

Parques urbanos resilientes: análisis bibliográfico de las herramientas y metodologías implementadas para evaluar el grado de resiliencia que aportan los parques urbanos a las ciudades

Amy Stephanie Taylor Orozco y Gerson Samir Conde Solano

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Civiles

Director

Yerly Fabián Martínez Estupiñán

PhD. en Ingeniería de Transporte y Logística

Codirector

José Miguel Benjumea Royero

PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental

Tatiana Constanza Guarín Corredor

PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Este logro está dedicado a mi familia, en especial a mis padres, en agradecimiento por su apoyo incondicional.

A mi mamá, una mujer ejemplar y objeto de mi admiración, quien siempre me impulsó a luchar por mis sueños y a ser mejor cada día.

A mi papá, ejemplo de perseverancia y dedicación, de quien adquirí el gusto por la ingeniería y a quien admiro profundamente.

A mi hermana, quien me brindó compañía y apoyo en todos mis procesos tanto académicos como personales.

A mi abuela Diana, mi segunda madre, quien siempre ha creído en mí y en mis capacidades.

Y finalmente, a la persona a quien más he admirado en la vida, a mi abuelo Eduardo (Q.E.P.D.), una persona profundamente sabia que fomentó en mí el deseo de aprender cada día más.

Amy Stephanie Taylor Orozco.

*Este logro está dedicado a **mis padres**, quienes, con su apoyo incondicional, su esfuerzo y su confianza, me acompañaron en cada etapa de este camino. Gracias a ellos, hoy puedo culminar esta meta que representa un sueño personal.*

Gerson Samir Conde Solano

Agradecimientos

La realización de este trabajo fue posible gracias al acompañamiento y compromiso institucional de la **Universidad Industrial de Santander**. Sus recursos académicos, su enfoque formativo y sus altos estándares de calidad contribuyeron significativamente a nuestro proceso de formación.

A la **Escuela de Ingeniería Civil** expresamos nuestro agradecimiento por haber sido el espacio académico donde fortalecimos nuestras competencias técnicas y desarrollamos el pensamiento crítico, junto con el compromiso y la responsabilidad propios del ejercicio profesional.

Agradecemos también al **Grupo de Investigación de Geomática** por poner a nuestra disposición las salas de reunión y herramientas necesarias para la elaboración de esta investigación.

Finalmente, de manera especial expresamos nuestro agradecimiento a los profesores **Yerly Martínez, José Benjumea y Tatiana Guarín**, quienes, con su constante acompañamiento, disposición y dedicación, estuvieron presentes en cada fase de este proceso. Apreciamos sinceramente la generosidad con la que transmitieron sus conocimientos, así como su permanente seguimiento durante este proceso.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Metodología	15
3.1 Etapa 1: Búsqueda, filtrado y selección de la literatura científica	15
3.2 Etapa 2: Análisis bibliométrico	18
3.3 Etapa 3: Categorización de metodologías de análisis espacial	19
3.4 Etapa 4: Clasificación de herramientas de análisis espacial	20
4. Resultados	21
4.1 Patrones bibliográficos a partir del análisis bibliométrico.	21
4.2. Categorización de metodologías.	25
4.2.1. Categoría K: Análisis espacial y superposición geográfica	27
4.2.2 Categoría F: Evaluación ambiental y servicios ecosistémicos	29
4.2.3. Categoría I: Clasificación e inferencia automatizadas.	31
4.3. Clasificación de herramientas	33
5. Conclusiones	40
Referencias bibliográficas	42
Apéndices.....

...

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Categorías metodológicas para el análisis espacial	26
Tabla 2. Clasificación general de herramientas.....	34

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema metodológico de la investigación	15
Figura 2. Crecimiento anual de documentos por años.....	22
Figura 3. Frecuencia de publicación por categoría de revistas	22
Figura 4. Mapa de coocurrencias de palabras clave	23
Figura 5. Mapa de coautoría de autores.	24
Figura 6. Mapa de coautoría por organizaciones.....	25
Figura 7. Mapa de coautoría por países	25
Figura 8. Resultados de la clasificación específica de metodologías.	27
Figura 9. Porcentaje de utilización de las herramientas de la clasificación general.....	35
Figura 10. Porcentaje de utilización de las herramientas de la clasificación general.....	35

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndices A. Cadena de búsqueda.

Apéndices B. Filtrado por título y abstract mediante la implementación de la herramienta deepseek.

Apéndices C. Nueva categorización de las metodologías.

Apéndices D. Clasificación de metodologías (Excel).

Apéndices E. Ventajas y desventajas de las metodologías clasificadas.

Apéndices F. Clasificación de herramientas (Excel).

Apéndices G. Ventajas y desventajas de las herramientas clasificadas.

Apéndices H. Clasificación de software y hardware.

Apéndices I. Gráficas de resultados de clasificación de herramientas.

Resumen

Título: Parques urbanos resilientes: análisis bibliográfico de las herramientas y metodologías implementadas para evaluar el grado de resiliencia que aportan los parques urbanos a las ciudades*

Autor: Amy Stephanie Taylor Orozco, Gerson Samir Conde Solano**

Palabras Clave: Espacios verdes, planificación, resiliencia urbana, herramientas, isla de calor, cambio climático, teledetección.

Descripción:

En los últimos años, las ciudades han experimentado un proceso de urbanización acelerada, acompañado de afectaciones negativas derivadas del cambio climático, lo que ha provocado un aumento del interés en los parques urbanos como elementos clave capaces de aportar a la resiliencia urbana mediante servicios ecosistémicos como la regulación térmica, la gestión hídrica y la mejora de la calidad ambiental. En este contexto, este trabajo de investigación se centró en la clasificación de herramientas y metodologías utilizadas para la medición del aporte de resiliencia de los parques urbanos a las ciudades, para lo cual se realizó un análisis de 64 artículos científicos de Scopus, seleccionados a partir de una semilla inicial de 205, mediante una metodología estructurada en cuatro etapas: búsqueda, filtrado y selección de literatura, análisis bibliométrico incorporando el software VOSviewer para identificar tendencias y patrones, la categorización metodológica permitió identificar ocho categorías generales de análisis espacial, destacándose principalmente las relacionadas con análisis espacial y superposición geográfica, evaluación ambiental y servicios ecosistémicos, y clasificación e inferencia automatizada. Asimismo, se identificó un predominio de herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica, como QGIS, junto con el uso de sensores satelitales como Landsat 8–9 y Sentinel-2 como principales fuentes de datos. Las herramientas se clasificaron según su tipo de licencia, evidenciando mayor uso de software comercial; según la plataforma de adquisición, con predominio de sistemas no tripulados; y según la escala de aplicación, destacándose enfoques a macroescala. En conjunto, estos hallazgos permiten identificar patrones metodológicos claros y proporcionan una base estructurada para futuras investigaciones sobre resiliencia urbana.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabián Martínez Estupiñana. PhD. en Ingeniería de Transporte y Logística. Codirector: José Miguel Benjumea Royero. PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental. Codirector: Tatiana Constanza Guarín Corredor. PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental.

Abstract

Title: Resilient urban parks: bibliographic analysis of the tools and methodologies implemented to assess the degree of resilience that urban parks contribute to cities*

Author: Amy Stephanie Taylor Orozco, Gerson Samir Conde Solano**

Key Words: Green spaces, planning, urban resilience, tools, heat island, climate change, remote sensing.

Description:

In recent years, cities have experienced accelerated urbanization processes, accompanied by negative impacts derived from climate change, which has increased interest in urban parks as key elements capable of contributing to urban resilience through ecosystem services such as thermal regulation, water management, and environmental quality improvement. In this context, this research study focused on classifying the tools and methodologies used to measure the contribution of urban parks to urban resilience by analyzing 64 scientific articles from Scopus, selected from an initial total of 205 through a methodology structured in four stages: search, filtering and selection of literature, bibliometric analysis incorporating VOSviewer to identify trends and patterns, The methodological categorization allowed the identification of eight general categories of spatial analysis, with the most prominent being those related to spatial analysis and geographic overlay, environmental assessment and ecosystem services, and automated classification and inference. Likewise, a predominance of tools based on Geographic Information Systems, such as QGIS, was identified, along with the use of satellite sensors like Landsat 8–9 and Sentinel-2 as the main data sources. The tools were classified according to their type of license, showing greater use of commercial software; according to the acquisition platform, with a predominance of unmanned systems; and according to the scale of application, highlighting macro- scale approaches. Overall, these findings identify clear methodological patterns and provide a structured foundation for future research on urban resilience.

* Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Yerly Fabián Martínez Estupiñana. PhD. en Ingeniería de Transporte y Logística. Codirector: José Miguel Benjumea Royero. PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental. Codirector: Tatiana Constanza Guarín Corredor. PhD. en Ingeniería Civil y Ambiental.

Reconocimiento de uso de inteligencia artificial

En el desarrollo de este trabajo de investigación se recurrió a herramientas de inteligencia artificial como apoyo tanto metodológico como en la redacción. Específicamente, se utilizaron las plataformas DeepSeek (www.deepseek.com) y Grammarly (www.grammarly.com), cada una orientada a desempeñar funciones específicas.

La herramienta DeepSeek se empleó durante la fase de revisión bibliográfica, en particular para apoyar el proceso de filtrado y selección de documentos relevantes para la investigación, facilitando la identificación de fuentes pertinentes y acordes con los objetivos del estudio. Por otro lado, Grammarly se utilizó como apoyo en la mejora de la redacción, aportando a la claridad, coherencia y corrección gramatical del texto, sin modificar el contenido técnico ni la contribución intelectual propia de los autores.

El uso de estas herramientas se realizó de manera responsable y ética, manteniendo en todo momento la autoría, el análisis crítico y la toma de decisiones académicas a cargo de los investigadores.

Introducción

El crecimiento urbano acelerado registrado en las últimas décadas ha generado importantes desafíos ambientales y sociales para las ciudades (Seto et al., 2014; Naciones Unidas, 2018). Cerca del 68 % de la población mundial reside en ciudades y se estima que esta proporción continuará aumentando, alcanzando aproximadamente el 70 % para el año 2050 (UN- Hábitat, 2022). Este proceso de urbanización acelerada ha intensificado diversos problemas ambientales, entre los que se destacan el aumento de las temperaturas urbanas, la pérdida de biodiversidad, el deterioro de la calidad del aire y una mayor exposición a eventos climáticos extremos (Oke et al., 2017).

En los últimos años, los problemas ambientales han recibido atención generalizada y la protección ecológica se ha convertido en una tarea clave (Han et al., 2022). En este contexto, los espacios verdes urbanos han sido reconocidos como elementos clave para fortalecer la resiliencia de las ciudades debido a los múltiples servicios ecosistémicos que proporcionan. Entre estos servicios se destacan la regulación microclimática, la gestión de aguas pluviales, la mejora de la calidad del aire y el soporte a la biodiversidad (Dong, Tadi y Tesfaye, 2025). Asimismo, la vegetación urbana puede contribuir significativamente a la mitigación del efecto de isla de calor mediante procesos como la evapotranspiración y la sombra, reduciendo la temperatura del aire y mejorando el confort térmico en los entornos urbanos (Salgado et al., 2025; Prasad y Satyanarayana, 2023).

El crecimiento urbano acelerado ha generado problemáticas como la fragmentación de las áreas verdes, intensificada por la presión sobre el uso del suelo, lo que reduce y aísla las superficies de vegetación, afectando la conectividad ecológica y el funcionamiento de los ecosistemas urbanos (Haddad et al., 2015; Nor et al., 2017). En este contexto, los parques urbanos y espacios verdes adquieren un papel estratégico, ya que, al estar conectados mediante corredores ecológicos, pueden mejorar la funcionalidad del paisaje urbano y fortalecer la resiliencia de las ciudades frente a

presiones ambientales y climáticas (Kong et al., 2010; Zhang et al., 2019). El creciente interés académico por el papel de los parques urbanos en la resiliencia de las ciudades ha impulsado el desarrollo de diversas metodologías y herramientas tecnológicas para evaluar su aporte ambiental (Prasad y Satyanarayana, 2025; Parisi y Bratsas, 2025; Park, 2025).

El presente trabajo propone un marco de referencia sobre las metodologías y herramientas de análisis espacial empleadas en el estudio de la resiliencia urbana. En este contexto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las metodologías y herramientas de análisis espacial más empleadas para cuantificar la resiliencia urbana asociada a los parques urbanos? Para dar respuesta a este interrogante, la investigación se desarrolla mediante un proceso metodológico estructurado en cuatro: búsqueda, filtrado y selección de literatura, análisis bibliométrico, categorización de metodologías y clasificación de herramientas. Posteriormente, se analizan los resultados integrando los patrones bibliográficos identificados y la categorización metodológica.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Establecer, a partir de la revisión de la literatura, un marco de referencia sobre las metodologías y herramientas de análisis espacial implementadas en la evaluación del aporte de los parques urbanos a la resiliencia de las ciudades.

2.2 Objetivos Específicos

Analizar mediante indicadores bibliométricos las tendencias de investigación relacionadas con las herramientas y metodologías empleadas en la evaluación del Grado de resiliencia que aportan los parques urbanos a las ciudades.

Categorizar las metodologías de análisis espacial empleadas en la cuantificación del aporte de los parques urbanos a la resiliencia de las ciudades, considerando las ventajas, desventajas y niveles de aplicación en distintos contextos

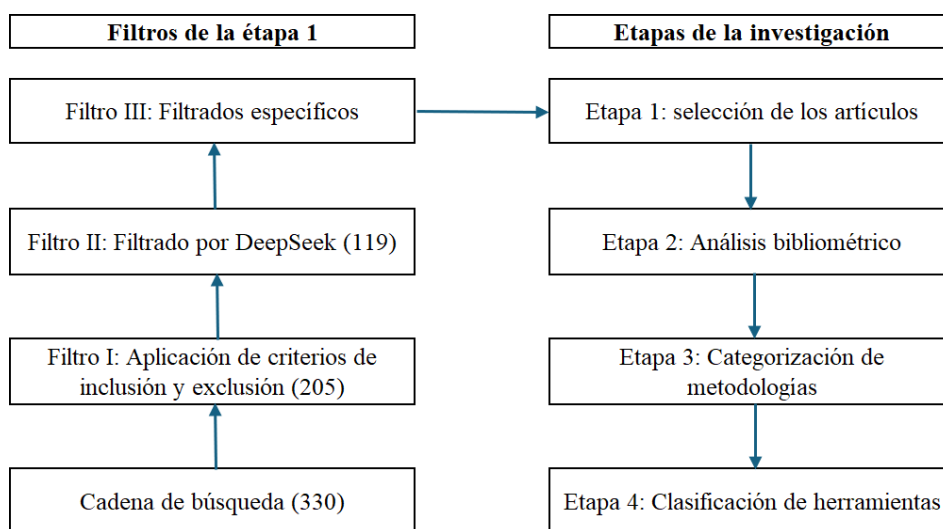
Clasificar las herramientas de análisis espacial usadas en la determinación del aporte de los parques urbanos a la resiliencia de las ciudades, considerando las ventajas, desventajas y niveles de aplicación en distintos contextos.

3. Metodología

La investigación se estructuró en cuatro etapas secuenciales (Figura 1), que permitieron abordar de forma sistemática la búsqueda, selección y análisis de literatura sobre herramientas y metodologías para evaluar el aporte de resiliencia de los parques urbanos. Este enfoque facilitó la consolidación de documentos pertinentes y el análisis de tendencias, así como la identificación de las herramientas y metodologías más utilizadas. A continuación, se describe cada etapa.

Figura 1.

Esquema metodológico de la investigación



Nota. Fuente propia.

3.1 Etapa 1: Búsqueda, filtrado y selección de la literatura científica

En esta etapa se diseñó y aplicó una estrategia de búsqueda sistemática en la base de datos Scopus. Para la construcción de la cadena de búsqueda se contó con el apoyo de la herramienta Scopus IA, la cual facilitó la identificación y combinación de términos clave y sinónimos asociados a los conceptos centrales de la investigación, tales como resiliencia urbana, parques urbanos,

ciudades, metodologías de evaluación y herramientas de análisis espacial, como se puede evidenciar en el Apéndice A. Después de varias iteraciones, se definió la siguiente cadena de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY (("city park" OR "metropolitan park" OR "municipal park" OR "public space*" OR "public open space*" OR "urban park*" OR "urban green space*" OR "urban forest*" OR "public park*" OR "disaster prevention park*" OR "landscape architecture") AND ("urban resilience" OR "resilient cit*" OR "climate resilience" OR "seismic resilience" OR "environmental resilience" OR "resilience of cit*" OR "sustainability" OR "urban sustainability" OR "adaptive capacity" OR "urban adapta*" OR "urban robustness") AND ("spatial analysis" OR "spatial modeling" OR "spatial planning" OR "geospatial analysis" OR "geographic information system" OR "GIS" OR "remote sensing" OR "LiDAR" OR "UAV" OR "drone*" OR "satellite imagery" OR "spatial data") AND ("assessment" OR "evaluation" OR "mapping" OR "quantification" OR "measurement" OR "indicator*" OR "criteria" OR "variable*" OR "parameter*" OR "framework" OR "decision analysis" OR "multicriteria") AND ("method*" OR "approach*" OR "tool*" OR "model*" OR "simulation" OR "AHP" OR "Fuzzy" OR "MCDA" OR "TOPSIS" OR "VIKOR" OR "ANP" OR "quantitative analysis" OR "software" OR "analytical tool" OR "ai"))

Posteriormente, se establecieron criterios de inclusión y exclusión con el fin de garantizar la relevancia y calidad de los estudios seleccionados. Se restringió el tipo de documento a artículos de revista para garantizar la validez científica y confiabilidad de la información, el periodo de publicación al intervalo comprendido entre 2015 y 2025 con el propósito de analizar información actualizada y pertinente, esta ventana temporal permite capturar el estado del arte más reciente sin perder estudios claves y relevantes que hayan marcado este tema en la última década, y el idioma de publicación a inglés y español. La aplicación de estos criterios permitió obtener un conjunto inicial de 205 documentos potencialmente pertinentes para la investigación.

Una vez obtenido este primer grupo de artículos (205), se realizó una revisión individual de cada título y resumen para evaluar su relevancia a la investigación, este proceso se optimizó con la ayuda de la herramienta DeepSeek (www.deepseek.com). Se generó un archivo en formato .csv con 60 artículos aleatorios de los 205 con su respectivo título y resumen previamente evaluados manualmente y se le solicitó a la herramienta IA que los clasificara según los siguientes criterios:

- Incluir: documentos altamente relacionados con los objetivos específicos 2 y 3, en particular aquellos que contienen metodologías y herramientas de análisis espacial para la evaluación del aporte de resiliencia de los parques urbanos a las ciudades.
- Descartar: documentos que no aborden el tema de resiliencia de parques urbanos o que lo aborden, pero sin la implementación de herramientas o metodologías para la evaluación de dicho tema.

Los resultados de la herramienta mostraron una alta concordancia con la revisión manual (80%), por lo que se decidió aplicarla al resto de los artículos, como se muestra en el Apéndice B. Para ello, los documentos se descargaron desde Scopus en formato Excel, incluyendo título, resumen y enlace, en bloques de 100 para evitar sobrecarga y garantizar un análisis individual. La herramienta de IA evaluó los artículos según los mismos criterios y presentó los resultados en un cuadro comparativo con título, resumen, clasificación (incluir/excluir) y justificación, facilitando la posterior revisión manual.

Posterior al resultado arrojado por la herramienta y a la evaluación manual que se le realizó, se obtuvo un total de 119 artículos incluidos y 86 descartados.

Con el objetivo de refinar aún más el conjunto de documentos y asegurar que estos contribuyeran de manera directa al cumplimiento de los objetivos de la investigación, se aplicaron

tres filtros adicionales.

En el primer filtro se excluyeron los artículos con enfoque predominantemente social o basados en evaluaciones subjetivas sin sustento técnico o participación de expertos, como encuestas, con el fin de centrar la investigación en enfoques técnicos que permitieran una evaluación objetiva.

El segundo filtro excluyó los artículos enfocados en la planificación o localización de nuevos parques urbanos, ya que la investigación se centra en evaluar el aporte de resiliencia de parques existentes y no en el diseño de nuevas infraestructuras verdes.

En el tercer filtro se verificó que las metodologías estuvieran orientadas explícitamente a evaluar el aporte de resiliencia de los parques urbanos, descartando estudios que, aunque utilizaban herramientas potencialmente útiles, no presentaban una metodología clara para dicha evaluación.

Tras la aplicación de estos tres filtros adicionales, se obtuvo un conjunto final de 64 artículos científicos, los cuales fueron considerados como el corpus de análisis para el desarrollo de las etapas posteriores de la investigación.

3.2 Etapa 2: Análisis bibliométrico

Una vez definido el conjunto definitivo de artículos, se realizó un análisis bibliométrico con el objetivo de identificar las principales tendencias de investigación relacionadas con las herramientas y metodologías empleadas en la evaluación del aporte de resiliencia de los parques urbanos a las ciudades por medio del software VOSviewer (Van Eck & Waltman, 2010).

El análisis permitió examinar indicadores bibliométricos como el número de publicaciones por año, la distribución geográfica y las palabras clave, lo que facilitó caracterizar la evolución del campo, el crecimiento del interés científico y las principales líneas de investigación relacionadas con el uso de herramientas y metodologías de análisis espacial en la resiliencia de parques urbanos.

3.3 Etapa 3: Categorización de metodologías de análisis espacial

En esta etapa se realizó un análisis completo del contenido de los artículos seleccionados con el objetivo de identificar y categorizar las metodologías de análisis espacial utilizadas.

Para cada uno de los documentos se revisaron las secciones metodológicas con el fin de identificar los enfoques analíticos empleados en la cuantificación del aporte de resiliencia. Posteriormente, en base a las metodologías identificadas y apoyándonos en la herramienta DeepSeek para la mejor organización y categorización de la *Tabla 1* de clasificación de metodologías presentada más adelante en los resultados, se procedió a hacer una clasificación comprendida por 8 categorías generales identificadas entre los artículos.

La estructura de clasificación se construyó a partir de un proceso de análisis de los 64 artículos científicos obtenidos en la etapa 1. Este proceso permitió identificar patrones recurrentes y agrupamientos naturales de métodos, que luego fueron organizados en categorías.

Las categorías se definieron según la función analítica predominante de cada metodología dentro de la evaluación de resiliencia urbana, organizándose de la letra D a la K y agrupando enfoques con objetivos similares: priorización espacial de intervenciones (D), análisis de accesibilidad y conectividad (E), evaluación ambiental y servicios ecosistémicos (F), modelado dinámico y simulación espacial (G), integración y análisis temporal de datos (H), clasificación e inferencia automatizada (I), tecnologías semánticas y modelado del conocimiento (J), y análisis espacial mediante operaciones SIG y superposición geográfica (K).

Además, se justificó el origen de cada una de las categorías de las metodologías que se pueden observar en el Apéndice C.

Este marco permite categorizar sistemáticamente los artículos, identificar tendencias metodológicas y establecer una base estructurada para el análisis comparativo de enfoques

3.4 Etapa 4: Clasificación de herramientas de análisis espacial

La última etapa de la investigación se centró en la identificación y clasificación de las herramientas empleadas en los estudios analizados para la evaluación del aporte de resiliencia de los parques urbanos.

En primer lugar, las herramientas identificadas en los artículos fueron clasificadas en dos categorías generales: software y hardware. Continuamente se subcategorizaron en 8 tipos específicos de software y 6 tipos específicos de hardware, distinción fundamental entre instrumentos computacionales y dispositivos físicos presentes en los 64 artículos analizados.

Las nueve subcategorías de las herramientas tipo software emergen del análisis inductivo de los artículos, agrupando herramientas por especialización funcional, mientras que la clasificación de hardware se organiza en seis subcategorías que responden a criterios operativos relevantes para la evaluación de la resiliencia urbana: la plataforma de operación (espacio, aire tripulado, aire no tripulado, superficie), la naturaleza de la captura (programada vs. continua) y la autonomía operativa. Esta clasificación con sus subcategorías se puede observar de manera más detallada en la Tabla 2, presente en la sección de resultados.

4. Resultados.

4.1 Patrones bibliográficos a partir del análisis bibliométrico.

El análisis de la evolución anual de la producción investigativa (Figura 2) muestra tres etapas. Entre 2015 y 2017, se observa una baja en la actividad investigativa, hasta cero. La segunda etapa, entre 2018 y 2021, refleja un leve fortalecimiento, aunque con comportamiento inestable, pasando de 2 a 4 documentos, luego una disminución y una posterior recuperación.

La tercera etapa, a partir de 2022, evidencia un crecimiento más consistente, con un aumento gradual entre 2022 y 2024. Sin embargo, el cambio más significativo ocurre en 2025, con un máximo de aproximadamente 29 publicaciones.

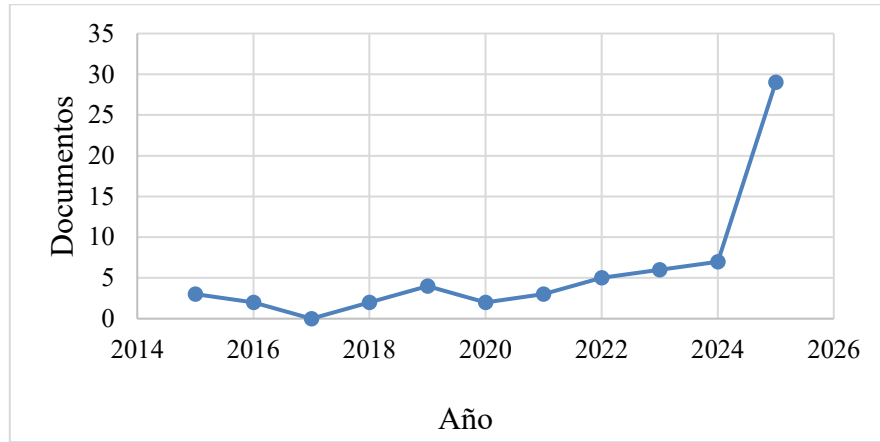
Los resultados del análisis de la distribución de publicaciones por revista, presentados en la Figura 3, evidencian una concentración en un grupo reducido de fuentes con mayor productividad. En la categoría de alta frecuencia (≥ 3 publicaciones) se identifican cuatro revistas, que representan el 6.2% del total, destacándose *Sustainability (Switzerland)* con 7 documentos. Este grupo concentra el 19.2% de las publicaciones.

En la categoría de frecuencia media (2 publicaciones) se agrupan siete revistas, equivalentes al 10.9% del total, entre ellas *Environmental Challenges*, *Forests*, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *Modeling Earth Systems and Environment*, *Remote Sensing*, *Theoretical and Applied Climatology* y *Urban Climate*, las cuales presentan una contribución moderada, acumulando el 16.9% de las publicaciones.

Por su parte, la categoría de baja frecuencia (1 publicación) concentra la mayor cantidad de revistas, con 53 en total, lo que corresponde al 82.8% de las fuentes y al 63.8% de las publicaciones, entre ellas *Applied Energy*, *Architecture City and Environment*, *Information Switzerland*, *Urban Forestry and Urban Greening*, etc.

Figura 2.

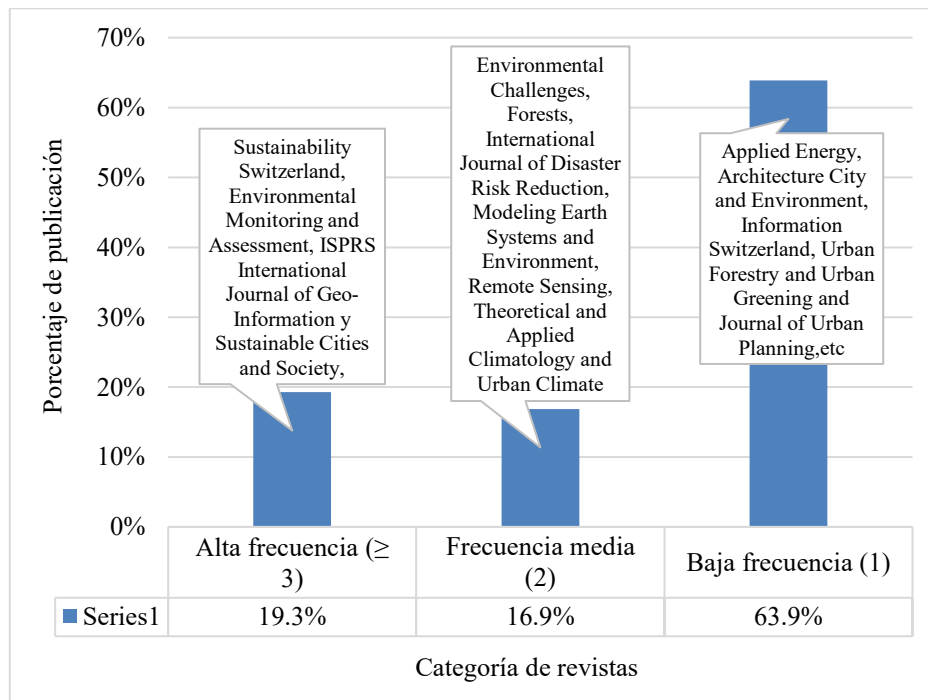
Crecimiento anual de documentos por años



Nota: Elaboración propia con base en datos de Scopus.

Figura 3.

Frecuencia de publicación por categoría de revistas

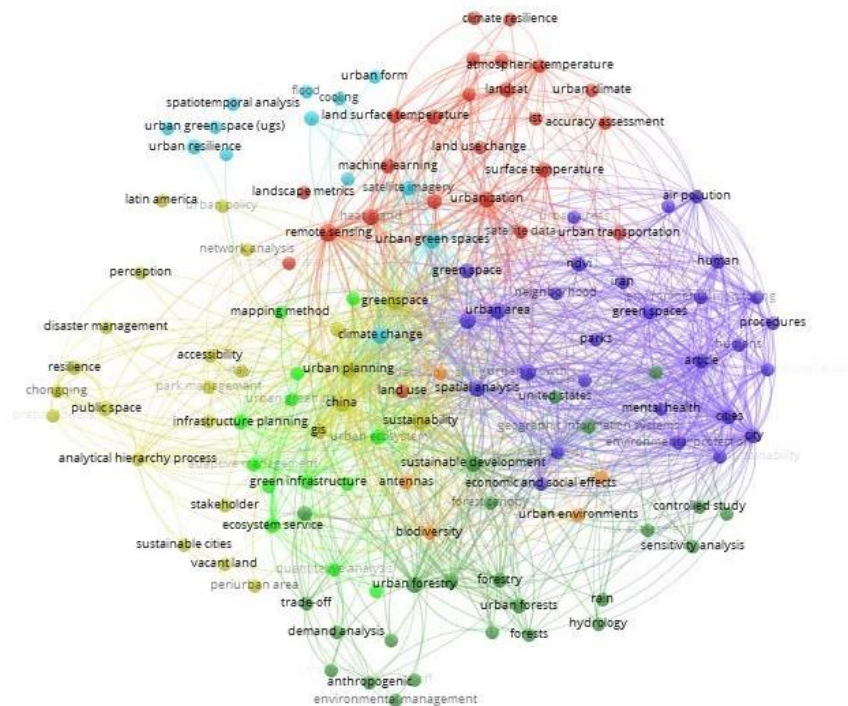


Nota: Elaboración propia con base en datos de Scopus.

Asimismo, el mapa de coocurrencias (Figura 4), permite distinguir siete clústeres temáticos diferenciados por color. En términos generales, el clúster rojo se centra en las dinámicas urbanas y el clima urbano, abordando variables como la temperatura superficial y el cambio de uso del suelo; el azul en aspectos del entorno urbano relacionados con la calidad del aire, el transporte y la salud; el verde en la dimensión ecológica, incluyendo infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sostenibilidad; el amarillo en la resiliencia y la gestión del riesgo; el celeste en el uso de tecnologías de teledetección y análisis espacio-temporal; el morado en la planificación urbana y el desarrollo sostenible; y el naranja en métodos analíticos y herramientas de evaluación aplicadas al análisis urbano.

Figura 4.

Mapa de coocurrencias de palabras clave



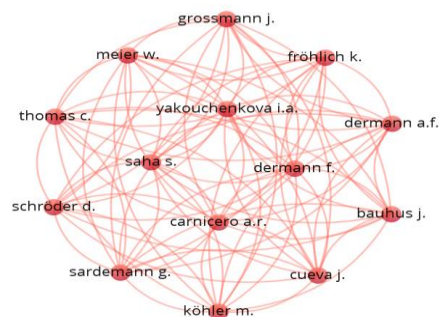
Nota. Elaboración propia mediante VOSviewer.

La Figura 5 ilustra los mapas de coautoría a nivel de autores y organizaciones (Figura 6), evidenciando una red de colaboración. En este contexto, autores como Carnicero A.R., Yakouchenkova I.A, y Saha S. destacan como nodos centrales de la red, todos adscritos al *Karlsruher Institut für Technologie*. Asimismo, el análisis por organizaciones muestra una red institucional caracterizada por una alta densidad de enlaces y una estructura relativamente cohesionada, donde diversas entidades académicas y centros de investigación mantienen vínculos directos. En particular, instituciones como *Department of civil engineering, Bangladesh University of Engineering & Technology*; *gis Unit, Operational Center Amsterdam (oca)*; *Médecins Sans Frontières (msf)*; *ICLEI South Asia*; *Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University*; y *Department of Urban & Regional Planning, Rajshahi University of Engineering & Technology*; ocupan posiciones estratégicas, actuando como nodos articuladores entre distintos grupos de investigación.

La Figura 7 presenta el mapa de coautoría por país. Los resultados evidencian que la generación de conocimiento está liderada principalmente por *China*, con 15 artículos, seguida por *Estados Unidos*, con 8 artículos. Posteriormente, se ubican *España* con 7 artículos, así como *Italia* e *India*, cada uno con 6 artículos.

Figura 5.

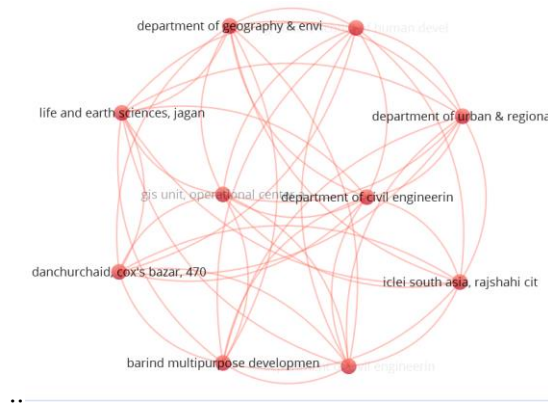
Mapa de coautoría de autores.



Nota. Elaboración propia mediante VOSviewer.

Figura 6.

Mapa de coautoría por organizaciones



Nota. Elaboración propia mediante VOSviewer.

Figura 7.

Mapa de coautoría por países



Nota. Elaboración propia mediante VOSviewer.

4.2. Categorización de metodologías.

Posterior a la lectura completa y análisis focalizado en el desarrollo metodológico de cada uno de los 64 artículos seleccionados, se desarrolló la siguiente clasificación (Tabla 1) basada en la identificación de patrones recurrentes y agrupamientos naturales de métodos:

Tabla 1.*Categorías metodológicas para el análisis espacial*

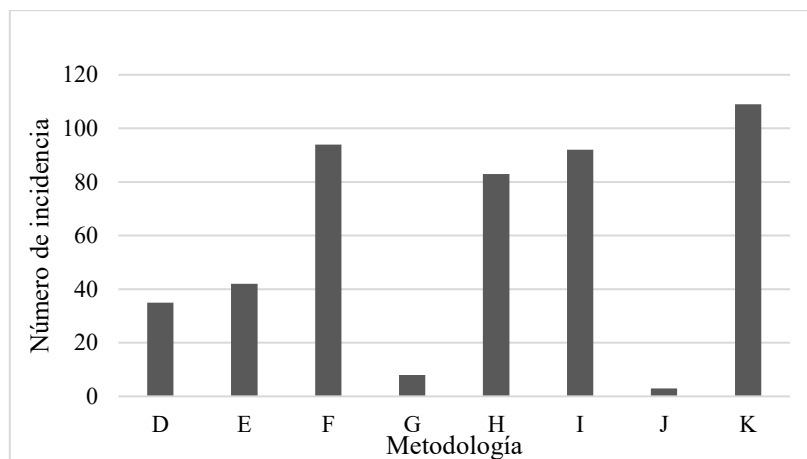
Código	Categoría metodológica
D	Evaluación multicriterio y priorización espacial
E	Análisis de accesibilidad, redes y conectividad
F	Evaluación ambiental y servicios ecosistémicos
G	Modelado dinámico y simulación espacial
H	Integración, análisis temporal y fusión de datos
I	Clasificación e inferencia automatizada
J	Tecnologías semánticas y modelado del conocimiento
K	Análisis espacial y superposición geográfica

Nota. Elaboración propia.

Una vez analizados y clasificados los artículos seleccionados (Apéndice D), se identificó que las categorías K, F e I no solo son las más frecuentes, sino que conforman un patrón de trabajo recurrente en los estudios de infraestructura verde y resiliencia urbana, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8.

Resultados de la clasificación específica de metodologías.



Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta un análisis más detallado de las tres categorías más utilizadas:

4.2.1. Categoría K: Análisis espacial y superposición geográfica

La categoría K, relacionada con el análisis espacial y la superposición geográfica, se identifica como la metodología más utilizada, lo que evidencia su papel fundamental en la construcción, transformación y análisis de información geográfica. Esta categoría constituye una base operativa clave que permite la integración, depuración y generación de nuevas variables espaciales para estudios de resiliencia urbana.

La prevalencia de esta categoría puede explicarse por su versatilidad y aplicabilidad en distintos contextos, ya que permite abordar múltiples etapas del análisis espacial, desde el preprocesamiento de datos hasta la generación de indicadores derivados. En este sentido, el geoprocésamiento no solo cumple una función técnica de preparación de datos, sino que también posibilita la construcción de fenómenos espaciales que no son directamente observables en las fuentes originales.

Un ejemplo representativo de este enfoque se presenta en el estudio de Hou et al. (2025), donde el geoprocésamiento se emplea para identificar los espacios verdes informales en Hong Kong mediante una operación de diferencia espacial entre dos capas: la cobertura vegetal total, obtenida a partir de la clasificación semántica de imágenes de Landsat 8 mediante una red neuronal U-Net, y las áreas verdes formales proporcionadas por entidades gubernamentales. Mediante herramientas de SIG, se eliminan las áreas coincidentes entre ambas capas, lo que da como resultado una nueva capa que contiene exclusivamente vegetación no planificada. Este procedimiento ilustra cómo las operaciones de superposición permiten construir nuevas categorías espaciales, en este caso, los espacios verdes informales, que posteriormente sirven como insumo para análisis más avanzados como la clasificación tipológica, la evaluación de servicios ecosistémicos y el análisis de equidad.

El geoprocésamiento desempeña un papel integral tanto en la validación y depuración de información espacial como en el análisis y preprocesamiento de datos, contribuyendo a mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados. En el estudio de Yilmaz, Uyar y Ozturk (2025), se emplea un enfoque de fusión multitemporal basado en imágenes NDVI de Sentinel-2 de cuatro meses, en el que se generan capas binarias mediante umbralización y se combinan con el operador lógico AND, lo que permite identificar únicamente áreas de vegetación permanente y excluir coberturas estacionales, lo que evidencia cómo operaciones básicas pueden optimizar la exactitud mediante la integración temporal. De manera complementaria, el álgebra de mapas facilita la comparación de escenarios, como lo demuestran Prasad y Satyanarayana (2025), quienes aplican restas celda a celda en un modelo climático urbano (WRF-UCM) para detectar variaciones en temperatura superficial, confort térmico y humedad relativa, cuantificando reducciones de hasta 5 °C en zonas con vegetación y resaltando su papel en la regulación térmica. Por otro lado, en el preprocesamiento de imágenes satelitales, Malekzadeh et al. (2025) implementan correcciones

geométricas y radiométricas, incluyendo la sustracción de objetos oscuros y la calibración de la reflectancia, asegurando que los cambios observados correspondan a transformaciones reales en la cobertura del suelo y no a errores instrumentales.

El uso del geoprocésamiento como herramienta de integración de múltiples fuentes de datos se evidencia en Li et al. (2024), donde operaciones como remuestreo, estadística zonal y álgebra de mapas permiten armonizar información de sensores satelitales con distintas resoluciones. Esto facilita la generación de mapas continuos de servicios ecosistémicos, como regulación térmica, conservación de suelo y captura de carbono, así como la cuantificación de su valor espacial y económico, actuando además como un puente entre la información biofísica y su interpretación en la resiliencia urbana.

El análisis evidencia que la categoría K constituye la base metodológica de gran parte de los estudios, destacando por su accesibilidad, facilidad de implementación y capacidad de integrarse con metodologías más avanzadas, como el aprendizaje automático y los modelos ambientales.

4.2.2 Categoría F: Evaluación ambiental y servicios ecosistémicos.

La categoría F, correspondiente a la evaluación ambiental y servicios ecosistémicos, representa uno de los enfoques más relevantes en el análisis de la resiliencia urbana, ya que permite evaluar directamente el efecto regulador de la infraestructura verde sobre la temperatura en entornos urbanos. Esta categoría se enfoca en medir y modelar el impacto térmico de la cobertura vegetal, convirtiéndose en un puente entre el análisis espacial y la evaluación funcional de los servicios ecosistémicos.

Uno de los enfoques más utilizados en esta categoría es la estimación de la temperatura de la superficie terrestre (LST, siglas en inglés para *Land Surface Temperature*) a partir de imágenes

satelitales. En el estudio de Kafy et al. (2021), la LST se calcula mediante la transformación de los números digitales (DN) de las bandas térmicas de Landsat en radiancia espectral, seguida de la aplicación de la ley de Planck ajustada por la emisividad de la superficie. De manera muy similar, Zhang et al. (2025) también estiman la LST a partir de imágenes Landsat 8 utilizando corrección atmosférica y la función inversa de Planck, lo que evidencia una base metodológica común en la recuperación de temperatura superficial a partir de teledetección.

Aunque ambos estudios analizan la relación entre temperatura y cobertura del suelo, presentan diferencias en su alcance. Kafy et al. (2021) adoptan un enfoque más descriptivo al examinar cómo los cambios en LULC influyen en la LST, evidenciando el efecto de la urbanización en el aumento térmico. Por otro lado, Zhang et al. (2025) desarrollan un enfoque más avanzado al modelar explícitamente el efecto de enfriamiento mediante InVEST Urban Cooling, incorporando indicadores como CCI y HMI, junto con análisis estadísticos, como la correlación de Pearson, la regresión lineal y el GAM, para detectar relaciones no lineales.

En una línea similar de cuantificación basada en LST, el estudio de Karami y Mousavi (2025) aplica el algoritmo Mono-Window para estimar la temperatura superficial a partir de Landsat 8, incorporando parámetros atmosféricos y emisividad derivada del NDVI. Al igual que los estudios anteriores, este enfoque permite mapear la distribución térmica urbana; no obstante, se diferencia en que integra análisis estadístico espacial mediante el estadístico Getis-Ord G_i^* , lo que permite identificar clústeres de islas de calor y frío con significancia estadística

Otro ejemplo es el estudio de Malekzadeh et al. (2025) en el que calcularon el NDVI para extraer regiones de vegetación, derivaron mapas de albedo a partir de bandas satelitales, estimaron la evapotranspiración de referencia (ET_0) con datos meteorológicos locales y, finalmente, integraron estos parámetros en el modelo InVEST Urban Cooling para obtener el Índice de Capacidad de Enfriamiento (CCI) y el Índice de Mitigación del Calor (HMI), lo que les permitió

evaluar la pérdida progresiva de la capacidad de enfriamiento asociada a la disminución de áreas verdes entre 2002 y 2032.

Un enfoque metodológico más avanzado dentro de la categoría F se presenta en el estudio de Ruiz-Valero et al. (2025), donde se emplean modelos jerárquicos bayesianos con aproximación INLA-SPDE para cuantificar el efecto de enfriamiento del arbolado urbano. A diferencia de los estudios basados únicamente en LST, este enfoque modela explícitamente la relación entre la cobertura arbórea y la temperatura, controlando múltiples variables urbanas y considerando la autocorrelación espacial. Como resultado, se estima que un incremento de 450 m² de cobertura arbórea reduce la LST en 0.268 °C, con alta robustez estadística.

Los estudios identifican tres enfoques principales para cuantificar el enfriamiento: la estimación de la LST mediante teledetección, el uso de indicadores de cobertura vegetal como proxy y la aplicación de modelos estadísticos o enfoques integrados. En conjunto, se concluye que la categoría F es fundamental para vincular el análisis espacial con la resiliencia urbana, al permitir medir directamente la regulación térmica.

4.2.3. Categoría I: Clasificación e inferencia automatizada.

La categoría I agrupa metodologías orientadas a la identificación, clasificación e inferencia automatizada de patrones espaciales mediante algoritmos estadísticos y computacionales, este tipo de metodología permite detectar relaciones complejas entre variables y automatizar procesos de clasificación territorial a distintas escalas.

Uno de los usos más frecuentes de esta categoría es la clasificación de coberturas del suelo, por sus iniciales en inglés LULC, a partir de datos espectrales. En el estudio de Karami y Mousavi (2025), se implementaron múltiples algoritmos supervisados, incluyendo TreeNet Gradient

Boosting, CART, Random Forest y regresión logística, para generar mapas de LULC y modelar la variabilidad de la temperatura superficial (LST). De manera similar, el estudio de Suraj K. C. et al. (2025) emplea el algoritmo Random Tree para clasificar el territorio en áreas desarrolladas y áreas verdes, utilizando muestras de entrenamiento y validación y evaluando el desempeño mediante el coeficiente Kappa.

En esta misma línea, Joshi et al. (2025) aplican el clasificador de máxima verosimilitud, un método probabilístico basado en distribuciones estadísticas, para generar mapas de cobertura del suelo con alta precisión. Estos tres estudios comparten una metodología supervisada basada en *training data*, es decir, observaciones previamente etiquetadas, utilizadas para ajustar este tipo de modelos, lo que permite al algoritmo aprender la relación entre variables de entrada y clases, con el objetivo común de producir cartografía temática confiable. Sin embargo, se diferencian en la complejidad de los algoritmos: mientras Karami y Mousavi (2025) utilizan modelos avanzados de ensamble, Joshi et al. (2025) emplean un enfoque más tradicional, y Suraj K. C. et al. (2025) utilizan una variante intermedia basada en árboles de decisión. A pesar de estas diferencias, todos coinciden en que la calidad de los datos de entrenamiento y de validación es un factor determinante de la precisión de los resultados.

Por otro lado, el estudio de Yilmaz, Uyar y Ozturk (2025) propone una aproximación metodológica dentro de la categoría I que, aunque parte del análisis espectral mediante el cálculo del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), se diferencia de enfoques tradicionales al emplear el método de umbralización de Otsu para segmentar automáticamente las imágenes en áreas verdes y no verdes, sin requerir datos de entrenamiento explícitos, lo que lo acerca a esquemas más automatizados de clasificación de coberturas. Adicionalmente, el estudio incorpora el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés Principal Component Analysis) para construir un índice compuesto denominado UGASL_PCA, el cual

integra múltiples indicadores espaciales, evidenciando así un enfoque distinto a los trabajos centrados exclusivamente en clasificación, al orientarse hacia la reducción de dimensionalidad y la generación de indicadores sintéticos.

En contraste con los enfoques supervisados, Bhattarai et al. (2025) utilizan el algoritmo K-means para clasificar el paisaje urbano en clústeres a partir de variables como NDVI, NDBI, MNDWI y elevación, sin clases predefinidas. Este enfoque permite identificar patrones espaciales emergentes y captar la heterogeneidad del territorio sin sesgos previos, lo que evidencia que la eficiencia de enfriamiento de los espacios verdes depende no solo de la cobertura vegetal, sino también de su contexto urbano.

En este sentido, la categoría no solo contribuye a mejorar la precisión de los análisis espaciales, sino que también amplía la capacidad de interpretación de los sistemas urbanos, permitiendo abordar problemas complejos desde una perspectiva basada en datos y uso de herramientas de análisis estadístico.

Finalmente, para complementar la categorización de las metodologías, se realizó una tabla con ventajas, desventajas y la escala de aplicación de cada una de las categorías, presente en el Apéndice E.

4.3. Clasificación de herramientas

Posterior al análisis detallado de los 64 artículos seleccionados, se identificaron y clasificaron las herramientas utilizadas (Apéndice F). En la Tabla 2 se presenta la clasificación general, por categorías amplias

Tabla 2.*Clasificación general de herramientas*

Categoría	Subcategoría
A. Software	A.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG) de propósito general
	A.2. Plataformas de teledetección y análisis en la nube
	A.3. Software de modelado ambiental y servicios ecosistémicos
	A.4. Software de simulación y modelado dinámico
	A.5. Software de análisis de paisaje y métricas espaciales
	A.6. Plataformas de análisis estadístico espacial
	A.7. Entornos de programación y librerías especializadas
	A.8. Software de modelado de distribución de especies
	A.9. Software de análisis de redes y grafos
B. Hardware	B.1. Sensores satelitales
	B.2. Sensores aerotransportados tripulados
	B.3. Vehículos no tripulados (UAV/drones)
	B.4. Sensores terrestres y móviles
	B.5. Sensores fijos e IoT
	B.6. Sistemas de posicionamiento y navegación

Nota. Elaboración propia.

Adicionalmente, en la Figura 9 se puede observar la dominancia de la aplicación de herramientas tipo software con un 68% por encima de las herramientas tipo hardware con un 32% de aplicación en los estudios analizados.

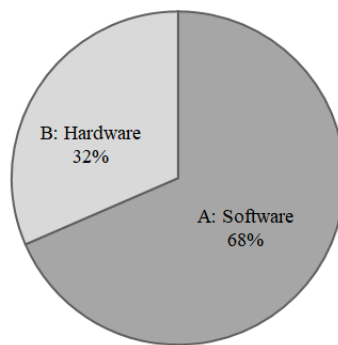
La mayor frecuencia de utilización de herramientas tipo software frente a hardware puede deberse a su papel central dentro del proceso metodológico. Mientras el hardware se limita principalmente a la recolección de datos, el software permite procesarlos, analizarlos e integrarlos, participando en múltiples etapas del estudio. Además, su flexibilidad para trabajar a distintas escalas e incorporar diversas variables lo convierte en un componente clave para la transformación

de datos en conocimiento, lo que explica su reiterada utilización en este tipo de investigaciones.

En la Figura 10, se observa los resultados de la aplicación de la clasificación presente en la Tabla 2, donde se evidencia la prevalencia de herramientas tipo A.1: Sistemas de Información geográfica (SIG) y B.1: Sensores satelitales, además de otras herramientas de pronunciada frecuencia de utilización como las clasificadas como A.7: Entornos de programación y librerías especializadas, A.2: Entornos de programación y librerías especializadas, B.4: Sensores terrestres y móviles y B.5: Sensores fijos e IoT.

Figura 9.

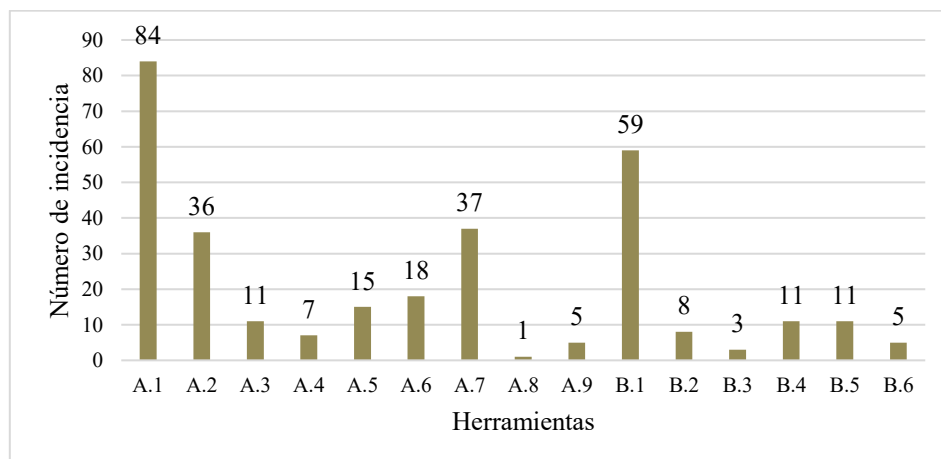
Porcentaje de utilización de las herramientas de la clasificación general.



Nota. Elaboración propia.

Figura 10.

Porcentaje de utilización de las herramientas de la clasificación general.



Nota. Elaboración propia.

En este sentido, la alta frecuencia de uso de las herramientas tipo A.1, correspondientes a Sistemas de Información Geográfica de propósito general, evidencia su papel central en el análisis espacial de la resiliencia urbana y los espacios verdes, debido a su capacidad para integrar, procesar y analizar múltiples fuentes de datos geoespaciales en un mismo entorno.

En los artículos analizados, herramientas como ArcGIS, QGIS, ENVI y Google Earth se destacan como plataformas integrales que van más allá de la visualización, permitiendo desarrollar análisis completos. Por ejemplo, Gebreyesus et al. (2025) utilizaron ArcGIS Pro para clasificación supervisada e interpolación espacial mediante IDW, con apoyo de Google Earth en la planificación del muestreo, mientras que Gupta et al. (2024) emplearon ArcGIS 10.8.1 para análisis de estadística espacial avanzada e integración de múltiples fuentes de datos.

Algunos estudios evidencian el uso complementario de múltiples SIG en un mismo flujo de trabajo. Por ejemplo, Zhang et al. (2025) y Mostafazadeh et al. (2024) emplean herramientas como ENVI y ERDAS Imagine para el preprocesamiento y clasificación de imágenes, mientras que ArcGIS se utiliza para integrar capas, generar métricas espaciales y elaborar cartografía final, destacando la flexibilidad de estos sistemas en distintas etapas del análisis.

Por otro lado, en estudios como el de Park (2025), el uso de QGIS permitió desarrollar análisis de red para evaluar la accesibilidad a sitios de evacuación, integrando además datos dinámicos de población provenientes de plataformas gubernamentales SIG. Esto demuestra que estas herramientas no solo son aplicables a análisis ambientales, sino también a problemáticas relacionadas con la planificación urbana y la gestión del riesgo.

En conclusión, la alta frecuencia de uso de los SIG de propósito general se explica por su capacidad para integrar datos heterogéneos, su amplia oferta de herramientas de análisis espacial y su versatilidad en distintas escalas. Así, estos sistemas no solo funcionan como apoyo, sino como

la base sobre la cual se estructuran los procesos de evaluación de la resiliencia urbana en la mayoría de los estudios.

Por otra parte, las herramientas clasificadas como B.1, correspondientes a sensores satelitales, se posicionan como la segunda categoría más utilizada debido a su capacidad para proporcionar datos primarios, continuos y de gran cobertura espacial. Entre las más empleadas se encuentran Sentinel-1 y Sentinel-2, MODIS, Landsat y NPP-VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), los cuales ofrecen información multiespectral, térmica y socioeconómica derivada. En los estudios analizados, estos sensores constituyen la base empírica del análisis. Por ejemplo, Qin et al. (2025) emplean Sentinel-1 y Sentinel-2 para obtener información de cobertura terrestre, así como MODIS para variables como temperatura superficial y NDVI, y NPP-VIIRS para estimar la intensidad de actividad humana a través de luz nocturna. Adicionalmente, en estudios como los de Gupta et al. (2024) utilizan el sensor MSI de Sentinel-2 para generar mapas de uso y cobertura del suelo que permiten identificar y cuantificar los espacios verdes urbanos a escala regional.

Adicionalmente, se realizó una tabla con las principales ventajas y desventajas de las herramientas analizadas en la clasificación, la cual se puede encontrar en el Apéndice G.

A su vez, se realizaron tres clasificaciones más; la primera específicamente para herramientas tipo software, en la que se clasifican según el tipo de licencia, ya sea libre con código abierto (L.1), aquellos software que puede ser usado, estudiado, modificado y distribuido libremente, es decir, el código fuente está disponible, comercial (L.2), software que requiere la adquisición de una licencia de pago para su uso, el código fuente no está disponible o gratuito pero no abierto (L.3), software sin costo económico, pero con restricciones en el acceso al código fuente, modificación o redistribución (Apéndice H, Tabla 2). Los resultados de esta

clasificación expuestos en el *Apéndice I, Figura 1* indican que las herramientas Software con licencia tipo L.2, es decir, aquellos software que requieren adquisición de licencia de pago para su uso son los de mayor recurrencia entre los artículos analizados.

La tendencia al uso de software comercial se sustenta en la presencia recurrente de plataformas consolidadas que ofrecen entornos integrados y robustos para el análisis de datos, como se evidencia en Valera y Sharifi (2025), donde ArcGIS Pro 3.3 se emplea como herramienta central para el análisis espacial, integración de datos ráster y vectoriales y generación de mapas, mientras Microsoft Excel complementa el procesamiento, normalización y agregación de indicadores socioeconómicos; de manera similar, Li et al. (2025) utilizan herramientas especializadas como ArcGIS, LIDAR360 v6.0 y GS+ 9.0 para funciones específicas que abarcan desde el procesamiento de datos LiDAR (*Light Detection and Ranging*) y extracción de variables biofísicas hasta el modelado geoestadístico y el análisis de autocorrelación espacial. En conjunto, estos casos muestran que el software comercial no solo es ampliamente utilizado, sino que estructura el núcleo metodológico por su capacidad de integrar múltiples procesos, aunque su predominio no es absoluto, evidenciando una coexistencia con herramientas libres y gratuitas influenciada por factores como el acceso, el costo y la disponibilidad institucional.

La segunda clasificación adicional de herramientas que se realizó fue específicamente para las herramientas tipo hardware y fue según su plataforma de adquisición de datos, evidenciando 5 grandes categorías: P.1 tripuladas o plataformas operadas por humanos a bordo, P.2 no tripuladas o plataformas robóticas/autónomas, P.3 fijas o permanentemente instaladas en el terreno y P.5 portátiles siendo aquellos dispositivos manuales operados por personal en campo (Apéndice H, Tabla 3). Los resultados de la aplicación de esta clasificación, expuestos en el Apéndice I, Figura 2, sugieren una alta frecuencia de utilización de las herramientas no tripuladas, categoría que engloba principalmente sensores remotos satelitales como Sentinel-1, Sentinel-2,

Landsat, MODIS y NPP-VIIRS, así como tecnologías aerotransportadas como drones y sistemas LiDAR.

Estos resultados radican en su capacidad para capturar información de manera remota, continua y a gran escala, permitiendo cubrir amplias extensiones territoriales con alta resolución espacial y temporal, sin necesidad de intervención directa en campo. Esto resulta especialmente relevante en estudios urbanos y ambientales, donde se requiere analizar dinámicas espaciales complejas como la distribución de la vegetación, la expansión urbana o las variaciones térmicas. Además, muchas de estas fuentes de datos son de acceso abierto, lo que facilita su uso recurrente en investigaciones académicas.

Finalmente, la última clasificación adicional que se realizó abarcó todos los tipos de herramientas y se centró en clasificarlas según la escala de aplicación en la que dicha herramienta fue utilizada abarcando específicamente cuatro categorías: S.1 Microescala (parche/árbol/parque), S.2. Mesoescala (barrio/distrito), S.3. Macroescala (ciudad/región) y S.4. Multi-escala (Apéndice I, Figura 3). Se puede observar que las herramientas en los artículos analizados frecuentemente son utilizadas en escalas grandes, es decir, a nivel de escala o región, y asimismo también en múltiples escalas de uso.

Esto indica que las investigaciones tienden a abordar los fenómenos desde una perspectiva integral, priorizando análisis que permitan comprender dinámicas espaciales complejas en contextos urbanos amplios. El uso predominante de escalas macro y multiescala sugiere, además, una necesidad de integrar diferentes niveles de análisis, desde lo local hasta lo regional, para capturar de manera más completa las interacciones entre variables ambientales, sociales y espaciales. En este sentido, las herramientas no solo se emplean para observar patrones a gran escala, sino también para articular distintos niveles de detalle dentro de un mismo estudio, lo que refuerza el carácter sistémico y multiescalar de este tipo de investigaciones.

5. Conclusiones

El análisis bibliométrico cumplió el primer objetivo específico, revelando, a partir de los datos de Scopus (Figura 2), un crecimiento sostenido del campo desde 2022, con un pico de 29 publicaciones en 2025, liderado por China y Estados Unidos. Complementariamente, los mapas de coocurrencias de palabras clave, autores, organizaciones y países (Figuras 3 y 4), generados mediante VOSviewer, confirman que los enfoques de investigación se concentran en el análisis climático, la teledetección y la infraestructura verde como líneas dominantes.

La categorización de metodologías de análisis espacial, desarrollada a partir de la Tabla 1 y representada en la Figura 5, permitió dar cumplimiento al segundo objetivo específico. Los resultados evidenciaron que las categorías metodológicas con mayor frecuencia de aplicación corresponden al análisis espacial y superposición geográfica (K), la evaluación ambiental y servicios ecosistémicos (F) y la clasificación e inferencia automatizada (I). Se concluye que estas metodologías conforman el núcleo metodológico dominante dentro de los estudios analizados, debido a su capacidad para integrar información espacial, cuantificar fenómenos ambientales urbanos y automatizar procesos de clasificación territorial mediante algoritmos de aprendizaje automático y procesamiento digital de imágenes

La clasificación de herramientas, desarrollada en la Tabla 2 y la Figura 6, permitió cumplir el tercer objetivo específico, evidenciando el predominio del software (68%) sobre el hardware (32%). Se concluye que los SIG de propósito general (A.1) y los sensores satelitales (B.1) constituyen el núcleo tecnológico de los estudios analizados, con preferencia por software comercial, plataformas no tripuladas y análisis a macroescala.

A partir de los hallazgos obtenidos, se identifica una concentración temática en la regulación térmica, lo que constituye una brecha relevante en la literatura actual. Entre las

limitaciones del estudio se destaca la consulta exclusiva de Scopus, se recomienda ampliar la revisión a otras bases de datos científicas y explorar metodologías apoyadas en inteligencia artificial, que permitan analizar de forma más precisa la contribución de los parques resilientes ante desafíos ambientales y climáticos.

Referencias Bibliográficas.

- Bhattarai, S., Banjara, P., Pandey, V. P., Pradhan, N. R., & Talchabhadel, R. (2025). Quantifying the cooling effects of blue-green spaces across urban landscapes: A case study of Kathmandu Valley, Nepal. *Urban Climate*, 61, 102493. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102493>
- Bonilla-Bedoya, S., Estrella, A., Santos, F., & Herrera, M. Á. (2020). Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-ecological systems. *Applied Geography*, 125, 102343. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102343>
- Dong, T., Tadi, M., & Tesfaye, S. T. (2025). Unveiling hidden green corridors: An agent-based simulation (ABS) of urban green continuity for ecosystem services and climate resilience. *Smart Cities*, 8(5), 163. <https://doi.org/10.3390/smartcities8050163>
- Gupta, L., & Dixit, J. (2025). Spatial analysis of urban green space and its utilization rate for the flood-prone region Assam, India. *Environment, Development and Sustainability*, 27(7), 17493–17523. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04660-z>
- Han, H., et al. (2022). Urban ecological environment protection and sustainable development: A review. *Sustainability*, 14(5), 2982. <https://doi.org/10.3390/su14052982>
- Hou, X., Tian, Y., & Chen, M. (2025). Third spaces to represent urban greenery: A study of informal green spaces in a high-density city using deep learning and geo-weighted analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(10), 368. <https://doi.org/10.3390/ijgi14100368>

- Joshi, K., Kumari, M., Mishra, V. N., Prasad, R., & Zhran, M. (2025). Geoinformatics-based evaluation of heat mitigation strategies through urban green spaces in a rapidly growing city of India: Implications for urban resilience. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(3), 188. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05411-4>
- Kafy, A.-A., Al Rakib, A., Akter, K. S., Rahaman, Z. A., Faisal, A.-A., Mallik, S., Nasher, N. M. R., Hossain, M. I., & Ali, M. Y. (2021). Monitoring the effects of vegetation cover losses on land surface temperature dynamics using geospatial approach in Rajshahi City, Bangladesh. *Environmental Challenges*, 4, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100187>
- Karami, P., & Mousavi, S.-M. (2025). Spatiotemporal analysis of thermal islands in a semi-arid city: A case study of Kermanshah, Iran using machine learning and remote sensing. *Environmental Challenges*, 20, 101174. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101174>
- Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, 95(1–2), 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.11.001>
- Li, Y., Wang, M., Wang, B., & Liang, Y. (2025). Bridging subjective and objective dimensions of resilience: A space syntax approach to analyzing urban public spaces. *Sustainability*, 17(13), 5937. <https://doi.org/10.3390/su17135937>
- Li, Z., Zhou, Z., Liu, Z., Si, J., & Ou, J. (2024). Assessment and dynamic prediction of green space ecological service value in Guangzhou City, China. *Remote Sensing*, 16(22), 4180. <https://doi.org/10.3390/rs16224180>

- Malekzadeh, S., Jafari, H. R., Nazari, R., Blaschke, T., Hof, A., & Karimi, M. (2025). Modeling the cooling effect of urban green infrastructures with an ecosystem services approach (case study: Tehran metropolis). *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 10(2), 199–214. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2025.02.01>
- Mostafazadeh, R., Alaei, N., Mirchooli, F., & Hussain, S. (2024). Changes in urban green space configuration and connectivity using spatial graph-based metrics in Ardabil developing city, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(9), 778. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12922-6>
- Nor, A. N. M., Corstanje, R., Harris, J. A., & Grafius, D. R. (2017). Ecological connectivity networks in rapidly expanding cities. *Heliyon*, 3(6), e00325. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00325>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Park, J.-W. (2025). An analysis of the capacity of outdoor earthquake evacuation sites in Daegu, South Korea: Assessing de facto population dynamics and accessibility through the geographic information system (GIS). *Sustainability*, 17(5), 2129. <https://doi.org/10.3390/su17052129>
- Prasad, P. S. H., & Satyanarayana, A. N. V. (2023). Assessment of outdoor thermal comfort using Landsat 8 imagery. *Environmental Sciences Proceedings*, 29(1), 37. <https://doi.org/10.3390/ECRS2023-15838>
- Qin, J., Wang, Q., & Li, W. (2025). Incorporating regional green spaces into greenspace exposure assessment: A nationwide study of 244 Chinese cities. *Journal of Environmental Management*, 394, 127369. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127369>

- Ruiz-Valero, Á., Pereña-Ortiz, J. F., Martín-Lozano, I., Cortés-Molino, Á., Cozano-Pérez, P., Galindo-Ruiz, B., Díaz-Galiano, L. A., & Salvo-Tierra, Á. E. (2026). Quantifying urban tree canopy cooling capacity using Bayesian hierarchical models and satellite imagery. *Plants, People, Planet*, 8(1), 338–352. <https://doi.org/10.1002/ppp3.70085>
- Salgado, K., de la Barrera, F., Salinas, V., Truffello, R., & Salvati, A. (2025). Beyond the canopy: In situ evidence of urban green spaces' cooling potential across three Chilean cities. *Urban Science*, 9(11), 485. <https://doi.org/10.3390/urbansci9110485>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2018). World urbanization prospects: The 2018 revision. United Nations. <https://population.un.org/wup/>
- Valera, K., & Sharifi, A. (2025). Index-based mapping and assessment of flood vulnerability for climate adaptation at the neighborhood level: A case study of Santo Domingo, the Dominican Republic. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 120, 105362. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105362>
- Yilmaz, I., Uyar, A., & Ozturk, D. (2025). Integration of spatial and fractal analysis for evaluating urban green areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(9), 991. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14439-y>
- Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P., & Lindquist, M. (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 305–317. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.014>