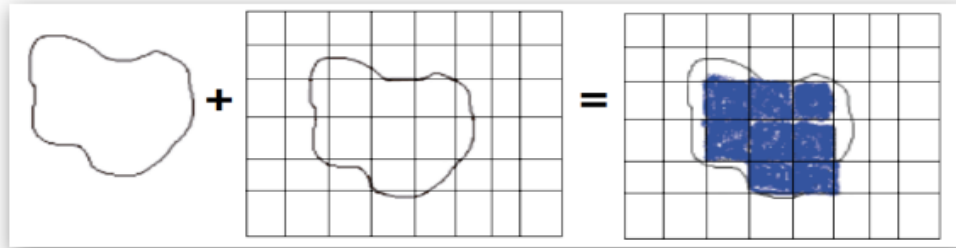


Figura 4: Representación utilizando el modelo Raster de un lago. Fuente: Macarthur (2002)

Figure 4: Representation using the Raster model of a lake. Source: MacArthur (2002)

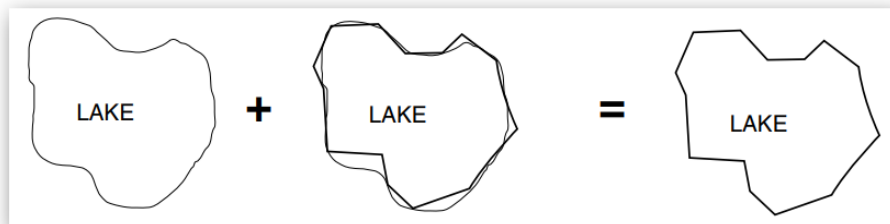


Figura 5: Representación utilizando el modelo Vectorial de un lago. Fuente: Macarthur (2002)

Figure 5: Representation using the Vector model of a lake. Source: 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:

In their works Matellanes Ferreras, (2017) and GEOINFORMATION, (2020) establish a comparison between raster and vector data according to several significant aspects, where the main differences between the two can be appreciated. Table 1 shows a summary of this comparison:

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).

Table 1: Comparison between the raster data structure and the vector data structure. Sources: Matellanes Ferreras, (2017) and GEOINFORMATION, (2020)

Characteristics	Raster data	Vector data
Introduction	A type of spatial data that is made up of a square grid of pixels.	A spatial data type that consists of points and polygons.
Nature of the data	Continuous data	Discrete data
Representation	Data is represented in cells or pixels.	Represents data using lines, points, and polygons.
Data structure	It is a simple and low cost data structure.	It is a complex and expensive data structure.
Location identifier	The raster data model uses a series of cells or pixels to represent locations on the earth.	The vector data model uses point and line segments to identify locations on the earth.
Overlap operations	In raster data overlay operations, the operations are easily implemented.	On vector data overlay operations are difficult to implement.
Example	Temperature, rain and elevation.	Administrative boundaries and linear entities such as

		roads and rivers.
Ability to compact information	It is not possible to compact the information	The information is compacted using a smaller volume of data.
Precision	The level of precision is given by the size of the cells, but there is always a margin of error in the calculations of surfaces and distances.	Greater precision for calculating surfaces and distances.
Boundaries	Limits based on the pixel size itself and have certain difficulties to develop spatial analysis.	More precise limits as they are lines and points that are easy to define and distribute.
Structure	Simple and basic model, but not very compact and it has quite a few difficulties to represent information when you have very large files	Simple but compact model. The representation of the information is simple and greatly facilitates the level of precision.
Three-dimensional representation	They can represent reality by using three-dimensional arrays.	They have a flat character and are not able to be represented in the same way in space.
Commercial use	Difficult to generate and obtain, so they present a higher economic cost.	They are more used and shared because of their ease of generation.
Assignment of qualitative or quantitative attributes	They better support the incorporation of data from the beginning of the creation of the file when it comes to satellite images. But it is difficult to edit the data later.	Ease of editing data.
Generation of rules and topological conditions	Less easy when developing topological rules and conditions.	They generate topology problems (overlaps between elements of the same layer).

3. 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 para la representación de objetos espaciales, métodos de recuperación rápidos y lenguajes de consulta específicos. Los datos espaciales están formados por objetos espaciales contruidos 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

3. GIS and Spatial Databases (BDE)

GIS data is stored in spatial databases, allowing users to manipulate information in relation to other information seamlessly. Objects from the real world (roads, land use, altitudes) can be represented grouped into two abstractions: discrete objects (a house) and continuous objects (amount of rainfall, an elevation) (Boria et al., 2020).

BDEs are an integral part of GIS by providing capabilities to represent, store, and access data, in addition to solving the problems of concurrency control, transaction management, backup, and failover (Vitturini et al., 2003). They allow the storage of the geometries of a cartographic file in a database.

BDEs offer capabilities for the proper handling of spatial data, including models for the representation of spatial objects, fast retrieval methods, and specific query languages. Spatial data is made up of spatial objects constructed from points, lines, regions, rectangles, surfaces, volumes, and even higher-dimensional objects that may include temporal constraints. Examples of spatial data include cities, rivers, routes, mountainous areas, among others (Vitturini et al., 2003).

For their part, Hamid et al., (2020) affirm that the main component of a GIS is its information database.

This database is sophisticated by taking information from various sources such as topographic maps, thematic maps and cadastral maps, equivalently, remotely detected images in digital form, among

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.

others. Whatever the basis of the information, it is essential to combine them in a common projection and recording.

There are several BDE alternatives that make it possible to store and process georeferenced information. Table 2 shows a summary of some of this software.

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	Oracle Corporation	2011

	geográficos y de ubicación con tipos de datos nativos.		
MongoDB	Sistema de Base de Datos NoSQL ³ . 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

Table 2: Alternatives of spatial databases. Source: self-made

Name	Description	Developer	Release date
MySQL Spatial	MySQL extension, default database on hosting platforms and, therefore, widely used by web developers.	Oracle Corporation	1995
Spatialite	SQLite extension, very simple file-based database.	Alessandro Furieri	2008
PostGIS	PostgreSQL extension, powerful cross-platform database that is fully compliant with the standards offered by the Open Geospatial Consortium (OGC).	Refractions Research	1996
H2GIS	Extension of H2, a lightweight database programmed in Java, which works via files in the same way as SQLite.	Thomas Mueller	2005
GeoMesa	Cloud-based spatiotemporal database built on top of Apache Accumulo and Apache Hadoop (also supports Apache HBase, Google Bigtable, Apache	LocationTech, CCRi	2015

³No usan SQL como lenguaje de consultas. Los datos almacenados no requieren estructuras como tablas, utiliza un esquema similar a JSON.

	Cassandra, and Apache Kafka). GeoMesa supports full OGC simple functions and a GeoServer plugin.		
Oracle Spatial and Graph	A free component of Oracle Database, it provides spatial features for managing geographic and location data with native data types.	Oracle Corporation	2011
MongoDB	NoSQL ⁴ Database System. Instead of storing data in tables, as is done in relational databases, MongoDB stores BSON data structures (a specification similar to JSON).	MongoDB Inc.	2009
MarkLogic	NoSQL enterprise database, is considered a multi-model NoSQL database for its ability to store, manage and search JSON, XML and data semantics (triple RDF) documents.	MarkLogic Inc.	2001
Neo4j	Graph-oriented database, implemented in Java. Fully transactional, disk-based, embedded persistence engine that stores structured data in graphs instead of tables.	Neo4j	2007

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 PostgreSQL (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

Choosing the right spatial database is extremely important. Each system has its own advantages and disadvantages that depend on the type of data ingested and the expected result of the analysis. Making the right decision becomes increasingly difficult as BDEs add spatial modules or extensions for use with geospatial data (Deprizio, 2020).

In their work, Agarwal and Rajan (2016) make a comparison between PostgreSQL (PostGIS) and MongoDB where the advantages and disadvantages of using a spatial database system using relational and non-relational databases are analyzed. The

⁴They do not use SQL as a query language. The stored data does not require structures like tables, it uses a schema similar to JSON..

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 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 procesado de un conjunto de operaciones espaciales en cada uno de estas BDE. Para la inserción de datos se destaca PostgreSQL, mientras que para la realización de consultas MarkLogic resulta ser el más rápido.

PostgreSQL y su extensión PostGIS

authors reflect in this document the utility of PostgreSQL as one of the best open source alternatives for spatial data storage.

They also conclude that MongoDB performs better as data size increases in indexed and non-indexed operations for both the line intersection and the point contention problem; NoSQL databases may be better defined for multi-user simultaneous query systems, including Web-GIS and mobile-GIS; non-relational databases are better suited for multi-user query systems and have the potential to be deployed on servers with limited computing power.

On the other hand, they state that there are still some limitations in the use of NoSQL databases over SQL databases. There aren't as many spatial functions in NoSQL as there are in SQL. Currently implemented geographic functions only support very basic operations. Relational databases are still far superior if the user needs to compute geographic information at the database level.

In his article Deprizio, (2020) he presents a comparison of the main BDEs currently most used. MySQL, MongoDB, MarkLogic, Neo4j, and PostgreSQL (using PostGIS) are discussed. The research analyzes the processing of a set of spatial operations in each of these BDEs. PostgreSQL stands out for data insertion, while MarkLogic is the fastest for querying.

PostgreSQL and its PostGIS extension are in both cases a common denominator

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, MultipPolygons 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.

4.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 (ver Figura 6).

among the BDEs analyzed. Among the characteristics that stand out the most according to Agarwal and Rajan (2016) are:

- Supports geometry types for Points, LineStrings, Polygons, MultiPoints, MultiLineStrings, MultipPolygons, and GeometryCollections.
- Supports spatial operators to determine geospatial measures such as area, distance, length, and perimeter.
- PostGIS also supports R-tree-over-GiST (Generalized Search Tree) spatial indexes for high-speed spatial queries.
- The PostGIS implementation is based on "lightweight" geometries and indexes optimized to reduce disk and memory footprint.

4. GIS development tools

There are several companies and organizations that develop new GIS tools. Steiniger et al., (2010) classify them according to their functionality into seven types: (i) Desktop GIS, (ii) Spatial Database Management System (SDBMS), (iii) Web map server, (iv) GIS server, (v) GIS web client, (vi) mobile GIS and (vii) Libraries and extensions (see Figure 6).

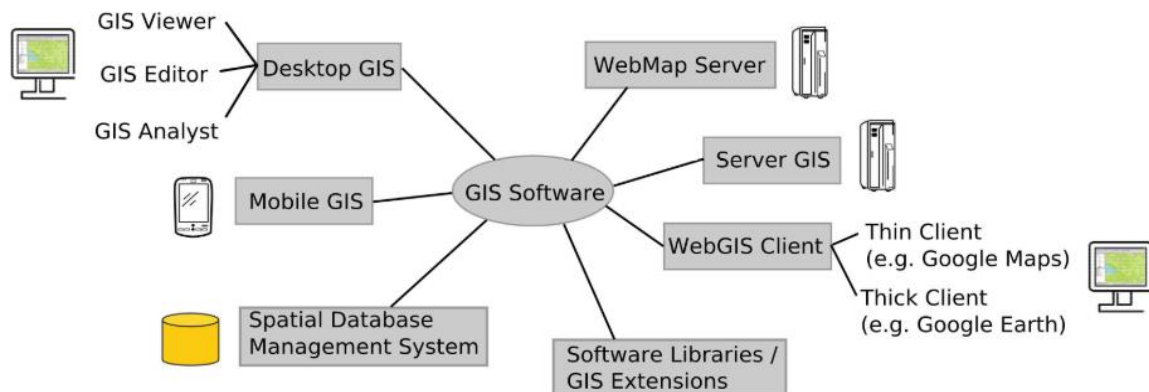


Figura 6: Diferentes tipos de software SIG. Fuente S. Steiniger et al., (2010)

Figure 6: Different types of GIS software. Source S. Steiniger et al., (2010)

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 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

In Steiniger and Hunter, (2013) each of these types of GIS and their functionalities are defined. They explain that the selection process, whether for companies, research or teaching, must be based on a rigorous software evaluation process. They maintain that among the criteria that must be applied during the evaluation of the process are, for example: software functionality, software stability, platform support, market share, credibility (brand) of the software manufacturer, as well as the size of the support and distribution network. While these criteria are common to the selection of proprietary software, with respect to free and open source software, other criteria are also important. In particular, the project that created the software should be considered, as the status of the project will influence the support, evolution (in terms of functionality and domain of use), and longevity of the software.

Different investigations make comparisons between various GIS. Ruiz (2016) analyzes QGIS, gvSIG and ArcGIS in terms of tools that they provide for the creation of vector symbology and labeling, existing compatibility for exporting and importing styles and symbologies, in addition, the capabilities for making map series are also examined automatically. The investigation is concluded by stating that ArcGIS and QGIS for the elaboration of vector symbology present great similarities, while gvSIG has great limitations in this aspect; the QGIS interface for the design of the different cartographic symbols is simpler and more intuitive for the user, presenting all the tools in the same window; but the capabilities of the GIS for the placement of

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.

the labels on a map still have a lot to improve, since a good labeling requires numerous decisions that the software at the time of the investigation is not capable of adopting; ArcGIS introduces an advanced type of labeling that, along with the utility of its annotation layers, makes label placement much easier for the user, well beyond the capabilities of the other two programs.

On the other hand Olivo Bermeo, (2019) compares the GIS applied in environmental case studies, where the key comparison factor is the system license (free or commercial software). Several factors are analyzed for both groups such as layer management, application method, general configuration, interface, image treatment, among others. A weight is assigned to the determinant factors in the author's opinion that allow them to be compared. Table 3 shows the final result of the study carried out.

Tabla 3: Resultado final de la comparación de SIG de licencias comerciales y libres. Fuente: Olivo (2019).

Table 3: Final result of the GIS comparison of commercial and free licenses. Source: Olivo (2019).

	Peso/ Weight	QGIS	GvSIG	ArcGIS	Global Mapper
Funcionalidad/ Functionality	11	9	8.5	11	10
Análisis Espacial/ Spatial Analysis	4	3	1	4	4
Vector Capability/ Vector Capability	2	1.5	1.5	2	2

Capacidad Raster/ Raster capacity	4	2	2	4	4
Interoperabilidad/ Interoperability	5	5	5	3.5	5
Rendimiento/ Performance	4	3	3.5	3.5	4
Generación de Mapas/ Map Generation	6	4.5	4.5	6	5
Documentación y Soporte/ Documentation and Support	3	1.5	2	2.5	3
Total		29.5	28	36.5	37

Concluye la investigación destacando que los softwares comerciales presentan mayor fiabilidad y rentabilidad basada 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 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 utilizar un software de pago puede ser balanceado. Varios usuarios colocan a ArcGIS como el SIG más completo y el que cuenta con más funcionalidades, pero 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.

The research concludes by highlighting that commercial software has greater reliability and profitability based on software evaluation parameters, presenting greater interoperability, map generation, functionality, capacity and analysis in terms of the characteristics of its tools. Although GIS must also be valued for its applicability and the functionalities that are required, since in certain environmental studies a GIS has better characteristics than others.

Using one GIS or another depends a lot on the needs of the user, the characteristics of what you want to do and the budget you have. It is necessary to analyze if the budget with which you have and the use of paid software can be balanced. Several users place ArcGIS as the most complete GIS and the one with the most functionalities, but nevertheless QGIS has become in recent years a reliable free alternative that meets most of the community's requirements.

5. 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

5. Applications of GIS in agriculture

Many challenges are adding pressure on today's agricultural supply chains including shrinking land size, increasing demand for natural resources, and environmental concerns. Farming systems need a major transformation from traditional practices to precision farming or smart farming practices to overcome these challenges. GIS is one such technology driving current methods towards precision agriculture (Sharma et al., 2018).

According to the United Nations Organization, the world population in July 2022 was 7.9 billion people. It is estimated that in 2030 it will be 8.5 and by 2100 11.2 billion people. This growth imposes the challenge for food production, coupled with the promotion of socioeconomic growth, the adoption of sustainable production systems and adaptation to climate change.

Given the socio-environmental impact of agriculture, the World Food and Agriculture Organization recommends five principles to make it sustainable: improve efficiency in the use of resources; carry out direct activities to conserve, protect and improve natural resources; protect and enhance rural livelihoods, equity and social well-being; strengthen the resilience of people, communities and ecosystems; implement responsible and effective public policies that ensure the sustainability of agriculture and food (Ocampo and Santa Catarina, 2018).

Today, the application of GIS has

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

penetrated all aspects of society, involving all relevant spatial information fields, such as agriculture, forestry, water conservation, land, resources, and the environment. Specific applications include natural resource management, agricultural and commercial design, political and economic analysis, urban land planning, engineering design management, science, education, culture and physical training, technology national defense, financial transportation, public facilities and other fields (Zhang and Cao, 2019).

GIS plays a key role in today's agriculture. Its use enables, among other things, the classification, mapping and cartography of crops with georeferenced information. Also the identification of phenological stages of plants, irrigation monitoring and yield prediction. All this is based, fundamentally, on sources of information such as satellite images, aerial photogrammetry and harvest data from agricultural machinery (Pérez-García et al., 2019).

According to Zhang and Cao, (2019) some of the specific uses of GIS in agriculture are to carry out:

- Agricultural zoning surveys
- Crop yield estimation
- Precision Agriculture
- Surveys and vegetation cover accounting
- Forest management decision making plans
- Detection of forest fires

Monitoring market trends, improving yields, and predicting the weather are

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

among the many responsibilities required to reduce the risk of loss and increase the profitability of producing fields. Using geospatial analysis and predictive modeling, farmers have the ability to visualize their land, crops, and management practices. Accessing spatial data has become an essential agricultural practice. Government agencies such as the US Department of Agriculture (USDA) and the European Union host websites that provide valuable information to help farmers better understand their land and make more informed decisions. This data can be accessed on the internet and used to create smart maps for better agricultural business practices (Reza and Mohammad, 2015).

In recent years, work in agricultural remote sensing has focused more on the characterization of the biophysical properties of plants. Remote sensing has been used for a long time in the monitoring and analysis of agricultural activities. Remote sensing of agricultural canopies has provided valuable information on various agronomic parameters. The advantage of remote sensing is its ability to provide repeatable information without destructive crop sampling, which can be used to provide valuable information for precision farming applications. Remote sensing offers an inexpensive alternative for data acquisition over large geographic areas (Palanisamy et al., 2019).

In their work, Budiharto et al., (2019) comment on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture. They explain the boom in recent years in the use of drones for spraying fields, pest control, as well as mapping productive land. They

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)⁵.

Por otro lado, Sambrekar y Rajpurohit, (2019) promueven el uso de Cloud Computing (Computación en la Nube)⁶ 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.

indicate that the images of the terrain that can be obtained through satellites do not always have the necessary quality to detect certain anomalies in the crops or to detect their own crops; hence, drones play a fundamental role in this regard. They express that the information captured by the drones is stored and georeferenced to later be displayed through a GIS, being able to georeference each captured aspect for later analysis using, for example, Deep Learning techniques (Deep Learning)⁷.

On the other hand, Sambrekar and Rajpurohit, (2019) promote the use of Cloud Computing⁸ applied in agricultural processes. They indicate that the information obtained from the fields makes it possible to determine marginal crops grown on fragmented land, quantify their effect on crop yields, and detect crop stress due to nutrients and diseases. They indicate that the application of cloud computing techniques enables user access to the storage resource at anytime and anywhere through the Internet.

⁵ Dominio de rápido crecimiento del aprendizaje automático, principalmente para resolver problemas en la visión por computadora. Es una clase de algoritmos de aprendizaje automático que utilizan una cascada de muchas capas de procesamiento no lineal

⁶ Es el uso de una red de servidores remotos conectados a internet para almacenar, administrar y procesar datos, servidores, bases de datos, redes y software. En lugar de depender de un servicio físico instalado, se tiene acceso a una estructura donde el software y el hardware están virtualmente integrados.

⁷ 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, you have access to a framework where software and hardware are virtually integrated.

⁸ 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, you have access to a framework where software and hardware are virtually integrated.

Conclusiones

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).

Existe software SIG actuales con gran cantidad de funcionalidades implementadas que posibilitan el manejo adecuado de los datos geográficos. Es siempre necesario realizar un estudio preliminar para determinar cuál de los SIG actuales 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.

Los sistemas de bases de datos espaciales constituyen una herramienta útil para el almacenamiento de información espacial. PostgreSQL, con su extensión PostGIS constituye una herramienta de software libre que cuenta con funciones incorporadas suficientes para garantizar el almacenamiento de grandes volúmenes de datos, así como la extracción de esta.

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

Conclusions

The fundamental advantage of GIS is the separation of spatial or geographic reference information and attribute or descriptive information of map features for data entry and database development and their linkage during analysis. Separating the two types of information makes it easier to enter spatial information (map) into computers in digitized form and to establish connectivity (topology) between the different stored map features (points, lines, and polygons).

There is current GIS software with a large number of implemented functionalities that allow the proper handling of geographic data. It is always necessary to carry out a preliminary study to determine which of the current GIS best suits the needs of the problem in question. Another important aspect to take into account is whether there is a need to use paid software or whether the current free software covers the needs.

Spatial database systems are a useful tool for storing spatial information. PostgreSQL, with its PostGIS extension, is a free software tool that has enough built-in functions to guarantee the storage of large volumes of data, as well as its extraction.

The introduction of digital technologies improves the quality of farmland monitoring and the accuracy of criteria assessments of crop condition parameters and fertility levels, including the ability to locate and map soil degradation processes.

localizar y mapear los procesos degradados
del suelo.

Bibliografía / References

- Agarwal, S. y Rajan, K. S. (2016) "Performance analysis of MongoDB versus PostGIS/PostgreSQL databases for line intersection and point containment spatial queries", *Spatial Information Research*. Springer, 24(6), pp. 671-677.
- Barrera Narváez, C.-F., González Sanabria, J.-S., Cáceres Castellanos, G., Barrera Narváez, C.-F., González Sanabria, J.-S. y Cáceres Castellanos, G. (2020) "Toma de decisiones en el sector turismo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica e inteligencia de negocios", *Revista científica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, (38), pp. 160-173. doi:10.14483/23448350.15997.
- Boria, E. S., Badhrudeen, M., Fonteix, G., Derrible, S. y Siciliano, M. (2020) "A Protocol to Convert Infrastructure Data from Computer-Aided Design (CAD) to Geographic Information Systems (GIS)", arXiv preprint arXiv:2006.14112.
- Brisaboa, N. R., Lema, J. A. C., Fariña, A., Luaces, M. R. y Viqueira, J. R. (2000) "Sistemas de Información Geográfica: Revisión de su Estado Actual", *Laboratorio de Bases de Datos, Universidad de Coruña*, pp. 77-94.
- Budiharto, W., Chowanda, A., Gunawan, A. A. S., Irwansyah, E. y Suroso, J. S. (2019) "A Review and Progress of Research on Autonomous Drone in Agriculture, Delivering Items and Geographical Information Systems (GIS)", en *2019 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE)*. 2019 2nd World Symposium on Communication Engineering (WSCE), Nagoya, Japan: IEEE, pp. 205-209. doi:10.1109/WSCE49000.2019.9041004.
- Deprizio, J. (2020) *Comparative Analysis of Database Spatial Technologies (CADST)*. Thesis. George Mason University. Disponible en: <http://mars.gmu.edu/handle/1920/11656> (Accedido: 16 de enero de 2021).
- GEOINFORMATION (2020) "Advantages and Disadvantages of Raster and Vector data model", *GEOINFORMATION*, 15 diciembre. Disponible en: <https://www.geoinformations.com/2020/08/advantages-and-disadvantages-of-raster.html> (Accedido: 15 de diciembre de 2020).
- Goodchild, M. F. y Kemp, K. K. (1990) *NCGIA core curriculum: introduction to GIS*. National Center for Geographic Information and Analysis, University of Southern California.
- Hamid, A. M., Sameer, M. K. y Mageed, N. N. (2020) "Geo-database production of digital land use map using remote sensing and GIS techniques", en *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics, p. 020024. doi:10.1063/5.0000099.
- López Lara, E. J., Posada Simeón, J. C. y Moreno Navarro, J. G. (1998) "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. I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el umbral del siglo XXI, Andalucía, España: Universidad de Cádiz.
- Macarthur, R. (2002) "Chapter 6 - GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND THEIR USE FOR ENVIRONMENTAL MONITORING", en Artiola, J. F., Pepper, I. L., y Brusseau, M. L. (eds.)

- Environmental Monitoring and Characterization. Burlington: Academic Press, pp. 85-100. doi:10.1016/B978-012064477-3/50008-4.
- Matellanes Ferreras, R. (2017) "Modelo vectorial y raster: ventajas y desventajas - Blog Geoinnova", Territorio Geoinnova - SIG y Medio Ambiente, 23 mayo. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/modelo-vectorial-y-modelo-raster/> (Accedido: 16 de febrero de 2020).
- Ocampo, M. y Santa Catarina, C. (2018) "Agricultura de Precisión", en Oficina de Información Científica y Tecnológica para el congreso de la Union (INCYTU), p. 15.
- Olivo Bermeo, M. J. (2019) Comparativas de software sig libre y comercial para estudios Ambientales. Thesis. Pontifica Universidad Católica de Ecuador. Disponible en: <http://localhost/xmlui/handle/123456789/1974> (Accedido: 16 de enero de 2021).
- Palanisamy, S., Selvaraj, R., Ramesh, T. y Ponnusamy, J. (2019) "Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review", International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8, pp. 2270-2283. doi:10.20546/ijcmas.2019.801.238.
- Pérez García, C. A. (2019) Sistema de información geográfica para la aplicación de técnicas avanzadas de cultivo en la caña de azúcar. Thesis. Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/11148> (Accedido: 4 de agosto de 2022).
- Pérez-García, C. A., Pérez-Atray, J. J., Hernández -Santana, L., Gustabello-Cogle, R. y Becerra-de Armas, E. (2019) "Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara", Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 13(2), pp. 30-46.
- Reza, M. y Mohammad, A. (2015) "Application of Gis and Gps in Precision Agriculture (a Review)", International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, p. 9.
- Ruiz Fernández, E. (2016) Comparativa de software para la Realización de Simbolización Cartográfica. Universidad de Oviedo.
- Sambrekar, K. y Rajpurohit, V. S. (2019) "Fast and Efficient Multiview Access Control Mechanism for Cloud Based Agriculture Storage Management System", International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC). IGI Global, 9(1), pp. 33-49. doi:10.4018/IJCAC.2019010103.
- Santos, M. (1998) "De la totalidad al lugar", Estudios Geográficos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto " Juan Sebastián ...", 59, p. 135.
- Sharma, R., Kamble, S. S. y Gunasekaran, A. (2018) "Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives", Computers and Electronics in Agriculture, 155, pp. 103-120. doi:10.1016/j.compag.2018.10.001.
- Steiniger, S. y Hunter, A. J. S. (2013) "The 2012 free and open source GIS software map – A guide to facilitate research, development, and adoption", Computers, Environment and Urban Systems, 39, pp. 136-150. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.003.
- Steiniger, Stefan, Weibel, R. y Warf, B. (2010) "GIS software: a description in 1000 words", en Encyclopedia of geography. London, GB.
- Steiniger, S., Weibel, R. y Warf, B. (2010) "GIS software: a description in 1000 words", en Encyclopedia of geography. London, GB: Sage, p. online. doi:10.5167/uzh-41354.
- Vitturini, M., Fillottrani, P. R. y Castro, S. M. (2003) "Modelos de datos para datos espaciales", en V Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- Zhang, F. y Cao, N. (2019) "Application and Research Progress of Geographic Information System (GIS) in Agriculture", en 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-

Geoinformatics). 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), Istanbul, Turkey: IEEE, pp. 1-5. doi:10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476.

Zhou, W. (2021) "GIS for Earth Sciences", en Alderton, D. y Elias, S. A. (eds.) Encyclopedia of Geology (Second Edition). Oxford: Academic Press, pp. 281-293. doi:10.1016/B978-0-08-102908-4.00018-7.