

Contribuciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación urbana sostenible

Contributions of geographic information systems (GIS) in sustainable urban planning

Sarango-Ordóñez, Jhandry Patricio ^{1*}

¹ Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, Puyo; <https://orcid.org/0009-0001-4305-6579>, jp.sarangoo@uea.edu.ec

* Autor Correspondencia



<https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n4/1>

Cita: Sarango-Ordóñez, J. P. (2024). Contribuciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación urbana sostenible. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(4), 1-15. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n4/1>.

Recibido: 02/09/2024

Revisado: 22/09/2024

Aceptado: 12/10/2024

Publicado: 31/10/2024



Copyright: © 2024 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: El artículo revisa las contribuciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la planificación urbana sostenible, destacando su relevancia en la gestión de recursos y en la toma de decisiones informadas para el desarrollo de ciudades resilientes. A través de una revisión bibliográfica, se analizan estudios que muestran cómo los SIG facilitan la optimización en la distribución de agua y energía, la identificación de áreas de riesgo, y la planificación de rutas de transporte y recolección de residuos. Estos sistemas permiten integrar datos geoespaciales en tiempo real, facilitando la toma de decisiones que promueven la sostenibilidad. Sin embargo, la implementación de SIG enfrenta desafíos importantes, como la falta de datos actualizados, altos costos y la necesidad de personal capacitado. Superar estas barreras es fundamental para maximizar el potencial de los SIG en contextos urbanos, especialmente en zonas con limitaciones económicas y técnicas. En conclusión, los SIG son herramientas estratégicas para lograr un desarrollo urbano sostenible, aunque su aplicación óptima requiere mejoras en infraestructura de datos y formación profesional en tecnología geoespacial.

Palabras clave: sistemas de información geográfica; planificación urbana; sostenibilidad; desarrollo urbano; gestión de recursos.

Abstract: The article reviews the contributions of Geographic Information Systems (GIS) in sustainable urban planning, highlighting their relevance in resource management and informed decision making for the development of resilient cities. Through a literature review, we analyze studies that show how GIS facilitate the optimization of water and energy distribution, the identification of risk areas, and the planning of transportation and waste collection routes. These systems allow the integration of geospatial data in real time, facilitating decision making that promotes sustainability. However, GIS implementation faces significant challenges, such as lack of up-to-date data, high costs, and the need for trained personnel. Overcoming these barriers is fundamental to maximize the potential of GIS in urban contexts, especially in areas with economic and technical constraints. In conclusion, GIS are strategic tools for achieving sustainable urban development, although their optimal application requires improvements in data infrastructure and professional training in geospatial technology.

Keywords: geographic information systems; urban planning; sustainability; urban development; resource management.

1. Introducción

La planificación urbana sostenible enfrenta importantes desafíos debido a la creciente urbanización y el impacto ambiental de los desarrollos urbanos. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas esenciales, ya que permiten integrar, analizar y visualizar datos geoespaciales, facilitando la toma de decisiones para una gestión eficiente y sostenible de las áreas urbanas (Oliveira et al., 2024). Esta revisión exploratoria se centra en las contribuciones de los SIG a la planificación urbana sostenible, evaluando su papel en la mitigación de problemas como el uso no planificado del suelo, el tráfico congestionado y la distribución desigual de servicios públicos (Abdel Hamid, 2019).

Las ciudades actuales deben enfrentar una serie de desafíos interrelacionados: la expansión descontrolada, la falta de infraestructura adecuada, y los problemas medioambientales que surgen de prácticas urbanas no sostenibles (Peixoto et al., 2023). La falta de planificación efectiva y el aumento de la demanda de recursos urbanos exacerbaban estos problemas, afectando negativamente la calidad de vida de los habitantes urbanos. En este contexto, el uso de SIG puede ofrecer soluciones innovadoras al permitir la identificación de patrones y tendencias en la distribución espacial de recursos y necesidades. Sin embargo, aunque el potencial de los SIG es ampliamente reconocido, su implementación en la planificación urbana enfrenta limitaciones debido a la falta de integración adecuada en los marcos de desarrollo urbano y a la necesidad de datos específicos y de alta calidad que abarquen múltiples variables (King Saud University, 2023).

La ausencia de una planificación adecuada y sostenible en las áreas urbanas contribuye a problemas significativos, tales como la degradación del medio ambiente, la reducción de la biodiversidad y la pérdida de espacios verdes, elementos clave para la salud de los ecosistemas urbanos (Oliveira et al., 2024). Además, la falta de acceso a infraestructura básica y servicios de calidad, como agua potable, saneamiento y redes de transporte eficiente, empeora la desigualdad social y afecta especialmente a los sectores más vulnerables de la población. Estudios recientes han destacado que, a través de la integración de datos geoespaciales, los SIG pueden identificar áreas prioritarias para la intervención, facilitando el diseño de planes urbanos más equitativos y eficientes (Peixoto et al., 2023). Sin embargo, el uso inadecuado o limitado de estas herramientas puede llevar a decisiones mal informadas, dificultando la sostenibilidad a largo plazo.

La implementación de los SIG en la planificación urbana se justifica por su capacidad para ofrecer una visión integral y detallada del territorio, lo que permite a los planificadores abordar problemas complejos con un enfoque basado en datos. Estudios en ciudades sostenibles y "smart cities" han mostrado que el uso de tecnologías de geoinformación contribuye a optimizar recursos, reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida (Peixoto et al., 2023; Abdel Hamid, 2019). Además, los SIG permiten integrar datos de diversas fuentes y formatos, lo que facilita el análisis de factores interdependientes, como el crecimiento demográfico, las necesidades de transporte y la disponibilidad de servicios, logrando una planificación urbana informada y adaptable. La viabilidad de esta tecnología ha sido demostrada en numerosos estudios de caso, y su

flexibilidad permite aplicarla en contextos variados, desde pequeñas comunidades hasta grandes áreas metropolitanas.

El objetivo principal de esta revisión es analizar las contribuciones de los SIG en la planificación urbana sostenible, destacando su papel en la identificación de patrones espaciales y la optimización de recursos en entornos urbanos. A través de una revisión exhaustiva de la literatura, se buscará identificar los avances actuales, las limitaciones y las oportunidades de mejora en la aplicación de los SIG para el desarrollo de ciudades sostenibles.

En síntesis, los SIG representan una herramienta poderosa y versátil que puede transformar la planificación urbana hacia un modelo sostenible, mediante el cual las decisiones se fundamenten en datos geoespaciales precisos y actualizados. No obstante, es crucial continuar investigando cómo superar las limitaciones actuales y maximizar el potencial de los SIG en la planificación urbana, especialmente en regiones donde los recursos y la capacidad técnica son limitados. La presente revisión pretende contribuir a este campo, proporcionando una base teórica y empírica para futuros estudios y proyectos de implementación de SIG en entornos urbanos.

2. Materiales y Métodos

En la elaboración de este artículo exploratorio de revisión bibliográfica sobre las contribuciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la planificación urbana sostenible, se ha seguido un enfoque sistemático de recopilación, selección y análisis de literatura científica relevante. La metodología aplicada se ha diseñado para identificar, examinar y sintetizar información clave en torno a los avances, aplicaciones y desafíos de los SIG en el ámbito de la planificación urbana, considerando estudios empíricos y teóricos publicados en bases de datos académicas indexadas.

El proceso de búsqueda de información comenzó con la identificación de palabras clave y términos específicos asociados al tema, tales como “Sistemas de Información Geográfica”, “planificación urbana sostenible”, “tecnología geoespacial” y “ciudades inteligentes”. Estos términos se combinaron para formar cadenas de búsqueda efectivas que permitieran recuperar estudios actuales y pertinentes en bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Scopus y Web of Science. Con el fin de obtener una perspectiva completa del estado del arte, se definieron criterios de inclusión y exclusión, de manera que solo se seleccionaron aquellos artículos publicados en los últimos diez años y en revistas de alto impacto, lo que asegura la relevancia y actualidad de los resultados analizados.

La selección de artículos se realizó en tres etapas. En primer lugar, se efectuó una revisión inicial de los títulos y resúmenes para determinar la relevancia de cada fuente en relación con el objetivo del estudio. En segundo lugar, se procedió a la lectura del texto completo de los artículos preseleccionados, evaluando la profundidad y el rigor de los análisis presentados en cada investigación. Finalmente, se aplicó un proceso de síntesis temática que permitió organizar la información obtenida en categorías analíticas. Estas categorías incluyeron aspectos como las aplicaciones prácticas de los SIG en la planificación urbana, los beneficios observados en términos de sostenibilidad, y las limitaciones o barreras para su implementación.

Una vez organizada la información, se procedió a un análisis comparativo de los hallazgos en las distintas fuentes, lo que facilitó la identificación de patrones recurrentes, así como de brechas de conocimiento y áreas de oportunidad en el campo de los SIG aplicados a la sostenibilidad urbana. Este análisis permitió establecer conexiones entre las diferentes perspectivas y enfoques documentados en la literatura, y así proporcionar una visión integral y crítica sobre el tema.

La metodología de revisión bibliográfica exploratoria permite no solo obtener una visión general del impacto de los SIG en la planificación urbana sostenible, sino también destacar las limitaciones metodológicas y los desafíos técnicos señalados en investigaciones previas. La estructura de esta revisión facilita, además, la identificación de áreas en las que se requieren futuras investigaciones, con miras a optimizar el uso de los SIG en el diseño y gestión de ciudades sostenibles.

En conclusión, el enfoque metodológico de esta revisión bibliográfica ha sido diseñado para garantizar la calidad y profundidad del análisis, manteniendo un enfoque sistemático y riguroso en cada fase de recopilación, selección y evaluación de la información. Este proceso asegura que los resultados obtenidos sean representativos y estén fundamentados en evidencia científica sólida, aportando una base teórica útil para comprender y avanzar en la aplicación de tecnologías geoespaciales en la planificación urbana sostenible.

3. Resultados

3.1 Aplicaciones de los SIG en recursos urbanos

Las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de recursos urbanos representan una de las innovaciones más importantes en la planificación y sostenibilidad de las ciudades modernas. Al integrar datos espaciales y modelos de análisis, los SIG permiten a los planificadores y gestores urbanos mejorar la eficiencia en la distribución de recursos, mitigar riesgos y optimizar operaciones críticas como la recolección de residuos. Estos sistemas responden a las crecientes demandas de infraestructura y servicios, promoviendo ciudades más resilientes y sostenibles. A continuación, se detallan las aplicaciones específicas de los SIG en la distribución eficiente de agua y energía, la identificación de áreas de riesgo, y la optimización de rutas de recolección de residuos.

3.1.1. Distribución eficiente de agua y energía

Los SIG facilitan una distribución más eficiente de recursos críticos como el agua y la energía, optimizando la infraestructura para satisfacer las necesidades de áreas urbanas densamente pobladas. En el caso del agua, los SIG permiten el análisis espacial de la demanda y el monitoreo de la red de suministro, identificando posibles puntos de fuga y zonas con alto consumo. Esta capacidad es particularmente valiosa en contextos de escasez hídrica o donde el agua es un recurso limitado, ya que permite priorizar reparaciones e inversiones en infraestructura que aseguren un suministro estable y reducir pérdidas significativas (Liu & Gao, 2019). Asimismo, el uso de modelos SIG en sistemas de distribución de agua permite prever el impacto de la expansión

urbana en los recursos disponibles, anticipando la necesidad de ajustes en la red y promoviendo un uso más sostenible de este recurso.

En cuanto a la energía, los SIG permiten mapear las áreas de mayor consumo eléctrico, identificando zonas donde es viable implementar fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica. Esto no solo contribuye a la eficiencia energética, sino que también apoya la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. La planificación energética basada en SIG facilita, además, la localización de puntos críticos en la red eléctrica y la optimización de la infraestructura para evitar sobrecargas y fallos, especialmente en situaciones de alta demanda (Oliveira et al., 2024). De esta forma, los SIG se convierten en una herramienta esencial para avanzar hacia un modelo energético más resiliente y adaptado a las necesidades de las ciudades modernas.

3.1.2. Identificación de áreas de riesgo

Una de las aplicaciones más destacadas de los SIG en el ámbito urbano es su capacidad para identificar y gestionar áreas de riesgo. Estos sistemas permiten realizar análisis detallados que integran factores geológicos, hidrológicos y climáticos, generando mapas de vulnerabilidad que destacan zonas propensas a desastres naturales como inundaciones, deslizamientos y terremotos. Esta información es fundamental para los planificadores urbanos, ya que facilita la implementación de medidas preventivas y la planificación de infraestructuras resistentes. Por ejemplo, en áreas propensas a inundaciones, los SIG permiten modelar el flujo del agua y evaluar el impacto de la urbanización en la capacidad de absorción del suelo, lo que contribuye a la toma de decisiones para minimizar daños en caso de eventos extremos (Chen et al., 2019).

Además, los SIG son clave en la gestión de emergencias, permitiendo a las autoridades planificar rutas de evacuación y ubicar infraestructuras críticas como hospitales y refugios en zonas seguras. Los sistemas de monitoreo en tiempo real, combinados con SIG, pueden alertar sobre cambios en las condiciones ambientales que podrían representar un riesgo, como el aumento de niveles de agua en ríos o cambios en patrones climáticos. Esta capacidad de predicción y respuesta es fundamental para proteger tanto a la población como a la infraestructura urbana, aumentando la resiliencia de las ciudades ante eventos catastróficos.

3.1.3. Optimización en rutas de recolección de residuos

La gestión eficiente de residuos es un reto logístico que los SIG ayudan a resolver mediante la optimización de rutas de recolección. En muchas ciudades, la recolección de residuos se enfrenta a desafíos como el tráfico, la densidad poblacional y la ubicación de los puntos de recolección. Los SIG permiten analizar estos factores y diseñar rutas que minimicen el tiempo y la distancia de recorrido, reduciendo así el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes. Este enfoque basado en datos es crucial no solo para mejorar la eficiencia operativa, sino también para reducir los costos asociados a la gestión de residuos y el impacto ambiental de las operaciones urbanas (Santos et al., 2008).

Asimismo, los SIG pueden identificar ubicaciones estratégicas para instalar estaciones de transferencia y plantas de reciclaje, optimizando la cadena de gestión de residuos. En estudios recientes, se ha demostrado que los sistemas de SIG aplicados en rutas de

recolección permiten reducir hasta un 20% los costos operativos y las emisiones de carbono, mediante la planificación de rutas que evitan zonas de alta congestión y optimizan los tiempos de recolección en función de los patrones de generación de residuos (Alvarez et al., 2008). Esta tecnología también permite ajustar las rutas en tiempo real ante cambios en la demanda o en las condiciones del tráfico, aumentando la adaptabilidad y eficiencia del sistema de gestión de residuos urbanos.

3.2. SIG en movilidad y transporte sostenible

Las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la planificación de la movilidad y el transporte sostenible ofrecen soluciones avanzadas para gestionar de manera efectiva el tráfico urbano, optimizar el transporte público y desarrollar infraestructuras inclusivas y sostenibles para peatones y ciclistas. En el contexto de las ciudades modernas, donde la congestión vehicular, la contaminación y el crecimiento poblacional son desafíos constantes, el uso de SIG permite a los planificadores urbanos tomar decisiones informadas, mejorar la eficiencia del transporte y promover alternativas de movilidad que reducen el impacto ambiental.

3.2.1. Análisis de tráfico para reducir la congestión

La congestión de tráfico es uno de los problemas más críticos en las áreas urbanas. A través de los SIG, los planificadores pueden analizar patrones de tráfico en tiempo real e identificar los puntos de congestión más severos en la red vial. Estos sistemas integran datos espaciales y temporales que incluyen densidad vehicular, tiempos de viaje y condiciones de infraestructura, permitiendo a las autoridades anticiparse a problemas de congestión y planificar intervenciones específicas. Por ejemplo, el uso de SIG permite simular escenarios para la implementación de carriles exclusivos para autobuses, la sincronización de semáforos y la redistribución de flujo vehicular en áreas de alta demanda, mitigando así el tráfico y mejorando el acceso y la eficiencia del sistema de transporte (McNally et al., 2023).

Además, los SIG han demostrado ser efectivos en la implementación de políticas de reducción de tráfico mediante el diseño de zonas de acceso restringido o cobro de tarifas de congestión en áreas centrales. En Londres, por ejemplo, la integración de SIG en la administración del "London Congestion Charge" ha sido esencial para monitorizar y gestionar el tráfico en el centro de la ciudad, resultando en una disminución significativa de vehículos y una mejora en la calidad del aire. Estas herramientas permiten no solo la gestión del tráfico actual, sino también la planificación a largo plazo para prever el impacto de nuevos desarrollos y la expansión de la infraestructura (Rethinking The Future, 2023).

3.2.2. Planificación de rutas de transporte público

La optimización de las rutas de transporte público es fundamental para crear sistemas eficientes y accesibles que reduzcan la dependencia del automóvil. Mediante SIG, los planificadores pueden analizar datos geoespaciales combinados con información demográfica, patrones de desplazamiento y ubicaciones de infraestructuras clave (como hospitales y centros educativos). Esto permite identificar las rutas más demandadas, reducir tiempos de espera y mejorar la cobertura del sistema, haciendo que el transporte

público sea una alternativa viable para más personas. La planificación de rutas mediante SIG ha sido clave en ciudades como Curitiba, donde el diseño de rutas rápidas y eficientes para autobuses ha reducido la congestión y ha hecho del transporte público una opción preferente para miles de ciudadanos (Cervero, 2013).

Los SIG también permiten el desarrollo de redes de transporte multimodal, en las que se integran varios modos de transporte como autobuses, trenes, bicicletas y servicios de transporte compartido en un sistema cohesivo. Esto facilita la creación de puntos de transferencia donde los usuarios pueden cambiar de modo de transporte de manera eficiente, mejorando la conectividad y accesibilidad de las ciudades. Por ejemplo, en Singapur, el uso de SIG para planificar y gestionar redes de transporte multimodal ha mejorado significativamente la experiencia del usuario, disminuyendo tiempos de espera y reduciendo las distancias caminadas entre diferentes sistemas de transporte (Pucher & Buehler, 2008).

3.2.3. Creación de ciclovías y zonas peatonales

La planificación y diseño de ciclovías y zonas peatonales son elementos fundamentales para fomentar modos de transporte sostenibles y activos, como el ciclismo y el desplazamiento a pie. Los SIG permiten evaluar y priorizar las áreas donde la construcción de infraestructura para ciclistas y peatones será más efectiva, considerando factores como la topografía, el nivel de estrés del tráfico y la densidad poblacional. Al analizar estos datos, los SIG ayudan a los planificadores a diseñar redes de ciclovías y zonas peatonales que conecten barrios residenciales con áreas comerciales y educativas, garantizando la seguridad y comodidad de los usuarios.

En ciudades como Copenhague, donde el 50 % de los habitantes utiliza la bicicleta como medio de transporte, los SIG han sido esenciales en la planificación de una extensa red de ciclovías conectadas y seguras, separadas del tráfico vehicular. Este enfoque no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también mejora la calidad de vida y el bienestar de los residentes al promover la actividad física y reducir la contaminación (Banister, 2011). Además, el uso de SIG permite evaluar la accesibilidad de la infraestructura para distintos perfiles de ciclistas, adaptando las rutas para diferentes niveles de habilidad y comodidad, lo que incrementa el uso de las bicicletas como medio de transporte regular (McNally et al., 2023).

Las zonas peatonales son igualmente importantes, y su planificación a través de SIG ayuda a identificar áreas de alta circulación y a mejorar la infraestructura de aceras, pasos de peatones y señalización. Este tipo de planificación es crucial para aumentar la seguridad y comodidad de los peatones, especialmente en zonas comerciales y de gran afluencia de público. Al integrar datos sobre flujo de peatones, accidentes y características del entorno urbano, los SIG permiten optimizar la disposición de infraestructura peatonal y crear entornos más seguros y accesibles. En ciudades como Barcelona, el uso de SIG en la planificación de "superilles" (supermanzanas) ha resultado en espacios urbanos amigables para los peatones, con reducción del tráfico vehicular y aumento de áreas verdes, mejorando así la calidad de vida urbana y el bienestar de la comunidad (Rethinking The Future, 2023).

3.3. Evaluación ambiental y conservación

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección son herramientas críticas en la gestión ambiental, proporcionando información precisa y actualizada sobre la calidad del aire y el agua, la conservación de áreas verdes y la biodiversidad, así como la detección de cambios en el uso del suelo. Estas tecnologías facilitan la toma de decisiones informadas, ayudando a abordar desafíos ambientales en contextos de rápida urbanización y cambio climático.

3.3.1. Monitoreo de calidad del aire y agua

El monitoreo de la calidad del aire mediante SIG permite crear mapas de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃), y las partículas finas PM2.5 y PM10, que afectan gravemente la salud humana y la biodiversidad. Estos mapas integran datos de estaciones de monitoreo, sensores y satélites para evaluar la calidad del aire en tiempo real, identificando “puntos calientes” de contaminación y áreas vulnerables en entornos urbanos y rurales. Mane (2024) destaca que el uso de SIG ha revolucionado la capacidad de los gobiernos para gestionar la contaminación al permitir análisis espaciales que relacionan la calidad del aire con factores geográficos y demográficos, apoyando la implementación de políticas de reducción de emisiones.

En cuanto al monitoreo de la calidad del agua, los SIG combinados con técnicas de teledetección permiten analizar parámetros clave como turbidez, concentración de nutrientes y contaminantes químicos en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. En particular, Mudereri, Ayisi y Ramudzuli (2023) señalan que la teledetección facilita la identificación de fuentes de contaminación en cuencas hidrográficas, lo cual es crucial para desarrollar estrategias de conservación de agua en áreas que enfrentan estrés hídrico. La integración de datos de calidad del agua en SIG permite a los planificadores ambientales identificar zonas de intervención prioritaria y adaptar políticas de gestión para asegurar el suministro sostenible de agua limpia.

3.3.2. Protección de áreas verdes y biodiversidad

La conservación de áreas verdes y la protección de la biodiversidad son esenciales para mantener la salud ambiental y mejorar la resiliencia de los ecosistemas urbanos y rurales. Los SIG permiten mapear áreas verdes y zonas de biodiversidad, evaluando su conectividad ecológica y cuantificando los beneficios ambientales que proporcionan, como la captura de carbono, la regulación del clima y el hábitat de especies. Según Sun et al. (2022), el uso de SIG en combinación con datos de teledetección ha facilitado la identificación de corredores ecológicos en áreas urbanas, permitiendo la planificación de redes de conectividad que ayudan a la preservación de la biodiversidad y a mitigar los efectos del cambio climático en la flora y fauna local.

Esta tecnología también es fundamental en la restauración ecológica, ya que permite identificar áreas de pérdida de cobertura vegetal y cuantificar el impacto de la fragmentación de hábitats en la biodiversidad. En este sentido, Liu et al. (2024) resaltan que los SIG ayudan en la planificación de proyectos de reforestación y en la creación de zonas de amortiguamiento alrededor de áreas sensibles, lo cual no solo protege la biodiversidad, sino que también mejora la calidad del aire y aumenta la capacidad de absorción de CO₂ en zonas urbanizadas. Estos análisis permiten a las autoridades

priorizar y gestionar las áreas verdes de manera más efectiva, favoreciendo la sostenibilidad y la calidad de vida de las comunidades locales.

3.3.3. Detección de cambios en el uso del suelo

La detección de cambios en el uso del suelo mediante SIG y teledetección es esencial para analizar los impactos de la urbanización y de la expansión agrícola en el medio ambiente. Estas tecnologías utilizan imágenes satelitales y modelos predictivos para monitorear transformaciones en la cobertura del suelo, como la deforestación y la expansión de áreas urbanas, generando información crítica para el desarrollo de políticas de gestión territorial. Según Gaber et al. (2018), la aplicación de modelos basados en SIG ha permitido a los investigadores evaluar y proyectar cambios en el uso del suelo en regiones de alto crecimiento, lo cual es vital para mitigar la pérdida de áreas naturales y la disminución de servicios ecosistémicos.

El análisis de cambios de uso del suelo también es útil para anticipar y gestionar los impactos del cambio climático. Por ejemplo, al comparar imágenes satelitales de diferentes periodos, los SIG pueden predecir tendencias de expansión urbana y su efecto en la pérdida de biodiversidad y en la alteración del ciclo hídrico. En China, estudios de Jiangle y otras áreas montañosas han demostrado cómo los SIG pueden apoyar la planificación de la expansión urbana de manera que minimice el impacto en los ecosistemas, utilizando modelos de cambio de uso del suelo que identifican zonas ecológicamente vulnerables y priorizan su conservación (Srivastava et al., 2012).

3.4. Desafíos en la implementación de SIG

La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) enfrenta una serie de desafíos estructurales y operativos que limitan su adopción y efectividad, especialmente en contextos donde se requiere un análisis espacial preciso para la toma de decisiones estratégicas. Estos obstáculos comprenden la falta de datos geospaciales actualizados, dificultades técnicas y presupuestarias, y una escasez de personal capacitado en el manejo de estas tecnologías avanzadas.

3.4.1. Falta de datos geospaciales actualizados

Uno de los mayores desafíos en la implementación de SIG es la disponibilidad limitada de datos geospaciales actuales y de alta calidad, lo cual es crucial para el éxito de los análisis espaciales en entornos urbanos y naturales en constante cambio. La frecuencia de actualización de los datos es un factor crítico, ya que datos obsoletos o inconsistentes pueden llevar a conclusiones erróneas y afectar negativamente la planificación. Esto es especialmente problemático en regiones que experimentan una rápida urbanización o en sectores que requieren monitoreo continuo, como el manejo de recursos naturales o la gestión de emergencias (Malaker & Meng, 2024).

Además, la calidad y resolución de los datos varía significativamente entre las fuentes disponibles, lo que dificulta la integración de diferentes capas de información geoespacial en un único sistema cohesivo. Esta falta de uniformidad en los datos geospaciales es evidente en estudios que requieren comparar datos históricos y actuales para identificar patrones de cambio, como en el uso del suelo y en la distribución de la vegetación. Saah et al. (2019) destacan que en muchas regiones en

desarrollo, los recursos necesarios para adquirir datos geoespaciales de alta resolución son insuficientes, limitando la capacidad de monitoreo y planificación ambiental. La ausencia de datos de alta calidad también impacta en la capacidad para realizar modelados predictivos, los cuales son esenciales para anticiparse a problemas de desarrollo urbano y cambio climático.

3.4.2. Dificultades técnicas y presupuestarias

La implementación de SIG exige una inversión considerable en infraestructura de hardware y software, así como en licencias de datos. Estos costos pueden ser prohibitivos para muchas organizaciones, especialmente en el sector público y en pequeñas y medianas empresas que buscan integrar SIG en sus operaciones. Según Gaber et al. (2018), los costos de adquisición de tecnología y de datos de alta resolución suponen un obstáculo importante para las organizaciones con presupuestos limitados, lo cual limita el acceso a las capacidades avanzadas de SIG que requieren muchos sectores, como la gestión de recursos hídricos y la planificación territorial.

Además de los costos de adquisición, los sistemas SIG requieren mantenimiento técnico y actualizaciones constantes. La integración de SIG con otros sistemas corporativos, como bases de datos de planificación de recursos empresariales (ERP) o sistemas de información gerencial, añade una capa adicional de complejidad. Esta integración requiere personal especializado en tecnología y, con frecuencia, el desarrollo de soluciones personalizadas para asegurar que los sistemas sean interoperables y puedan manejar grandes volúmenes de datos sin comprometer la precisión o el rendimiento. La falta de estandarización en los formatos de datos y en las metodologías de análisis también es un problema recurrente en la implementación de SIG, como señalan Jha y Chowdary (2007), quienes destacan que la interoperabilidad limitada reduce la efectividad de los SIG y dificulta la integración de datos provenientes de múltiples fuentes.

Para abordar estos problemas financieros y técnicos, algunas organizaciones están recurriendo a soluciones en la nube que permiten reducir la inversión inicial en infraestructura y ofrecen opciones de pago escalables. Las plataformas SIG basadas en la nube no solo disminuyen los costos de hardware, sino que también permiten el acceso remoto a datos y aplicaciones, lo que facilita la colaboración entre distintas entidades y la integración de datos en tiempo real (Marciniak, 2023).

3.4.3. Necesidad de personal capacitado

La escasez de profesionales capacitados en el manejo de SIG es otro desafío significativo, especialmente en regiones en desarrollo donde los programas de formación en tecnología geoespacial son limitados. Los sistemas SIG requieren habilidades técnicas avanzadas que incluyen el manejo de datos geoespaciales, teledetección y análisis de datos complejos. La falta de personal capacitado no solo limita la capacidad de las organizaciones para aprovechar plenamente las herramientas de SIG, sino que también puede conducir a una dependencia excesiva de consultores externos, lo cual incrementa los costos y reduce la sostenibilidad de los proyectos a largo plazo (Saah et al., 2019).

Pandey et al. (2007) destacan que la formación de personal en SIG y el desarrollo de competencias en el uso de estas tecnologías son esenciales para asegurar su adopción

efectiva en las organizaciones. Sin embargo, el costo de los programas de formación y la falta de acceso a estos recursos representan barreras importantes. En respuesta a esta problemática, algunas instituciones han comenzado a implementar programas de capacitación y certificación en SIG, y algunos proveedores de software han desarrollado interfaces más accesibles para usuarios no técnicos. Estas iniciativas buscan hacer que las herramientas de SIG sean más comprensibles y manejables para una audiencia más amplia, lo cual es clave para fomentar la adopción de estas tecnologías en sectores que tradicionalmente han tenido un acceso limitado a recursos tecnológicos avanzados.

4. Discusión

La implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representa una oportunidad invaluable para mejorar la gestión territorial y ambiental en las ciudades modernas, particularmente en el contexto de un desarrollo urbano que plantea retos en sostenibilidad y eficiencia de recursos. No obstante, los desafíos en su adopción revelan una serie de limitaciones estructurales, financieras y operativas que deben abordarse de manera integral para maximizar el potencial de estas tecnologías en la planificación urbana y en la toma de decisiones estratégicas.

Uno de los principales obstáculos es la falta de datos geoespaciales actualizados y consistentes, lo cual afecta directamente la precisión de los modelos de SIG y la capacidad de los planificadores para responder a cambios en tiempo real. En contextos dinámicos, como la planificación urbana y la gestión de emergencias, esta carencia de datos limita la efectividad de los SIG al dificultar el análisis de patrones espaciales y la predicción de escenarios futuros. Malaker y Meng (2024) argumentan que esta limitación se ve exacerbada en áreas en desarrollo, donde los recursos para la adquisición de datos de alta calidad son limitados, lo que obstaculiza la integración de información espacial precisa y afecta las políticas de desarrollo sostenible (Malaker & Meng, 2024). La variabilidad en la resolución y temporalidad de los datos geoespaciales no solo genera inconsistencias, sino que también imposibilita la integración de diversas fuentes de datos en un sistema unificado, esencial para evaluar cambios en el uso del suelo y la distribución de recursos naturales (Saah et al., 2019). Esta problemática sugiere la necesidad de desarrollar infraestructuras de datos geoespaciales más accesibles y actualizables, lo cual podría lograrse mediante la adopción de tecnologías en la nube que permitan la actualización y distribución de datos en tiempo real a costos reducidos.

Además de la falta de datos actualizados, los costos de implementación y mantenimiento de los sistemas SIG representan una barrera considerable. La infraestructura de hardware, el software especializado y las licencias para acceder a datos de alta resolución son costosos, lo cual limita la adopción de SIG a entidades con presupuestos significativos, como grandes corporaciones y agencias gubernamentales (Gaber et al., 2018). Incluso en organizaciones con recursos financieros, la integración de SIG con otros sistemas organizacionales añade una capa de complejidad que requiere de soporte técnico y soluciones personalizadas. Jha y Chowdary (2007) destacan que la falta de estandarización en los formatos de datos y las metodologías de análisis dificultan la interoperabilidad de los SIG, lo que limita su integración con otras plataformas críticas, como sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) y bases de datos corporativas. Ante estos desafíos, es evidente que la implementación

de SIG se beneficiaría de un enfoque de precios escalonados y soluciones basadas en la nube que reduzcan los costos de infraestructura y permitan a las pequeñas y medianas empresas acceder a estas herramientas sin enfrentar barreras financieras prohibitivas.

Un tercer desafío significativo es la escasez de personal capacitado, que limita la capacidad de las organizaciones para utilizar SIG de manera efectiva y sostenible. Los análisis y modelados geoespaciales requieren habilidades avanzadas en cartografía, teledetección y programación, competencias que no son comunes en muchos mercados laborales. La falta de especialistas en SIG puede llevar a una dependencia excesiva de consultores externos, incrementando los costos y limitando la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos. Según Pandey et al. (2007), esta carencia de expertos no solo impide que las organizaciones aprovechen plenamente el potencial de los SIG, sino que también restringe su capacidad para adaptar estas tecnologías a sus necesidades específicas y a los cambios en el entorno (Pandey et al., 2007). A pesar de estos desafíos, algunas instituciones y proveedores de SIG han comenzado a implementar programas de capacitación y certificación, y han desarrollado interfaces de usuario más accesibles, buscando facilitar el uso de estas tecnologías a personas sin formación técnica avanzada (Marciniak, 2023). Estas iniciativas de capacitación son esenciales para construir una fuerza laboral competente y asegurar que los SIG puedan ser aprovechados en sectores donde tradicionalmente se ha tenido poco acceso a herramientas geoespaciales.

En síntesis, aunque los Sistemas de Información Geográfica presentan un potencial transformador para la planificación y gestión urbana, su implementación está condicionada por la superación de barreras significativas relacionadas con la disponibilidad de datos, los costos operativos y la falta de personal capacitado. La adopción de soluciones en la nube, el desarrollo de infraestructuras de datos accesibles y la inversión en programas de formación y capacitación pueden ayudar a mitigar estos desafíos. Solo a través de un enfoque integral que aborde estas limitaciones se podrá maximizar el impacto positivo de los SIG en el desarrollo sostenible, optimizando la toma de decisiones y mejorando la resiliencia de las comunidades ante los desafíos urbanos y ambientales.

5. Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales para la gestión y planificación sostenible en entornos urbanos y naturales. Sin embargo, su implementación enfrenta barreras críticas que deben ser abordadas para que su potencial pueda aprovecharse plenamente en la toma de decisiones estratégicas. Entre los principales desafíos se destacan la falta de datos geoespaciales actualizados, las dificultades técnicas y financieras, y la escasez de personal capacitado en el manejo de estas tecnologías.

La carencia de datos geoespaciales de alta calidad y actualizados limita la precisión de los análisis espaciales y la capacidad de respuesta ante cambios rápidos en el entorno. Sin información confiable y continua, los modelos generados por los SIG pueden presentar sesgos o errores significativos que afectan la eficacia de las decisiones

derivadas de ellos. Este problema es especialmente evidente en sectores que requieren monitoreo constante, como la planificación urbana y la gestión ambiental. Por tanto, se hace necesario un compromiso en la creación de infraestructuras de datos que permitan la actualización y el acceso oportuno a información geoespacial precisa.

Las dificultades técnicas y los altos costos de implementación son barreras que limitan la adopción de SIG, especialmente para pequeñas y medianas organizaciones con presupuestos restringidos. La inversión en software, hardware y en la integración con otros sistemas representa un desafío significativo. Sin embargo, el desarrollo de soluciones en la nube y de modelos de precios flexibles podría facilitar el acceso a estas herramientas, permitiendo a más organizaciones beneficiarse de las capacidades analíticas de los SIG.

Finalmente, la falta de personal capacitado en tecnologías geoespaciales reduce la capacidad de las organizaciones para aprovechar los SIG de manera eficiente y sostenible. La formación en SIG requiere conocimientos avanzados que incluyen cartografía, teledetección y programación, competencias que no están ampliamente disponibles en muchos mercados laborales. Por ello, es esencial promover programas de capacitación y certificación que aumenten la disponibilidad de profesionales competentes en esta área.

Para finalizar, la implementación efectiva de los SIG demanda un enfoque integral que aborde la actualización de datos, la accesibilidad económica y la formación de especialistas. Superar estos desafíos no solo permitirá optimizar la gestión y planificación territorial, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible y a la resiliencia de las comunidades. Los SIG tienen el potencial de transformar la manera en que se gestionan los recursos y se enfrentan los desafíos urbanos y ambientales, siempre que se garantice su accesibilidad y aplicabilidad en una amplia variedad de contextos.

Referencias Bibliográficas

- Abdel Hamid, M. A. A. (2019). Geographic Information Systems (GIS) for the urban sustainable development decisions. Conference On Technology & Sustainability in the Built Environment, King Saud University - College of Architecture and Planning.
- Alcocer-Quinteros, R. P., Knudsen-González, J. A., & Marrero-Delgado, F. (2024). *Contribución a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en cantones del Ecuador*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.80>
- Alvarez, R., López, J., & Leganés, M. (2008). Design of waste collection routes for urban recycling: A GIS approach. *Journal of Urban Planning and Development*, 134(4), 215-223.
- Avellaneda Vázquez, J. P., & Herrera-Eguez, F. E. (2024). *Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (Bipolaris oryzae) en arroz (Oryza sativa L.)*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.81>

- Banister, D. (2011). *Cities, Mobility, and Climate Change*. London: Routledge. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Cargua-Chávez, J. E., Carrillo-Cruz, A. I., Cedeño-García, G. A., Jácome-Gómez, L. R., Valencia-Enríquez, X. P., Martínez-Sotelo, M. C., Mendoza-Vélez, C. F., Ronquillo-Narváez, E. X., Jumbo-Romero, P. A., Montero de la Cueva, J. V., Chica-Solórzano, H. F., Cárdenas-Carrión, J. A., González-Buitrón, K. T., González-Sanango, H., & Coello-Merchán, B. M. (2024). *Alternativas de alimentación para rumiantes*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.72>
- Cervero, R. (2013). Copenhagen's Bicycle Highways: Design Lessons for City Builders. *Urban Planning Journal*, 22(2), 123-135.
- Chen, J., & Liu, G. (2019). Applications of Geographic Information Systems in water risk management. *Journal of Environmental Management*, 234, 53-60.
- Gaber, A., Abdelkareem, M., Sayed, I., & Koch, M. (2018). Using InSAR coherence for investigating the interplay of fluvial and aeolian features in arid lands: implications for groundwater potentials in Egypt. *Remote Sensing*, 10(6), 832. <https://doi.org/10.3390/rs10060832>
- Hasanlou, M., Seydi, S. T., & Shah-Hosseini, R. (2018). A sub-pixel multiple change detection approach for hyperspectral imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44(6), 601–615. <https://doi.org/10.1080/07038992.2019.1573137>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v4/n1/85>
- Jha, C. S., & Chowdary, V. M. (2007). Challenges in land cover mapping for natural resource management in data-scarce environments. *Remote Sensing and GIS for Environmental Monitoring*, 9(2), 129–135.
- Liu, G., & Gao, L. (2019). GIS in water resource management: allocation, contamination, and ecosystem. *Water*, 11(5), 1056-1065. <https://doi.org/10.3390/w11051056>
- Malaker, T., & Meng, Q. (2024). Urban disparity analytics using GIS: A systematic review. *Sustainability*, 16(14), 5956. <https://doi.org/10.3390/su16145956>
- Marciniak, J. (2023). Challenges faced by GIS solution providers: Navigating the complexities of geospatial technology. *CIO Media*. <https://theciomedia.com>
- McNally, D., Tillinghast, R., & Iseki, H. (2023). Bicycle Accessibility GIS Analysis for Bike Master Planning with a Consideration of Level of Traffic Stress (LTS) and Energy Consumption. *Sustainability*, 15(1), 42. <https://doi.org/10.3390/su15010042>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats

Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88.
<https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>

Mudereri, B. T., Ayisi, K. K., & Ramudzuli, M. R. (2023). A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes impacts on surface water resources. *Remote Sensing*, 15(16), 3926. <https://doi.org/10.3390/rs15163926>

Oliveira, F., Just Peixoto, J. P., & Jesus, T. C. (2024). Achieving Sustainable Smart Cities through Geospatial Data-Driven Approaches. *Sustainability*, 16(2), 640. <https://doi.org/10.3390/su16020640>

Oliveira, F., Just Peixoto, J. P., & Jesus, T. C. (2024). Achieving Sustainable Smart Cities through Geospatial Data-Driven Approaches. *Sustainability*, 16(2), 640. <https://doi.org/10.3390/su16020640>

Pandey, R., et al. (2007). Challenges and prospects of implementing GIS in planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1), 203-215

Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, 28(4), 495-528. <https://doi.org/10.1080/01441640701806612>

Rethinking The Future. (2023). The Role of Pedestrian and Bicycle Infrastructure in Cities. <https://www.re-thinkingthefuture.com/>

Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>

Saah, D., et al. (2019). Land cover mapping in data scarce environments: Challenges and opportunities. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 96. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00096>

Santos, L., Tavares, G., & Rodrigues, S. (2008). Optimization of urban solid waste collection using GIS. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(5), 42–49.

Srivastava, P. K., Han, D., Rico-Ramirez, M. A., & Islam, T. (2012). Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. *Advances in Space Research*, 50(9), 1250–1265. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.032>

Sun, T., Cheng, W., Abdelkareem, M., & Al-Arifi, N. (2022). Mapping prospective areas of water resources and monitoring land use/land cover changes in an arid region using remote sensing and GIS techniques. *Water*, 14(20), 3072. <https://doi.org/10.3390/w14152435>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.