



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

LA REVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVOLUTION IN
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

María José Zambrano Solís
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14405

La Revolución de la Inteligencia Artificial en los Sistemas de Información Geográfica

María José Zambrano Solís¹

mj.zambranos@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-8609-1405>

Universidad Estatal Amazónica

Ecuador

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han evolucionado significativamente desde sus orígenes como herramientas de cartografía digital hasta convertirse en plataformas esenciales para la toma de decisiones informadas en múltiples disciplinas. Esta sinergia ha dado lugar a los SIG basados en conocimiento (SIGK), capaces de procesar volúmenes masivos de datos geospaciales y extraer información valiosa mediante técnicas avanzadas de aprendizaje automático. El objetivo de esta investigación fue analizar el impacto de la revolución de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica. Dentro de los principales hallazgos se refleja que la IA marcó un alto impacto en el desarrollo de aplicaciones de los SIG, estas aplicaciones permiten dar respuesta en diversos ámbitos como el análisis espacial, medio ambiente, gestión de recursos, movilidad y circulación y vigilancia, entre otros. Los SIG con IA ofrecen varios beneficios porque contribuyen a la capacidad de analizar gran cantidad de datos espaciales, descubrir patrones ocultos y generar nuevos aportes orientados a la predicción y modelado espacial con la utilización de datos geográficos históricos en tiempo real. La convergencia de SIG e IA representa una frontera de investigación prometedora para abordar desafíos globales complejos y transformar la forma en que entendemos y gestionamos nuestro entorno.

Palabras clave: inteligencia artificial, sistemas de información geográfica, análisis espacial, datos geospaciales

¹ Autor Principal.

Correspondencia: Mj.Zambranos@Uea.Edu.Ec

The Artificial Intelligence Revolution in Geographic Information Systems

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) have evolved significantly from their origins as digital mapping tools to become essential platforms for informed decision making across multiple disciplines. This synergy has given rise to knowledge-based GIS (K-KIS), capable of processing massive volumes of geospatial data and extracting valuable information through advanced machine learning techniques. The objective of this research was to analyze the impact of the artificial intelligence revolution on geographic information systems. Among the main findings, it is reflected that AI has a high impact on the development of GIS applications, these applications can provide answers in various fields such as spatial analysis, environment, resource management, mobility and traffic and surveillance, among others. GIS with AI offer several benefits because they contribute to the ability to analyze large amounts of spatial data, discover hidden patterns and generate new contributions oriented to prediction and spatial modeling with the use of real-time historical geographic data. The convergence of GIS and AI represents a promising research frontier to address complex global challenges and transform the way we understand and manage our environment.

Keywords: artificial intelligence, geographic information systems, spatial analysis, geospatial data

*Artículo recibido 7 septiembre 2024
Aceptado para publicación: 16 octubre 2024*



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las ciencias han demostrado un avance significativo, mucho de este se ha sustentado en la informática, por las facilidades que brinda, la normalización y sobre todo el procesamiento de datos. De ahí que, la geografía no se encuentra alejada de esta realidad y demuestra una revolución epistemológica con enfoques totalmente renovados e interrelacionados. Por esta razón, a esta ciencia se la define como una disciplina que utiliza sistemas cibernéticos, humanos y electrónicos, en pro de analizar sistemas físicos y sociales. Uno de los elementos centrales de esta ciencia es el análisis espacial orientado a la toma de decisiones. Sin embargo, el avance de la inteligencia artificial (IA) ha generado cambios a nivel mundial; ha reflejado avances vertiginosos para la ágil producción y optimización de algoritmos dentro de los procesos internos de las empresas (Da Silva, 2023). Es evidente que estos procesos de innovación muestran un crecimiento exponencial que lleva al desarrollo de nuevos ciclos de producción.

El mundo de los SIG también se ve beneficiado con la tecnología, con la llamada *Geo Inteligencia Artificial* o *GeoIA*, en donde se pasa de saber dónde ocurren las cosas a identificar por qué suceden; de ahí, se destacan dos cualidades relevantes: la primera su capacidad predictiva que permite conocer con antelación la ocurrencia de los hechos; la segunda la capacidad prescriptiva, con la que se identifica cómo actuar ante la presencia de diferentes factores. La *GeoIA*, utiliza diferentes métodos y softwares especializados que contribuyen a la transformación y combinación de diferentes fuentes de geodatos; analítica de datos geoespaciales para generación de insights; modelamiento de datos a través de machine learning y data science, así como la generación de informes; preparación de dashboards que permiten la visualización completa y simple de los datos y sus resultados (Geograma, 2024).

La evolución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha sido un viaje desde la simple cartografía digital hasta convertirse en herramientas indispensables para abordar los desafíos del mundo moderno. En sus inicios, a mediados del siglo XX, en la década de 1960, los SIG eran proyectos de investigación académica que utilizaban las primeras computadoras para crear mapas digitales y realizar análisis básicos (Siabato, 2018). Con el tiempo, su aplicación se extendió a diversos campos, como la medicina y la ingeniería, consolidándose como herramientas clave para la toma de decisiones (Gualdrón & Villate, 2021).



Un hito importante en la historia de los SIG fue la llegada de las computadoras personales en los años 80, lo que democratizó su acceso y uso. A partir de entonces, los SIG incorporaron interfaces más amigables y bases de datos geoespaciales más robustas (Volaya, s/f). La integración con tecnologías como el GPS, los sensores remotos y el IoT (Internet de las cosas) ha potenciado su capacidad para generar información precisa y actualizada, convirtiéndolos en plataformas altamente interactivas y colaborativas.

La inteligencia artificial (IA) tiene una historia más antigua, en la década de 1950, cuando un grupo de investigadores comenzó a desarrollar programas informáticos que pudieran ejecutar tareas imitando el comportamiento humano (Russell & Norvig, 2021). En los últimos años, la IA ha adquirido un gran protagonismo y ha comenzado a revolucionar múltiples sectores y áreas de la tecnología, transformando la manera en que se manejan y analizan grandes volúmenes de datos. En el contexto de los sistemas de información geográfica (SIG), la IA juega un papel fundamental al permitir el análisis de datos geoespaciales de una manera que antes era inimaginable. Los SIG requieren de robustez para manejar la complejidad intrínseca y las imprecisiones de la información, así como de flexibilidad para simular diversas teorías sobre la realidad y responder a preguntas geográficas variadas como ¿Dónde está algo?, ¿Qué hay en un lugar determinado?, ¿Cuáles son las características de un lugar?, ¿Qué hay cerca de qué?, ¿Cuál es la mejor ruta entre dos puntos?, entre muchas otras. La inteligencia artificial, particularmente a través de agentes inteligentes, proporciona a los SIG la flexibilidad y robustez necesarias (Nexus Geographics, 2023).

Los problemas de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica (SIG) suelen estar relacionados con la precisión en la interpretación de datos geoespaciales, la necesidad de algoritmos eficientes para el procesamiento de grandes volúmenes de información y la integración de diferentes fuentes de datos. Además, se presenta el desafío de asegurar la calidad de los datos y la ética en su uso, especialmente en el contexto de toma de decisiones.

Otras de las dificultades de la inteligencia artificial (IA) en los sistemas de información geográfica (SIG) pueden incluir la complejidad en el procesamiento de datos geoespaciales, la necesidad de grandes volúmenes de datos de alta calidad para el entrenamiento de modelos de IA, la variabilidad en la representación de la información espacial y la falta de interpretabilidad en los modelos de IA. Además,



la integración de métodos de IA con software especializado en geo-inteligencia puede presentar desafíos técnicos.

Otra problemática son las desventajas de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica que incluyen la vulneración de derechos, la dificultad de acceso a los datos, la falta de profesionales cualificados y el coste de su desarrollo. Además, se pueden presentar problemas como el desplazamiento laboral, algoritmos sesgados y discriminatorios, así como preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de la información.

En base a lo expuesto, el problema de investigación a resolver en esta investigación a través de una revisión y análisis sistemático se centra en ¿Cuál es el impacto de la revolución de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica?

La combinación de los SIG con la IA ha hecho posible una nueva generación de herramientas geográficas: Sistemas de Información Geográfica basados en el Conocimiento (SIGK). Estos son sistemas que combinan el poder de los SIG en el procesamiento de la información espacial con una analítica inteligente en la extracción de la información de ella, según lo describe Gómez y Fernández (2020), "Los SIGK utilizan algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones y tendencias en grandes volúmenes de datos geoespaciales" (p. 12). Además, estos sistemas utilizan reglas y modelos ya establecidos, así como conocimiento experto para deducir nueva información y tomar decisiones, lo cual es fundamental en la gestión urbana, según Rodríguez et al. (2019), "Los SIGK tienen una mayor capacidad para predecir el futuro y las circunstancias, que es la esencia de la planificación urbana" (p. 23).

El hecho de que los sistemas también tienen la capacidad de integrar diferentes fuentes de datos, como información satelital, datos de sensores IoT y redes sociales, es otra característica crítica, como lo establecen López y Martínez (2022): "Los SIGK pueden integrar y analizar datos de varias fuentes para proporcionar una visión más completa de los fenómenos geográficos" (p. 45). En pocas palabras, los SIGK representan un desarrollo importante en el campo de la geoinformática, para gestionar la información geográfica de manera efectiva y precisa, disminuyendo el tiempo y recursos utilizados en la toma de decisiones.



Por otro lado, como resultado de la creciente integración entre IA y los SIG, ha dado lugar a una nueva disciplina conocida como Inteligencia Artificial Geoespacial (GeoAI). Según Kyoung-Sook Kim, copresidente del Grupo de Trabajo de GeoAI del Open Geospatial Consortium (OGC), GeoAI se define como "una aplicación de inteligencia artificial combinada con datos geoespaciales, ciencia y tecnología para acelerar la comprensión real de oportunidades de negocio, impactos medioambientales y riesgos operativos" (OGC, 2019).

GeoAI combina técnicas de inteligencia artificial tradicionales como Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL) con datos geoespaciales para generar información útil a través de la extracción, clasificación y detección de patrones en datos estructurados y no estructurados (ESRI, 2022). Machine learning, o aprendizaje automático, se centra en el desarrollo de algoritmos que permiten a las computadoras identificar patrones en grandes volúmenes de datos, y Deep Learning, una subcategoría del machine learning, utiliza redes neuronales profundas para modelar y resolver problemas complejos, como el reconocimiento de imágenes y el procesamiento del lenguaje natural (Navarro, 2024).

De acuerdo con Janowicz et al. (2019), el GeoAI no solo integra ML y DL, sino que también adapta estas técnicas a las particularidades de los datos geoespaciales, mejorando la precisión y eficiencia de los análisis en diversas aplicaciones, como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la respuesta ante desastres. Así, el GeoAI representa una evolución significativa en el uso de la IA en SIG, ampliando sus capacidades analíticas y predictivas.

Dentro del ámbito de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) existen diferentes plataformas y softwares que se encuentran revolucionando, sobre todo en el manejo de los datos geoespaciales. Dentro de las más destacadas se identifican en la tabla 1.



Tabla 1. Plataformas - Softwares y Herramientas de los SIG

Plataformas	Softwares	Herramientas
<p>Google Earth Engine (GEE)</p> <p>Facilita el acceso a imágenes satelitales y datos geoespaciales masivos, mientras que la IA, a través de algoritmos de aprendizaje automático, permite detectar patrones complejos y predecir cambios en el uso del suelo, la biodiversidad, y los impactos del cambio climático. Esta combinación de tecnologías proporciona a los investigadores y tomadores de decisiones herramientas avanzadas para el monitoreo ambiental en tiempo real y la implementación de soluciones sostenibles (Gorelick et al., 2017; Varner et al., 2020).</p>	<p>GRUPO ArcGIS</p> <p>ArcGIS Online . Ofrece acceso a herramientas de ML y DL en la nube para análisis de datos geoespaciales compartidos.</p> <p>ArcGIS Pro destaca por su capacidad potente de ejecutar herramientas de GeoAI para el análisis en 3D y la clasificación de imágenes mediante modelos entrenados (Esri, 2024; Esri, 2020a).</p> <p>ArcGIS Enterprise permite la implementación de estos modelos a nivel corporativo, facilitando el procesamiento masivo de datos.</p> <p>ArcGIS Insights combina ML y DL con análisis visuales interactivos para descubrir patrones ocultos en los datos.</p> <p>ArcGIS Image Analyst se especializa en la interpretación de imágenes mediante algoritmos de IA para detección precisa de objetos.</p>	<p>HERRAMIENTAS MACHINE LEARNING</p> <p>TensorFlow, desarrollado por Google, es una de las bibliotecas más populares para el aprendizaje automático (IEBS, 2023). Scikit-learn, es una biblioteca de Python que proporciona herramientas para tareas de clasificación, regresión y clustering, entre otras (MIOTI, s.f.).</p>
<p>FlyPix AI</p> <p>Es una plataforma de análisis geoespacial que utiliza inteligencia artificial para procesar imágenes aéreas y satelitales</p>	<p>ArcGIS Notebooks integra Python para automatizar flujos de trabajo geoespaciales complejos, mientras que ArcGIS Velocity permite el análisis en tiempo real de grandes volúmenes de datos de sensores y dispositivos IoT. Además,</p>	<p>HERRAMIENTAS MICROSOFT</p> <p>Azure Machine Learning, el cual es parte de la plataforma de Microsoft, permite a los usuarios desarrollar,</p>



<p>obtenidas de drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores especializados. Está diseñada para detectar, localizar y analizar objetos en grandes conjuntos de datos geoespaciales, su uso ha revolucionado sectores como la agricultura mediante la identificación de cultivos y detección temprana de plagas, el monitoreo de infraestructuras y la cartografía (García & Rodríguez, 2020; Johnson et al., 2021).</p>	<p>ArcGIS API for Python facilita el desarrollo de aplicaciones personalizadas con modelos de ML y DL para tareas geoespaciales específicas (Esri, 2020b).</p> <hr/> <p>Artificial Intelligence Forecasting Remote Sensing (AIFRS) está diseñado para realizar pronósticos de series temporales utilizando modelos de aprendizaje profundo. Este complemento de QGIS permite analizar datos de teledetección para predecir patrones futuros en áreas como el cambio climático, la vegetación o los recursos hídricos. El AIFRS facilita la implementación de técnicas de IA para automatizar y optimizar los procesos de análisis de datos espaciales lo facilita trabajar con grandes volúmenes de datos (QGIS Plugins;GitHub, 2023).</p>	<p>entrenar y desplegar modelos en la nube, facilitando la colaboración y la integración con otros servicios de Microsoft (Bismart, s.f.).</p> <p>AI for Earth, que vincula el manejo geográfico de datos con capacidades de análisis a gran escala, utilizando IA para abordar problemas ambientales (Microsoft AI for Earth, n.d.). Por otro lado, algunas herramientas claves de learning son Keras, una API de alto nivel para construir y entrenar modelos (Capterra, s.f.) y PyTorch facilitan la experimentación y la visualización de resultados en tiempo real de los datos espaciales (MIOTI, s.f.).</p>
<p>Mapflow AI</p> <p>Es una plataforma que utiliza algoritmos de IA para procesar grandes volúmenes de imágenes aéreas y satelitales, automatizando tareas como la detección de objetos, el análisis de infraestructuras y la evaluación de riesgos geoespaciales, lo que ha permitido avances significativos en áreas como la gestión de riesgos y desastres, la planificación urbana y la</p>	<p>Bunting Labs AI Vectorizer, diseñado para vectorizar datos de archivos PDF y GeoTIFF. Con su función de autocompletado basada en inteligencia artificial, las horas de digitalización se reducen a minutos, ya que el sistema agiliza la conversión de imágenes raster a capas vectoriales (líneas y polígonos) (Bunting Labs, s.f).</p> <hr/> <p>QChatGPT, este plugin integra la API de OpenAI, permitiendo a los usuarios interactuar con modelos de lenguaje de IA para realizar consultas, ejecutar código Python, mejorar la entrada de datos y acceder a</p>	<p>PostGIS. Generar una consulta PostGIS utilizando la tabla countries y la tabla cities para determinar la población de los países de América del Sur.</p>



<p>agricultura (Anderson & Lee, 2021; Roberts et al., 2022).</p>	<p>funcionalidades de voz e historial de consultas (Kyriakou, 2023; KIOS Research and Innovation Center, 2023).</p> <p>QGIS, un software de código abierto que permite realizar análisis geospaciales de manera accesible (Geoinnova, n.d.).</p>	<p>Geopandas. Proyecta el marco de datos a UTM10N y determina el área sumada de todos los polígonos</p>
	<p>GeoAI Plugin, con la incorporación de la IA, este recurso tiene la capacidad de automatizar tareas de análisis espacial como la clasificación y segmentación de imágenes, la detección de cambios en el uso del suelo y la predicción de patrones especiales, mejorando la eficiencia analítica ya que promueve la inclusión de técnicas de aprendizaje profundo en la investigación geoespacial (Khan et al., 2022; Gómez et al., 2021; Zhang & Liu, 2020).</p>	<p>Overpass QL y XML. Generar una consulta de Overpass QL para centros de vendedores ambulantes en Singapur (Morales, 24).</p>
	<p>Deepness, es una herramienta diseñada para facilitar la aplicación de modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) a datos geospaciales, es decir, permite aplicar modelos de aprendizaje profundo a datos de teledetección (Aszkowski et al., 2023).</p>	
	<p>SuperMap GIS, se utiliza para diversas aplicaciones, incluidas ciudades inteligentes, gestión de recursos naturales, y planificación urbana (SuperMap, 2023).</p>	



GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System) es un potente sistema de información geográfica de código abierto, que admite varios formatos de datos y se integra bien con otras herramientas SIG (Flypix, n.d.). (Ochoa, 2023).



Tanto las plataformas como los software en SIG están integrados por las herramientas machine learning o aprendizaje automático y deep learning o aprendizaje profundo para desarrollar modelos complejos para el análisis de datos geoespaciales, como la detección de objetos en imágenes satelitales y modelos predictivos en diversas áreas. Una de las aplicaciones más comunes de la IA en GRASS GIS es el uso de algoritmos de clasificación de imágenes y análisis predictivo. Además, es importante destacar que existen varias teorías que sustentan la aplicación de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica (SIG). Entre ellas se destacan las técnicas provenientes de la inteligencia artificial, como las Redes Neuronales Artificiales (ANN), que se utilizan para procesar y analizar datos espaciales de manera más eficiente. Estas técnicas permiten la clasificación, predicción y toma de decisiones basadas en patrones reconocidos en grandes volúmenes de datos geográficos.

Los Sistemas de Información Geográfica podrían ser considerados como una de las tecnologías geográficas más importantes. Posterior al apareamiento de los mapas, estos sistemas facilitan la realización de diferentes análisis espaciales. Sin embargo, la incorporación de la automatización digital en los SIG contribuye a que estos sistemas faciliten cuatro tipos de orientaciones: (i) al entorno de trabajo (apoyado en el uso de computadoras para el tratamiento de los datos); (ii) hacia la funcionalidad (contribuye a la obtención, almacenamiento y tratamiento de los datos espaciales); (iii) hacia su contenido (las bases de datos contienen información referenciada espacialmente); (iv) hacia su propósito (sirva para apoyar el proceso de toma de decisiones en materia de gestión y planificación territorial) (Buzai, 2018).

En base a lo expuesto, las tecnologías de IA han permitido una transformación significativa en este sector, facilitando la toma de decisiones basadas en datos geográficos. Además este tipo de investigaciones que combinan sistemas de información geográfica (SIG) con inteligencia artificial (IA) se centran en el análisis de grandes volúmenes de datos y la optimización de la toma de decisiones estratégicas. Estas tecnologías han permitido mejorar la capacidad de gestionar y analizar información geoespacial, ofreciendo herramientas valiosas en diversos sectores como la planificación urbana, la gestión ambiental y la respuesta a desastres.

En consideración a lo mencionado, se justifica la importancia de esta investigación, pues el realizar un análisis sistemático de estudios en los que se aplicó la IA en los SIG permite tener un enfoque analítico



de las investigaciones actuales, ya que permiten el análisis y visualización de datos geoespaciales. Estas herramientas ayudan a revelar patrones ocultos y a tomar decisiones estratégicas informadas, lo que puede generar ventajas competitivas en diversos campos como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, y la respuesta ante desastres (según los fragmentos de contenido). Además, han sido cruciales en la interpretación de grandes volúmenes de datos, transformando la manera en que se realizan las investigaciones. Lo referido en la presente investigación permite establecer como objetivo: Analizar el impacto de la revolución de la inteligencia artificial en los sistemas de información geográfica.

METODOLOGÍA

Este artículo se basa en una revisión de la literatura que implica encontrar las contribuciones más relevantes (pasadas y presentes) al tema de investigación, así como definir los conceptos y teorías más importantes utilizados para apoyar y comprender el problema y evaluar cómo encaja en un marco más general. La revisión bibliográfica también tiene un impacto a nivel metodológico, ya que permite ver cómo otros autores definen y utilizan las variables objeto de estudio, contribuye al desarrollo de hipótesis, permite identificar limitaciones metodológicas, sintetizar resultados, etc. En esta investigación se presenta un mapeo sistemático de la información recopilada orientada a la ingeniería de software, la inteligencia artificial y los sistemas de información geográfica; este proceso se desarrolla bajo cinco etapas:

E1. Definir preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que se establecen para el desarrollo de este estudio son:

- ¿Cuál el área o ámbito del uso de los SIG con IA para toma de decisiones?
- ¿Cuál es la tendencia de los softwares y/o plataformas de los SIG con IA que más se utilizan?

E2. Realizar la búsqueda literaria

Para la exploración bibliográfica se incluyen términos relacionados con las IA y las SIG; para esto se hace uso de booleanos como “AND” y “OR”, y en cada término de búsqueda MeSH. Las búsquedas se realizarán adicionalmente de manera manual por países usando las listas de referencias de estudios relevantes. El intervalo de estudio corresponde a los últimos ocho años. Las cadenas de búsqueda se describen en la tabla 2:



Tabla 2. Cadenas de búsqueda

Cadena de búsqueda	N° trabajos identificados	N° trabajos seleccionados	Precisión
SIG AND IA AND datos geospaciales	28	3	11%
SIG AND IA AND análisis espacial	35	2	6%
Software AND plataformas AND IA AND SIG	11	6	45%
Total		10	

E3. Seleccionar estudios

Dentro del proceso de selección de estudios se establecen dos criterios para determinar la relevancia de los mismos:

- **Inclusión:** aquellos trabajos que se centran en la utilización de la Inteligencia Artificial en los Sistemas de Información geográfica y también los que utilizan softwares y plataformas de inteligencia artificial en los SIG.
- **Exclusión:** los trabajos que no contengan el término "SIG", "IA", "Análisis espacial" y "datos geospaciales".

Para la búsqueda se utilizó una combinación de palabras claves, marcadores booleanos y limitadores como: ("Sistemas de Información geográfica SIG"[MeSH Terms] OR ("Inteligencia Artificial IA"[All Fields] AND "análisis espacial"[All Fields])); ("SIG"[All Fields]) OR (datos geospaciales [All Fields]). Por otro lado, las bases de datos utilizadas para realizar la búsqueda fueron establecidas a partir de la importancia de cada una dentro de la comunidad científica al nivel internacional; estas bases de datos son Elsevier, IEEE, ACM y Springer. La cadena con la cual se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a precisión fue *Software/plataformas IA y SIG*, con un 55 % en la precisión. Finalmente, en esta etapa fueron seleccionados 11 trabajos relevantes para el presente estudio.

E4. Clasificar artículos

Este proceso de clasificación se apoya en lo establecidos por Engelbrecht, quien establece varios paradigmas para la investigación científica (IC) y estos se distribuyen en los trabajos en correspondencia con el paradigma y las variables de investigación, como se muestra en la tabla 3.



Tabla 3. Clasificación de artículos

Paradigma de IC	N° trabajos	Porcentaje
Inteligencia Artificial (IA)	25	39,1%
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	13	20,3%
Datos geoespaciales	18	28,1%
Análisis espacial	8	12,5%

E5. Extraer y realizar la agregación de datos

Para la extracción de la información, se establece una base de datos de cada estudio identificado, en esta se consigna la información relevante en relación con el problema de investigación y para dar respuesta a las preguntas de investigación establecidas en E1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación con el mapeo sistemático realizado, se tienen como resultados relevantes en correspondencia con las preguntas de investigación:

- *¿Cuál es el área o ámbito del uso de los SIG con IA para toma de decisiones?*. En la tabla 4 se observa que las áreas en las que más se han desarrollado investigaciones relacionadas con IA y SIG son para análisis espacial y gestión de recursos:

Tabla 4. Área / Ámbito de las IC

Área / Ámbito	N°.	%
Análisis espacial	3	27,3%
Gestión de recursos	3	27,3%
Medio Ambiente	2	18,2%
Movilidad y circulación	2	18,2%
Vigilancia	1	9,1%
Total general	11	100,0%

- *¿Cuál es la tendencia de los softwares y/o plataformas de los SIG con IA que más se utilizan?*.

En correspondencia con el uso de softwares y plataformas para aplicaciones de SIG con IA se muestra en la tabla 5, que la incidencia se refleja en el uso de *ArcGIS*

Software/Plataforma SIG	N°	%
ARGIS	4	36,36%
Google Earth Engine	2	18,18%
GRASS GIS	2	18,18%
QGIS	2	18,18%
SIGOBE	1	9,09%
Total general	11	100,00%

En relación con la *Revisión Sistemática de referentes investigativos*, existen múltiples experiencias que se han desarrollados con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), éstas han sido utilizadas por: investigadores, gobiernos y empresas como herramientas que sirven para la toma de decisiones. Las SIG incorporaron en su evolución conceptualizaciones de geografía, pues esta ciencia brinda la posibilidad de establecer una visión espacial generalizada a otros campos del conocimiento y para aplicaciones como nuevas visiones de realidad. Los SIG tienen una amplia repercusión en la dimensión espacial. Sin embargo, es evidente que estos sistemas se apoyan en una realidad informática que refiere cambios significativos y vertiginosos. A continuación, se presenta un análisis sistematizado de aplicaciones destacadas de la inteligencia artificial en los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Entre investigaciones destacadas se tiene la realizada por Sánchez *et al* (2018), quienes plantean un modelo de manejo de datos apoyado en la IA y aplicado en SIG dentro del sector energético, considerando que la distribución de energía eléctrica representa una prioridad a nivel mundial debido a la importancia que esta tiene dentro del desarrollo económico y social. Para esto, se desarrolló un proyecto denominado SIGOBE, que permite la visualización y el análisis de información geoespacial de tipo eléctrico, que contribuye a la disminución de los costos operativos y la mejora de la calidad del servicio.

Dentro de investigaciones con uso de ArcGIS, se tiene la aplicada a seguridad ciudadana, que se enfoca en el usar los SIG para entender los cambios o impacto de la delincuencia en territorio, encontrando patrones geoespaciales que permiten identificar unidades territoriales de intervención prioritarias para seguridad (Tamayo & Meza, 2023). Otro estudio es el que se utilizó ArcGIS para la planificación

municipal en Colombia en Oriente y Valle de Aburrá, con este programa se genera una interrelación entre mapas y bases de datos; se parte de la información cartográfica esta se organiza y analiza con los datos de los predios (catastro), la estratificación del sistema de identificación, clasificación de potenciales beneficiarios, entre otros datos importantes (Molina, López, & Villegas, 2018). En el Ecuador se realizó una investigación para la gestión territorial de las vías del Gobierno Descentralizado. Este programa permite la integración de diversas áreas tales como sociales, culturales, económicas y tecnológicas; la finalidad de este es contar con información que permita la integración alfanumérica con la geoespacial, para facilitar la gestión de escenarios de vialidad, educación, hidrografía, cultivos, lugares recreativos, entre otros (Cañar & Cordero, 2023). Finalmente, se encuentra un estudio en donde los SIG se utilizaron para los negocios, pues brindan información estadística con referencias geográficas. A través de lo que se conoce como *geomarketing*, estos programas pueden realizar estudios de mercados, análisis de evolución espacial en el tiempo, intención del voto, planificación de sucursales o concesionarias de una empresa (Baroja, *et al* 2020).

Sin embargo, *QGIS* es otro programa utilizado para SIG; de ahí que se tienen para la red de agua potable de Cruz Grande. Es un programa que se encuentra conformado por una aplicación de dispositivos móviles para la realización y aplicación de encuestas georreferenciadas y un sistema web que presenta estas encuestas en mapas de Google (Lucrecio, *et al* 2022). Este software también fue utilizado para el control de proyectos. Este se basa en el análisis de la dimensión geográfica, orientada al mejoramiento de la capacidad de toma de decisiones, se enfoca en el tratamiento y procesamiento de información primaria, para representar posteriormente la dimensión geográfica de los proyectos (Jiménez, *et al* 2018). Otra aplicación la desarrollada en Nicaragua como un sistema de posicionamiento y geomática admite diversos formatos de datos ráster y vectoriales, con el nuevo formato de ayuda fácilmente agregado, usando la arquitectura del complemento (Gutiérrez, 2022).

Otro software relevante es *GRASS GIS*, este fue utilizado para la protección del medio ambiente, a través de la manipulación de mapas ráster con datos climáticos. Relaciona la gestión del territorio, incluyendo los procesos de análisis demográfico, protección del medio ambiente y aplicaciones de urbanismo y gestión de recursos (Vásquez, 2018). También se utilizó este software para la integración

de información geo referenciada de entidades públicas y privadas; esta conformado por un portal web, un visor de mapas geo referenciados y un catálogo de metadatos (Ulloa, *et al* 2017).

Dentro de las plataformas que han permitido el desarrollo de aplicaciones de SIG, se tiene la realizada en el Municipio de Funza (Colombia), apoyada en *Google Earth Engin (GEE)*, con la cual se realizan análisis científicos y visualizaciones de datos geoespaciales con la escala *globa.tiempo*. Esta aplicación constituye un catálogo de datos con imágenes de satélite incorporadas y un conjunto de datos geoespaciales con capacidad de análisis a escala planetaria, para monitorear y analizar los cambios en el paisaje, la cobertura terrestre, los recursos hídricos, entre otros (Sabogal, 2023). Otro análisis espacial relevante es el reelizado entre Puna y Los Valles Altos Catamarqueños, para el estudio y comprensión de las vías de circulación, esta aplicación sustenta el análisis y procesamiento remoto de grandes catálogos de imágenes satelitales (Lepori & Zamora, 2023).

Como se observa en las investigaciones analizadas, las plataformas y softwares de inteligencia artificial (IA) para Sistemas de Información Geográfica (SIG) son fundamentales porque permiten analizar datos espaciales de manera más eficiente y efectiva. La IA ayuda a descubrir patrones, optimizar procesos de toma de decisiones y mejorar la interacción con los datos geoespaciales, como la ubicación, distancia e interacciones espaciales. Además, permite crear mapas interactivos y facilita el almacenamiento y consulta de grandes volúmenes de datos geográficos. Ofrecen varios beneficios, tales como la mejora en la creación, análisis y visualización de datos geográficos. Permiten procesar grandes volúmenes de datos, facilitando su limpieza y análisis en poco tiempo. Las herramientas de IA también pueden ayudar en la identificación de patrones, pronóstico de tendencias y monitoreo de riesgos mediante análisis espacial automatizado.

Sin embargo, las plataformas y softwares de inteligencia artificial (IA) para sistemas de información geográfica (GIS) presentan algunas limitaciones significativas. Estas pueden incluir aspectos como la dependencia de la calidad de los datos, donde datos inexactos pueden conducir a resultados erróneos; la capacidad de procesamiento, ya que algunas herramientas pueden ser limitadas en entornos con recursos limitados; y la complejidad en la integración de algoritmos de IA en sistemas GIS existentes. Es fundamental considerar estas limitaciones al implementar soluciones de IA en proyectos GIS para asegurar su eficacia.



CONCLUSIONES

Es evidente que, los avances de la Inteligencia Artificial presentaron cambios vertiginosos, sobre todo en época de la pandemia, se ha evidenciado una creciente transformación digital; uno de los avances significativos los que se reflejan en la generación de algoritmos de optimización en los procesos internos de varias empresas; estos procesos seguirán un crecimiento exponencial; de ahí que, las nuevas formas de energía que se tienen en la actualidad llevarán al desarrollo de nuevos ciclos de producción. Sin embargo, el apareamiento de la tecnología 5G influirá en la automatización de procesos, sobre todo en el ámbito de las telecomunicaciones y la robótica, pues la conectividad llegará a todos los escenarios generando nuevos y novedosos espacios virtuales. Por esta razón, se aprovecha a toda escala el apareamiento de IA, lo que ha permitido al mundo de los SIG beneficiarse de esta tecnología, sobre todo en el aspecto geoespacial, con la automatización de los procesos de análisis con bigdata, IoT y la interacción con las fuentes de datos.

La combinación de la Inteligencia Artificial y los Sistemas de Información Geográfica representan un gran potencial en diferentes sectores; esto ha permitido una evolución considerable en el futuro que pueden ser utilizados para el afrontamiento de nuevos retos. Con la aplicación de algoritmos Machine Learning se permitirá modelizar y predecir elementos claves como la contaminación, consumo de energía, optimización de gestión de residuos, entre otros. De ahí que la empresa de IA OpenAI, su finalidad es desarrollar tecnologías avanzadas y desarrollar IA segura y transparente que promueva el desarrollo de múltiples aplicaciones. Dentro de los productos desarrollados se tiene a GPT-3, ChatGPT, QUE son el eje de muchas herramientas, lenguajes y bibliotecas geoespaciales que incluyen PostGIS, Google Earth Engine, QGIS/PyQGIS, Geopandas, Overpass QL y XML.

La inteligencia artificial y los sistemas de información geográfica (SIG) son dos ramas de la informática que tradicionalmente marchan por separado. Pero la gran cantidad de información geográfica que se está creando y recogiendo, la variedad y heterogeneidad de los datos (en cuanto a tipo, escala y relevancia), así como su enorme volumen y la velocidad con que se están adquiriendo y procesando, llevan a la necesidad de explorar su combinación. Es el momento en que los SIG precisan de nuevas técnicas que les ayuden a absorber y extraer conocimiento de los datos geográficos, y es ahí donde



comienza una interesante y apasionante unión entre SIG e inteligencia artificial (IA), abriendo el camino a los sistemas de información geográfica basados en conocimiento (SIGK).

La IA ayuda a mejorar la capacidad del SIG, permitiendo modelos más evolucionados y sofisticados en inteligencia de localización, que no solo proporcionan información sino que modelan el conocimiento, para convertir la información en razonamiento. La IA ayuda al SIG principalmente en los siguientes aspectos: razonamiento cualitativo y espacial, lógica borrosa, representación del conocimiento, teoría de conjuntos, producción del conocimiento, sistemas basados en normas, modelado de problemas de razonamiento, control heurístico, razonamiento aproximado y control lingüístico. En este artículo se ha expuesto una pequeña introducción a las técnicas de IA empleadas en los SIG y se han tratado aspectos más demostrativos y teóricos que prácticos. Habría que seguir investigando en esta línea para que la IA se integre definitivamente en los SIG y aporte el conocimiento necesario para el desarrollo de SIGK destinados a la toma de decisiones en ámbitos reales en los que ya están presentes los SIG convencionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baroja, D., Mejía, D., Cevallos, Á., & Puetate, G. (2020). *Sistemas de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ArcGIS*. Cuenca: Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra. Obtenido de <https://lc.cx/nCtRvN>
- Buzai, G. (2018). *Sistemas de información geográfica SIG : teoría y aplicación*. Luján: Universidad Nacional de Luján. Obtenido de <https://lc.cx/3Ncaih>
- Cañar, P., & Cordero, S. (2023). Análisis, diseño e implementación de un sistema de información geográfica para la gestión de las vías en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Cuenca. *Tesis*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca. Obtenido de <https://lc.cx/7bZ-hL>
- Da Silva, C. (2023). La inteligencia Artificial y sus impactos en la ciencia geográfica: Hacia una geografía automatizada inteligente? *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 25(15), 1-3. doi:DOI: 10.13140/RG.2.2.29758.46401



ESRI. (24 de julio de 2022). *Inteligencia artificial + inteligencia de ubicación*. Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de

<https://lc.cx/xuWrNx>

Franco, R. (13 de mayo de 2020). *La historia «Informática» de los SIG*. Recuperado el 13 de septiembre de 2024, de

https://lc.cx/CU_IJb

Geograma. (21 de enero de 2024). *Geo Inteligencia Artificial (GeoIA) y el futuro de los datos geográficos*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de <https://lc.cx/GlsFmE>

Gómez, J., & Fernández, M. (2020). *Sistemas de Información Geográfica basados en Conocimiento*. Ecuador: Editorial Universitaria.

Gualdrón, A., & Villate, J. (2021). *Aplicaciones SIG para la ingeniería/ GIS applications for engineering*. Colombia: Editorial UPTC. Obtenido de

<https://lc.cx/98D8Da>

Gutiérrez, M. (2022). *Sistema de información geográfico QGIS. Documento Básico*. Managua: Universidad Nacional Agraria. Obtenido de

<https://lc.cx/kLiYua>

Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., & Bhaduri, B. (2019). GeoAI: técnicas de inteligencia artificial explícitamente espacial para el descubrimiento de conocimiento geográfico y más allá. *Revista internacional de ciencias de la información geográfica*, 34(4), 625-636.

doi:<https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>

Jiménez, G., León, A., Piñero, P., & Romillo, A. (2018). SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(2), 53-67.

Obtenido de

<https://lc.cx/UDJtMo>

Lepori, M., & Zamora, D. (2023). Análisis espacial mediante Google Earth Engine para el estudio y comprensión de las vías de circulación entre la Puna y Los Valles Altos Catamarqueños.

Relaciones, 48(1), 101-118. doi:

<https://dx.doi.org/10.24215/18521479e051>



- López, M., & Martínez, J. (2022). *Integración de datos en los Sistemas de Información Geográfica basados en Conocimiento*. Quito - Ecuador: Editorial Universitaria.
- Lucrecio, L., Juárez, R., Juárez, J., & Zambrano, J. (2022). Desarrollo de un SIG para la red de agua potable del poblado de Cruz Grande. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6430-6442. doi:DOI: 10.46932/sfjdv3n6-007
- Molina, A., López, L., & Villegas, G. (2018). Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación municipal. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 4(2), 27-33. Obtenido de <https://lc.cx/OUhys6>
- Morales, A. (2023 de enero de 24). *Probando la inteligencia artificial de ChatGPT aplicada a los SIG*. Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de <https://lc.cx/Gd4qfZ>
- Navarro , S. (4 de junio de 2024). *Explora el fascinante mundo de los algoritmos de inteligencia artificial*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de <https://lc.cx/OCipfU>
- Nexus Geographics. (22 de febrero de 2023). *GeoAI: la fusión entre la Inteligencia Artificial y el GIS*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de <https://lc.cx/ozGCWB>
- OGC. (2019). *OGC seeks public comment on geospatial artificial intelligence (GeoAI) standards discussion paper*. Madrid: Open Geospatial Consortium. Obtenido de <https://lc.cx/wmhCEj>
- Rodríguez, A., Martínez, J., & Gómez, J. (2019). *Aplicaciones prácticas de los SIGK en la gestión urbana*. Quito - Ecuador: Editorial Universitaria.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed. ed.). México: Pearson.
- Sabogal, B. (12 de octubre de 2023). *Aplicación de Google Earth Engine para la Detección de Cambios en el Municipio de Funza: Un Análisis Geoespacial en los Años 2021 – 2023*. Recuperado el 20 de septiembre de 2024, de <https://lc.cx/RgIbIw>

- Sánchez, N., Comas, R., García, M., & Riverol, A. (2018). Modelo de manejo de datos, con el uso de inteligencia artificial, para un sistema de información geográfica en el sector energético. *Enfoque UTE*, 7(3), 95-109. Obtenido de <https://lc.cx/ddKNMJ>
- Siabato, W. (2018). Sobre la evolución de la información geográfica: las bodas de oro de los SIG. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 56-68. doi <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.69500>
- Tamayo, J., & Meza, K. (2023). Sistemas de información geográfica y su aplicación en la seguridad ciudadana: enfoque basado en ArcGIS. *Revista de Investigación en Seguridad Ciudadana y Orden Pública*, 6(2), 45-55. Obtenido de <https://lc.cx/weAi7D>
- Ulloa, L., Orozco, F., Orozco, J., & Carrera, F. (2017). Sistema de información geográfica para la integración de información Geo referenciada de entidades públicas y privadas en la ciudad de Santo Domingo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 4(3), 122-131. doi <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i3.294>
- Vásquez, R. (2018). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 77-101. Obtenido de <https://lc.cx/L6pCAO>
- Volaya. (s/f). *Historia de los SIG*. Github. Obtenido de <https://lc.cx/7xq2OC>