

4. Inteligencia artificial y la planeación urbana



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.445.04>

GUILLERMO GEOVANNY GUZMÁN CHÁVEZ*

ÁNGEL JUAN SÁNCHEZ GARCÍA**

PABLO ISAAC JARAMILLO PAZMIÑO***

Resumen

El acelerado crecimiento urbano y los efectos del cambio climático plantean desafíos complejos para la planificación de ciudades sostenibles y equitativas. En este contexto, la integración de inteligencia artificial (IA) y el análisis geoespacial emergen como una estrategia clave para optimizar la toma de decisiones. El problema de investigación abordado es la limitada incorporación de estas tecnologías en la planificación urbana ecuatoriana, debido a carencias en infraestructura de datos, marcos regulatorios y capacidades institucionales.

Este capítulo evalúa, a partir de una revisión sistemática de 31 documentos académicos y técnicos publicados entre 2018 y 2025, el potencial de la IA, el análisis geoespacial y las metaheurísticas para optimizar el uso del suelo, reducir la exposición a riesgos climáticos y promover la equidad territorial.

Los resultados evidencian tres áreas prioritarias de aplicación: movilidad urbana, gestión ambiental y ordenamiento territorial. Tecnologías como el aprendizaje profundo, los modelos basados en agentes y la minería de datos

* Magíster en Urbanismo. Docente-investigador de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7848-949X> ; correo electrónico: gg-guzman@pucesi.edu.ec

** Doctor en Inteligencia Artificial. Docente de tiempo completo en la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2917-2960> ; correo electrónico: angesanchez@uv.mx

*** Maestro en Diseño Computacional por el University College London. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2304-0067> ; correo electrónico: pablo.jaramillo@disaac.org

destacan por su capacidad de generar diagnósticos y proyecciones más precisas. Entre los factores habilitadores identificados se encuentran la calidad y apertura de datos, la infraestructura tecnológica, la formación institucional y la gobernanza ética.

Se concluye que la adopción efectiva de IA en la planificación urbana en Ecuador requiere un marco de acción integral que combine repositorios de datos interoperables, fortalecimiento de capacidades técnicas, marcos regulatorios claros y mecanismos de participación ciudadana, incorporando insumos específicos y concretos para fortalecer planes de ordenamiento territorial y políticas de adaptación climática en el país.

Palabras clave: *algoritmos metaheurísticos, cambio climático, inteligencia artificial, planificación urbana, SIG.*

Introducción

Durante las dos décadas recientes, la inteligencia artificial se ha transformado en un aliado inesperado para abordar los problemas urbanos. Hoy en día, herramientas que anteriormente se limitaban al sector tecnológico comienzan a vincularse con la planificación urbana, proporcionando la oportunidad de interpretar y prever dinámicas territoriales con un nivel de precisión nunca visto (Kamrowska-Załużska, 2021).

El desarrollo de las denominadas ciudades inteligentes se sustenta en la gran cantidad de información geoespacial, la implementación de sensores en el espacio público y la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG). Por medio de esto, actualmente tenemos la capacidad de planificar rutas de transporte más eficaces, estimar el consumo de energía o simular escenarios de cambio climático casi en tiempo real (Yigitcanlar y Cugurullo, 2020; Demmler et al., 2021). No obstante, este avance tecnológico también plantea interrogantes complicadas: ¿quién maneja los datos?, ¿cómo se evitan prejuicios en los algoritmos?, ¿cómo se garantiza que las ventajas sean distribuidas a todos y no únicamente a unos pocos? (Galceran-Vercher y Vidal, 2024).

En Latinoamérica, estas cuestiones no son abstractas. La zona está lidiando con riesgos en aumento: inundaciones, deslizamientos, olas de calor.

En Ecuador, donde ya el 64% de los habitantes reside en zonas urbanas (INEC, 2023) los peligros varían. En Esmeraldas, el incremento del nivel marítimo y la erosión de las costas amenazan a comunidades completas. En Quito y Cuenca, el desordenado crecimiento urbano se entrelaza con riesgos de volcanes y cambios climáticos (Senplades, 2017).

Varios estudios han demostrado que, si se aplican correctamente, métodos como el aprendizaje profundo o el análisis multivariante facilitan la detección de patrones encubiertos en el territorio: áreas con carencias de servicios, áreas críticas debido a la exposición a amenazas, y sectores con un potencial de inversión pública más justa (Gerli et al., 2024). Sin embargo, en Ecuador, estos métodos aún se restringen a proyectos de prueba y al ámbito académico. La ausencia de información abierta e interoperable, de una sólida infraestructura tecnológica y de entidades capacitadas obstaculiza su implementación a gran escala (Thatcher y Dalton, 2018).

Es en este punto donde esta investigación aspira a contribuir. Nuestra meta es analizar cómo la inteligencia artificial, el estudio geoespacial y los algoritmos metaheurísticos pueden ser implementados de forma práctica en la planificación urbana del país, poniendo especial atención en la adaptación al cambio climático y la disminución de las desigualdades territoriales. El objetivo no solo es analizar lo que se ha difundido, sino también proporcionar indicios específicos para que estas herramientas se transformen en políticas y proyectos que mejoren la vida de los habitantes de nuestras ciudades.

Problema de investigación

¿En qué medida la integración de inteligencia artificial, análisis geoespacial y algoritmos metaheurísticos puede mejorar la planificación urbana en Ecuador, particularmente en tres ámbitos prioritarios —movilidad, gestión de riesgos climáticos y ordenamiento territorial—, garantizando a la vez criterios de equidad territorial y gobernanza digital?

A partir de esta pregunta se plantea la siguiente hipótesis evaluativa: la literatura reciente muestra que la combinación de IA, SIG y metaheurísticas logra mejorar la precisión predictiva en la gestión del riesgo (p. ej., redes

neuronales y modelos de optimización multiobjetivo), la eficiencia en el uso del suelo (p. ej., algoritmos genéticos aplicados a zonificación) y la identificación de desigualdades territoriales (p. ej., *clustering* espacial para cobertura de servicios), en comparación con enfoques tradicionales. Sin embargo, su aplicación en Ecuador sigue siendo incipiente debido a brechas de datos, capacidades institucionales y marcos regulatorios (Barbero et al., 2020; Herath y Mittal, 2022; Gerli et al., 2024).

En coherencia con lo anterior, los objetivos específicos de este capítulo son:

- Analizar el estado actual de la aplicación de IA, SIG y algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana a nivel global, regional y nacional (2018-2025).
- Evaluar la aplicabilidad de estas herramientas al contexto ecuatoriano, considerando datos, capacidades institucionales y prioridades territoriales.
- Proponer lineamientos de política pública y gestión urbana que favorezcan la adaptación climática y la equidad territorial mediante el uso de IA y gobernanza digital.

La relevancia de este estudio se sustenta en varios ejes interrelacionados. En primer lugar, el avance tecnológico en inteligencia artificial ha alcanzado un punto en el que su aplicación en la planificación urbana no es solo viable, sino necesaria para responder a problemáticas de creciente complejidad. La disponibilidad de herramientas de análisis predictivo, modelado espacial y optimización multiobjetivo ofrece la oportunidad de replantear los enfoques tradicionales de planificación, que a menudo han sido lineales y reactivos, hacia modelos más adaptativos y proactivos (Batty, 2021).

En segundo lugar, el cambio climático impone un nivel de incertidumbre que desafía los marcos convencionales de planificación territorial. La variabilidad climática y la ocurrencia más frecuente de eventos extremos requieren modelos capaces de simular múltiples escenarios y de identificar soluciones robustas bajo condiciones inciertas (Dos Santos et al., 2024). En este sentido, la IA aporta la capacidad de procesar y correlacionar grandes volúmenes de datos climáticos, socioeconómicos y territoriales para generar

diagnósticos y proyecciones más precisas, mejorando la capacidad de anticipación de las autoridades locales.

Desde el punto de vista de la equidad territorial, la integración de IA y análisis geoespacial ofrece ventajas para identificar desigualdades en la distribución de servicios, infraestructura y oportunidades urbanas. Herramientas como el análisis multivariante y el aprendizaje profundo permiten mapear patrones de exclusión o concentración de recursos que no siempre son evidentes a través de métodos estadísticos convencionales (Barbero et al., 2020). Esto posibilita diseñar intervenciones más focalizadas que contribuyan a reducir brechas y promover un desarrollo urbano inclusivo.

A nivel internacional, se han documentado casos exitosos de integración de IA en la gestión de movilidad, eficiencia energética, monitoreo ambiental y planificación de emergencias (Gerli et al., 2024). No obstante, la traslación de estas experiencias a contextos latinoamericanos exige adaptaciones significativas, dado que las condiciones institucionales, la disponibilidad de datos y las prioridades urbanas pueden diferir sustancialmente. En Ecuador, la planificación urbana enfrenta retos asociados a la fragmentación institucional, la carencia de sistemas integrados de información territorial y la limitada incorporación de tecnologías emergentes en los procesos de toma de decisiones.

Este capítulo se alinea con los objetivos planteados por organismos internacionales como ONU-Habitat y la OCDE, que enfatizan la necesidad de gobernanza digital para que las ciudades inteligentes no se limiten a la implementación de tecnología, sino que promuevan procesos participativos y regulaciones que garanticen la transparencia, la privacidad y la ética en el manejo de datos (Popelka et al., 2023). La gobernanza digital, entendida como el conjunto de mecanismos, políticas y procesos que regulan la interacción entre tecnología, datos y sociedad, es un componente central para asegurar que la aplicación de IA en el urbanismo se traduzca en beneficios tangibles para toda la población.

En términos metodológicos, la combinación de algoritmos metaheurísticos con análisis geoespacial representa un avance significativo respecto a enfoques tradicionales de modelado urbano. Mientras que los SIG permiten representar y analizar la dimensión espacial de los fenómenos urbanos, los algoritmos metaheurísticos, como optimización por enjambre de partículas

o algoritmos genéticos, ofrecen soluciones eficientes a problemas complejos con múltiples variables y restricciones, tales como la asignación óptima de uso del suelo o la localización de infraestructuras críticas en áreas de riesgo (Herath y Mittal, 2022).

Desde la perspectiva social, la integración de IA en la planificación urbana puede fortalecer la participación ciudadana mediante plataformas interactivas y visualizaciones accesibles que faciliten la comprensión de los escenarios y alternativas de planificación. Esto contribuye a democratizar el acceso a la información y a fomentar una cultura de corresponsabilidad en la gestión del territorio (Andrews et al., 2022). Sin embargo, también plantea retos en términos de brecha digital, pues la capacidad de la población para interactuar con estas herramientas depende de su acceso a dispositivos, conectividad y competencias digitales.

La justificación del presente estudio radica en la escasez de investigaciones que integren de forma sistemática la IA, el análisis geoespacial y los algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana ecuatoriana, especialmente en el contexto del cambio climático. Si bien existen estudios aislados sobre cada uno de estos componentes, su articulación en un marco metodológico unificado aún no se ha explorado ampliamente. Esta laguna de conocimiento limita la capacidad de las autoridades locales para tomar decisiones fundamentadas en evidencia y la implementación de soluciones adaptativas que respondan a escenarios de alta incertidumbre.

Por otro lado, se vincula con la posibilidad de transferir los resultados de este estudio a instrumentos concretos de planificación, tales como planes de ordenamiento territorial, estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, y programas de inversión en infraestructura resiliente. Al incorporar un enfoque basado en datos y optimización, estas herramientas pueden ganar en precisión, eficiencia y capacidad de respuesta frente a cambios imprevistos en el entorno.

En el plano ético, la investigación reconoce la necesidad de establecer salvaguardas que regulen el uso de datos personales y sensibles, así como de asegurar que los algoritmos utilizados sean auditables y explicables. Este aspecto es crucial para generar confianza en la población y en los actores institucionales, evitando la opacidad que a menudo se asocia con sistemas de IA. Además, se enfatiza la importancia de que la tecnología

sea un medio para alcanzar objetivos de bienestar colectivo y sostenibilidad, y no un fin en sí misma.

Fundamentación teórica

Inteligencia artificial y urbanismo: estado global

Durante las últimas dos décadas, la IA se ha establecido como un recurso clave en la investigación y práctica de la urbanística, propulsada por el incremento exponencial de la información urbana y la habilidad para procesarla en tiempo real (Batty, 2018). Su uso en el campo del urbanismo no solo conlleva una transformación metodológica, sino también una reevaluación de los paradigmas de gestión urbana, guiando las decisiones hacia un enfoque fundamentado en datos y pruebas (Kamrowska-Zaluska, 2021).

En el ámbito operativo, la inteligencia artificial facilita el análisis de patrones complejos en términos de movilidad, consumo de energía, emisiones de contaminantes y peligros climáticos. Instrumentos como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo han probado su eficacia en labores como la proyección de la demanda de transporte público (Gerli et al., 2024), la evaluación del consumo energético por barrio o la detección de corredores urbanos susceptibles a las olas de calor. Igualmente, se han empleado modelos basados en agentes para simular interacciones sociales y flujos de transporte, creando escenarios que guían la planificación territorial (Son et al., 2023).

Metaheurísticas en planificación urbana

En el espectro de herramientas algorítmicas, los métodos metaheurísticos sobresalen por su habilidad para solucionar problemas de optimización de múltiples objetivos en contextos complejos. Estos algoritmos, basados en procesos naturales, se han utilizado en el ámbito del urbanismo para:

- La distribución eficaz de usos del suelo (algoritmos genéticos).
- El emplazamiento ideal de equipos urbanos (optimización mediante el enjambre de partículas).
- La creación de redes de transporte y vías de servicio (comunidades de hormigas).

El mayor beneficio de las metaheurísticas en comparación con los algoritmos deterministas reside en su versatilidad para gestionar diversas limitaciones y ajustarse a situaciones de incertidumbre (Herath y Mittal, 2022). Específicamente, ante la crisis climática, posibilitan la exploración de soluciones urbanas resistentes cuando las condiciones y limitaciones varían de forma inesperada. Sin embargo, también presentan limitaciones como la elevada demanda computacional y la necesidad de calibración precisa (Sharma et al., 2022).

Investigaciones actuales evidencian la efectividad de estas técnicas en situaciones urbanas reales. Por ejemplo, en Brasil, se ha empleado la optimización multiobjetivo para equilibrar la densidad de población y la disponibilidad de equipamiento en proyectos de crecimiento urbano (Dos Santos et al., 2024). En Europa, se han utilizado colonias de hormigas para optimizar las rutas de transporte en zonas con sistemas de movilidad complejos (Malah y Bahi, 2022). Estos ejemplos demuestran la capacidad de trasladar soluciones creativas a otros entornos, siempre que se ajusten a las circunstancias locales.

Gobernanza algorítmica, ética y equidad

La capacidad de la inteligencia artificial en la planificación urbana se enfrenta a desafíos considerables vinculados con la gobernanza de los algoritmos y la ética de los datos. Gerli et al. (2024) sostienen que la falta de transparencia en la operación de ciertos modelos de aprendizaje profundo puede perpetuar prejuicios y producir decisiones poco claras. En urbes con gran desigualdad social, tal como sucede en muchas regiones de América Latina, este escenario podría fortalecer los patrones de exclusión si no se implementan sistemas de control y auditoría (Urban et al., 2021).

Otro factor crucial es la salvaguarda de la información personal y delicada. La utilización de datos obtenidos de sensores, redes sociales y registros administrativos exige asegurar la anonimización, el consentimiento informado y la capacidad de seguimiento (Thatcher y Dalton, 2018). Por otro lado, el peligro de supervisión excesiva o manipulación política de la información podría debilitar la legitimidad de los proyectos urbanos fundamentados en inteligencia artificial.

Las vivencias internacionales indican que los proyectos con mayor éxito en este ámbito son aquellos que fusionan la innovación tecnológica con procesos de participación inclusiva. Ejemplos como el Proyecto CouSCOUS en Helsinki, que fusiona la inteligencia artificial con mecanismos de equidad ambiental, demuestran que la tecnología necesita estar respaldada por sistemas de gobernanza equitativos y transparentes (Demmler et al., 2021).

Brechas en América Latina y Ecuador

En América Latina, la implementación de inteligencia artificial en el ámbito urbano todavía está en una fase inicial. Pese a las iniciativas piloto en Brasil, Colombia y Chile, todavía existen restricciones estructurales: fragmentación institucional, falta de datos interoperables y falta de inversión en infraestructura tecnológica (Gerli et al., 2024). Esto complica expandir soluciones fuera del contexto experimental.

En Ecuador, el reto es todavía más grande. De acuerdo con el INEC (2023) más del 63% de la población vive en zonas urbanas, lo que provoca presiones en aumento sobre la región (Senplades, 2017), se alerta que la rápida expansión urbana ha promovido asentamientos informales en áreas de riesgo, lo que incrementa la vulnerabilidad y la inequidad territorial. Pese a los avances en teledetección y modelización climática, aún persisten restricciones en la integración sistemática de inteligencia artificial, SIG y metaheurísticas en los instrumentos de ordenamiento territorial. Los obstáculos más significativos son la ausencia de datos abiertos e interoperables, la ausencia de marcos normativos definidos y las restricciones en las habilidades técnicas a escala municipal.

Tabla 4.1. *Aplicaciones de IA y metaheurísticas en planificación urbana*

<i>Técnica IA / Metaheurística</i>	<i>Aplicación urbana</i>	<i>Resultados reportados</i>	<i>Limitaciones</i>	<i>Referencias</i>
Deep learning	Proyección de cambios en uso de suelo	Alta precisión en predicción de patrones	Dependencia de datos satelitales de calidad	Son et al., 2023; Gerli et al., 2024
Modelos basados en agentes	Simulación de movilidad y dinámicas sociales	Identificación de patrones emergentes	Alto costo computacional	Herath y Mittal, 2022; Batty, 2018
Optimización por enjambre de partículas	Localización de equipamientos críticos	Resultados adaptativos en escenarios dinámicos	Sensible a parámetros iniciales	Malah y Bahi, 2022; Dos Santos et al., 2024
Colonia de hormigas	Optimización de transporte	Reducción de tiempos de viaje y congestión	Escalabilidad limitada en redes complejas	Barbero et al., 2020; Gerli et al., 2024

Fuente: elaboración propia.

La bibliografía muestra que la inteligencia artificial y las metaheurísticas poseen un enorme potencial para modificar la planificación urbana, al posibilitar diagnósticos más exactos, optimización de múltiples objetivos y simulación de situaciones complejas (Samsurijan et al., 2024).

No obstante, su uso se basa en elementos contextuales: disponibilidad de datos, gobernanza algorítmica y habilidad institucional. En Ecuador, la dificultad no es únicamente técnica, sino también política y social: establecer las condiciones para que estas herramientas se transformen en herramientas eficaces de planificación y adaptación al clima.

Materiales y métodos

Este capítulo se desarrolló a partir de una revisión sistemática de literatura, concebida como una estrategia rigurosa para identificar, analizar y sintetizar la evidencia científica y técnica más relevante sobre la integración de la inteligencia artificial, el análisis geoespacial y los algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana, con un enfoque particular en su relación con la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático. El propósito de esta metodología fue construir una base de conocimiento sólida que permitiera, por un lado, comprender las tendencias globales en la materia y, por otro, evaluar su transferibilidad al contexto ecuatoriano, donde la incorporación

de estas tecnologías aún presenta limitaciones relacionadas con la infraestructura de datos, los marcos regulatorios y las capacidades institucionales.

Para garantizar la exhaustividad y la calidad de la evidencia recopilada, el proceso metodológico se inspiró en las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptadas a la naturaleza interdisciplinaria del tema, que combina aportes del urbanismo, la ciencia de datos, la ingeniería de sistemas y la gobernanza territorial. La búsqueda de información se realizó en bases de datos científicas de reconocido prestigio internacional como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SpringerLink, complementada con la consulta de repositorios institucionales y documentos técnicos emitidos por organismos especializados en ciudades inteligentes y gobernanza digital, entre ellos ONU-Habitat y el Grupo de Observación Urbana e Inteligencia Artificial (GOUAI). La estrategia de búsqueda se diseñó de manera bilingüe, empleando palabras clave tanto en inglés como en español y combinando operadores booleanos para maximizar la pertinencia de los resultados. Entre los términos empleados se incluyeron “artificial intelligence”, “urban planning”, “geospatial analysis”, “meta-heuristic algorithms”, “smart cities”, “climate change adaptation”, “machine learning”, “urban governance”, “inteligencia artificial urbana” y “planificación territorial”.

La revisión abarcó un periodo de publicación comprendido entre 2018 y 2025, a fin de capturar los avances más recientes en la materia y reflejar la evolución de las técnicas y enfoques aplicados. Se establecieron criterios de inclusión claros: que los documentos fueran artículos científicos con revisión por pares, revisiones sistemáticas, estudios de caso o guías técnicas con aplicación directa al urbanismo; que estuvieran disponibles en texto completo; y que abordaran de manera explícita al menos una de las siguientes áreas: movilidad urbana, gestión ambiental, ordenamiento territorial o gobernanza urbana. Por el contrario, se excluyeron documentos duplicados, publicaciones sin arbitraje, trabajos puramente teóricos sin un vínculo operativo con la planificación urbana y estudios que, aunque relacionados con la inteligencia artificial, no incorporaran datos espaciales o no tuvieran un enfoque urbano definido.

En una primera fase de cribado, la búsqueda inicial arrojó un total de 123 documentos potencialmente relevantes. Estos fueron sometidos a una

revisión de títulos y resúmenes para descartar los que no cumplieran con los criterios de inclusión. Posteriormente, los textos completos de las publicaciones seleccionadas fueron evaluados con mayor detalle, lo que condujo a la conformación final de un corpus de 31 documentos que constituyeron la base de la revisión. Este conjunto incluyó trabajos de alcance global que analizan la implementación de la IA en múltiples contextos geográficos (McCarthy, 2022), estudios de caso centrados en aplicaciones específicas como la simulación de tráfico o la gestión de la calidad del aire (Dos Santos et al., 2024), así como guías y marcos conceptuales para la gobernanza algorítmica en entornos urbanos (Luque-Ayala y Marvin, 2020).

Una vez definida la muestra, cada documento fue examinado en su totalidad y sintetizado en una matriz de análisis diseñada para registrar de forma homogénea aspectos esenciales como autores, año de publicación, objetivos del estudio, contexto geográfico, tecnologías de IA utilizadas, metodología aplicada, resultados obtenidos, factores habilitadores y limitantes, y recomendaciones para su aplicación. Esta matriz permitió ordenar y codificar la información según categorías emergentes derivadas del contenido de las publicaciones, entre las que se incluyeron las herramientas y tecnologías más utilizadas (aprendizaje profundo, modelos basados en agentes, minería de datos multivariante, simulaciones de tráfico y modelos predictivos de uso del suelo), las áreas de aplicación predominantes (movilidad, medio ambiente, uso del suelo, resiliencia climática y servicios urbanos), los factores que facilitan o dificultan su adopción (disponibilidad y calidad de datos, infraestructura tecnológica, capacidades institucionales, marcos regulatorios, aceptación social) y las propuestas de gobernanza y escalabilidad más relevantes (políticas públicas, participación ciudadana digital, marcos éticos y de transparencia algorítmica) (Shi et al., 2022).

El análisis se llevó a cabo combinando un enfoque cualitativo y cuantitativo descriptivo. El componente cualitativo se centró en la identificación de patrones, narrativas y relaciones entre conceptos clave, mientras que el componente cuantitativo permitió medir la frecuencia de aparición de determinadas tecnologías, ámbitos de aplicación o barreras en los casos revisados. Esta doble aproximación facilitó no solo la comprensión de las tendencias actuales, sino también la comparación entre contextos internacionales y regionales, detectando elementos comunes y diferencias significativas.

Con el fin de reforzar la validez de la revisión, se aplicó un proceso de triangulación de fuentes, que consistió en contrastar los hallazgos de las revisiones sistemáticas de alcance global con estudios empíricos y con documentos normativos o estratégicos. Por ejemplo, las recomendaciones generales sobre sostenibilidad urbana derivadas de la literatura global (Othen- grafen et al., 2025), se verificaron frente a experiencias concretas como el proyecto CouSCOUS en Helsinki, centrado en la optimización de la calidad del aire y la equidad (Demmler et al., 2021), o iniciativas de gobernanza algorítmica documentadas por Popelka et al. (2023). Esta triangulación permitió evaluar la consistencia de los resultados y evitar sesgos derivados de enfoques metodológicos o contextos particulares.

La confiabilidad del análisis se aseguró mediante la aplicación uniforme de los criterios establecidos a todos los documentos revisados, así como a través del mantenimiento de un registro digital detallado que incluía tanto la matriz de análisis como los metadatos de cada fuente. Este registro constituye un insumo replicable que permitiría a otros investigadores reproducir el proceso y verificar los hallazgos.

Aunque el alcance de la revisión fue internacional, se incorporó un componente de análisis orientado a la aplicabilidad en el contexto ecuatoriano. Para ello, se evaluó en cada caso la viabilidad de transferencia de las soluciones y modelos, considerando algunas variables, como el nivel de infraestructura de datos existente, las capacidades técnicas e institucionales, los marcos regulatorios vigentes y la disposición social para la adopción de tecnologías emergentes. Este ejercicio de contextualización permitió identificar tanto barreras como oportunidades para el desarrollo de una agenda nacional de integración de la inteligencia artificial en la planificación urbana.

El enfoque metodológico adoptado posibilitó la construcción de una base de conocimiento amplia y estructurada, en la que convergen experiencias, metodologías y recomendaciones provenientes de distintas latitudes, y que sirven de soporte para el análisis crítico y la discusión que se presentan en las secciones posteriores. El carácter sistemático y riguroso de la revisión asegura que las conclusiones y recomendaciones formuladas no solo reflejen el estado del arte global, sino que también respondan a las particularidades y necesidades de planificación de Ecuador, garantizando así la relevancia y la aplicabilidad práctica de los resultados obtenidos.

Resultados y discusión

El estudio de los 31 estudios escogidos facilita la identificación de una serie de tendencias a nivel mundial, regional y nacional en relación con la utilización de inteligencia artificial, sistemas de información geográfica y algoritmos metaheurísticos en la planificación de ciudades. Estas tendencias no solo demuestran la variedad de métodos utilizados, sino también los retos estructurales que exigen su puesta en práctica.

A escala mundial, se nota un incremento exponencial en la investigación en inteligencia artificial relacionada con el urbanismo entre 2018 y 2025. Las investigaciones previamente mencionadas se enfocan en la predicción de tendencias de movilidad, la modelización del uso de energía, la administración de riesgos meteorológicos y la organización del uso del suelo. La implementación de métodos de aprendizaje profundo (*deep learning*) ha posibilitado incrementar notablemente la exactitud en la identificación de variaciones en la cobertura urbana a través de imágenes satelitales de alta resolución (Gerli et al., 2024). Además, se han utilizado modelos basados en agentes para simular dinámicas complejas como la relación entre el transporte público, el uso del suelo y el crecimiento poblacional, creando escenarios de futuro que funcionan como recurso para planes de desarrollo urbano (Son et al., 2023).

En el ámbito de las metaheurísticas, se detectó un grupo de usos repetitivos. Se han empleado algoritmos genéticos para la distribución ideal de usos del suelo en situaciones donde se necesita equilibrar la densidad de población y el acceso a servicios (Herath y Mittal, 2022). Se ha utilizado la optimización por enjambre de partículas en la ubicación de dispositivos estratégicos, como hospitales o estaciones de bomberos, incrementando la cobertura territorial y disminuyendo los tiempos de respuesta (Dos Santos et al., 2024). Las colonias de hormigas han demostrado su eficacia en la organización de redes de transporte urbano, ayudando a disminuir el atasco de vehículos en urbes densas (Malah y Bahi, 2022).

Un tema común en la literatura mundial es el debate acerca de la gobernanza algorítmica y la ética de los datos. Varios escritores indican que la opacidad de algunos modelos de inteligencia artificial puede perpetuar prejuicios ya existentes en las ciudades, especialmente en entornos de gran

desigualdad (Urban et al., 2021). Por lo tanto, las investigaciones subrayan la relevancia de asegurar sistemas de transparencia, auditoría y participación ciudadana en la implementación de estas tecnologías. Experimentos como el Proyecto CouSCOUS en Helsinki, que fusiona modelos algorítmicos con mecanismos de participación pública, demuestran que la validez de la planificación basada en inteligencia artificial se basa tanto en la calidad técnica como en la inclusión social (Demmler et al., 2021).

Para América Latina, los hallazgos muestran progresos iniciales, aunque todavía dispersos. En Brasil, los algoritmos de optimización multiobjetivo se han implementado para guiar la expansión urbana en urbes de tamaño medio, con el objetivo de balancear la densidad con el acceso a recursos tecnológicos (Dos Santos et al., 2024). En Colombia, la combinación de SIG e inteligencia artificial ha facilitado la optimización de la planificación de movilidad en Bogotá a través de modelos de predicción de congestión.

En Chile, ciertos municipios han iniciado el uso de información satelital y métodos de aprendizaje automático para supervisar las modificaciones en el uso del suelo en zonas periurbanas. No obstante, la bibliografía acuerda en que la región se topa con restricciones estructurales: escasa disponibilidad de datos abiertos, infraestructura tecnológica restringida, fragmentación institucional y poca inversión en investigación aplicada (Barbero et al., 2020; Gerli et al., 2024). Estas circunstancias obstaculizan la expansión de los proyectos piloto hacia políticas públicas sustentables y replicables.

En Ecuador, la revisión bibliográfica presenta un escenario más naciente. Pese a que la nación ha adquirido habilidades en teledetección y modelización climática —en particular en proyectos académicos y programas relacionados con riesgos naturales—, la inclusión de inteligencia artificial y metaheurísticas en los instrumentos de ordenamiento territorial es todavía limitada. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023) indica que más del 63% de los habitantes de Ecuador habita en zonas urbanas, lo que provoca un aumento en la presión sobre los servicios y el suelo. En cuanto a la Secretaría Nacional de Planificación (Senplades, 2017), esta señala que el rápido crecimiento urbano ha fomentado asentamientos informales en áreas de riesgo, aumentando la vulnerabilidad de los habitantes.

La pertinencia de las técnicas analizadas en el contexto de Ecuador debe interpretarse en tres dimensiones. La primera es tecnológica: aunque la

nación ha progresado en la utilización de SIG y sensores remotos, todavía persisten desigualdades en la infraestructura de datos interoperables y en las habilidades computacionales requeridas para la implementación de modelos sofisticados. La segunda es institucional: los gobiernos locales se encuentran con restricciones en recursos humanos y económicos, lo que complica la incorporación de algoritmos sofisticados en los procedimientos habituales de planificación. La tercera es normativa: aunque la legislación nacional reconoce la relevancia de la planificación territorial, aún no incluye de forma directa directrices para la administración de datos en masa ni para la gobernanza digital.

El análisis de los hallazgos permite reconocer que, pese a las desigualdades, hay oportunidades evidentes para Ecuador. El uso de teledetección para supervisar la expansión urbana es una tecnología de transferencia sencilla que puede incorporarse a los sistemas municipales con inversiones moderadas. Asimismo, el uso de la minería de datos en los registros administrativos —tales como el catastro, los permisos de edificación o las redes de servicios fundamentales— podría optimizar la eficacia en la distribución de recursos en la ciudad. En última instancia, los algoritmos de optimización multiobjetivo podrían implementarse en proyectos de prueba para equilibrar la densidad urbana y la resistencia ambiental en ciudades intermedias como Ibarra o Cuenca, donde los desafíos de crecimiento irregular son claros.

En lo que respecta a políticas públicas, los resultados indican que la implementación de inteligencia artificial y metaheurísticas en la planificación urbana no debe interpretarse solo como una innovación técnica, sino como un proceso de gobernanza digital que conecte tecnología, instituciones y ciudadanos. La bibliografía consultada indica que los proyectos con mayor éxito han sido los que fusionan soluciones algorítmicas con sistemas de participación, asegurando transparencia y legitimidad. Para Ecuador, esto significa progresar hacia marcos normativos que fomenten la interoperabilidad de datos, la capacitación de capacidades en gobiernos locales y la incorporación de mecanismos de auditoría social en la utilización de inteligencia artificial para la toma de decisiones en el territorio.

En resumen, los hallazgos de esta revisión muestran un área en crecimiento, con usos sólidos en escenarios internacionales, progresos emergentes en América Latina y un potencial considerable para Ecuador. El debate subraya

que el reto no es solo técnico, sino también político e institucional: establecer las condiciones para que la inteligencia artificial y los algoritmos metaheurísticos se transformen en instrumentos eficaces de planificación urbana resistente al cambio climático y comprometidos con la equidad territorial.

Conclusiones

Tabla 4.2. Resumen de resultados aplicaciones de IA y metaheurísticas en planificación urbana (2018-2025)

<i>Nivel</i>	<i>Técnicas destacadas</i>	<i>Aplicaciones urbanas</i>	<i>Resultados reportados</i>	<i>Limitaciones / desafíos</i>	<i>Referencias</i>
Global	<i>Deep learning</i> , modelos basados en agentes, algoritmos genéticos, enjambre de partículas, colonias de hormigas	Predicción de movilidad. Detección de cambios de uso de suelo. Planificación de redes de transporte. Optimización de equipamientos urbanos.	Alta precisión en predicciones. Simulación de congestión y tiempos de viaje. Mejor cobertura de servicios urbanos.	Alto costo computacional. Necesidad de calibraciones precisas. Riesgo de sesgos algorítmicos. Falta de transparencia de modelos.	Batty, 2018; Herath y Mittal, 2022; Son et al., 2023; Gerli et al., 2024; Dos Santos et al., 2024; Malah y Bahi, 2022
América Latina	Algoritmos multiobjetivos, minería de datos con SIG, teledetección satelital	Expansión urbana controlada (Brasil). Modelos predictivos de movilidad (Colombia). Monitoreo periurbano con IA (Chile).	Identificación de áreas de crecimiento. Mejora en planificación de transporte. Uso de datos satelitales en gestión urbana.	Baja disponibilidad de datos abiertos. Limitada infraestructura tecnológica. Escasa inversión en I+D. Fragmentación institucional.	Barbero et al., 2020; Dos Santos et al., 2024
Ecuador	Teledetección satelital, SIG básico, modelos climáticos	Monitoreo de expansión urbana. Evaluación de riesgos naturales. Planificación territorial en planes locales.	Datos disponibles para monitoreo climático. Potencial en ciudades intermedias.	Ausencia de interoperabilidad de datos. Brechas tecnológicas. Capacidades institucionales limitadas. Marco regulatorio sin lineamientos digitales.	INEC, 2023 Senplades, 2017

Fuente: elaboración propia.

La revisión sistemática realizada permite establecer un panorama amplio y fundamentado sobre el estado actual, las oportunidades y las limitaciones de la integración de la IA, el análisis geoespacial y los algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad climática.

Los hallazgos confirman que la IA se ha consolidado como un recurso estratégico en la gestión y planificación urbana (Gora, 2019), con aplicaciones que abarcan desde la optimización de la movilidad y el uso del suelo, hasta la gestión ambiental y la prevención de riesgos. Las técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, en combinación con los sistemas de información geográfica (SIG), permiten modelar dinámicas urbanas complejas, procesar grandes volúmenes de datos y generar diagnósticos y escenarios con un nivel de precisión y rapidez inalcanzable por métodos tradicionales (Rouhiainen, 2018).

La evidencia muestra que el uso de algoritmos metaheurísticos incrementa la capacidad de resolver problemas de optimización multiobjetivo en entornos urbanos, como la asignación eficiente de usos de suelo, la localización de infraestructuras críticas o el diseño de redes de transporte. Estos algoritmos, al ser flexibles y adaptativos, son especialmente valiosos en escenarios de incertidumbre derivados del cambio climático, donde las condiciones y restricciones pueden variar de forma no predecible (Barbero et al., 2020) como lo demuestra su aplicación en localización de equipamientos estratégicos en Brasil (Dos Santos et al., 2024).

La integración de IA en la planificación urbana no solo tiene un valor técnico, sino que plantea implicaciones directas para la equidad y la sostenibilidad. Herramientas basadas en análisis multivariante y minería de datos permiten identificar desigualdades espaciales en la distribución de servicios e infraestructura, facilitando la formulación de políticas más justas y orientadas a cerrar brechas territoriales. Esto es crucial en países como Ecuador, donde las desigualdades socioeconómicas se reflejan en patrones de segregación espacial y acceso desigual a recursos urbanos (Gerli et al., 2024) y donde la limitada interoperabilidad de datos y capacidades institucionales agravan el problema.

Sin embargo, la revisión también evidencia que la implementación de IA en contextos latinoamericanos y ecuatorianos enfrenta retos significati-

vos. En el plano técnico, persisten limitaciones en la disponibilidad, calidad e interoperabilidad de los datos, así como en la capacidad para entrenar modelos adaptados a realidades locales. En el plano institucional, la ausencia de políticas nacionales claras en materia de ciudades inteligentes y gobernanza digital dificulta la integración de estas tecnologías en los procesos formales de planificación. Y en el plano ético-social, preocupa la falta de marcos robustos que regulen la privacidad de los datos, la transparencia algorítmica y la mitigación de sesgos en los modelos (Urban et al., 2021).

Asimismo, se observa que el potencial transformador de la IA en el urbanismo solo se materializa cuando existe un marco de gobernanza digital inclusivo, capaz de alinear la innovación tecnológica con principios de transparencia, rendición de cuentas y participación ciudadana (Newton, 2022). La experiencia internacional muestra que los proyectos exitosos combinan datos abiertos, algoritmos auditables y procesos participativos que legitiman las decisiones y mejoran la aceptación social de las soluciones propuestas (Popelka et al., 2023).

Desde la perspectiva de la sostenibilidad y la adaptación climática, la IA y los SIG ofrecen herramientas potentes para anticipar escenarios de riesgo y diseñar intervenciones resilientes (Yao y Wang, 2020). Sin embargo, su efectividad depende de la integración con políticas públicas coherentes y de la capacidad de las instituciones para implementar las recomendaciones derivadas del análisis. Esto implica no solo disponer de la tecnología, sino también garantizar los recursos financieros, humanos y normativos para su aplicación sostenida.

En síntesis, este capítulo confirma la hipótesis planteada: la integración de inteligencia artificial, análisis geoespacial y algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana permite optimizar el uso del suelo, reducir la exposición a riesgos climáticos y mejorar la equidad territorial mediante decisiones basadas en evidencia y criterios de gobernanza digital (Lazar, 2025). No obstante, para que este potencial se materialice en el contexto ecuatoriano, es indispensable superar las brechas de datos, fortalecer las capacidades institucionales y establecer marcos regulatorios claros que garanticen la transparencia, la equidad y la participación ciudadana; sobre todo trabajar los lineamientos de políticas públicas identificados y sus prin-

cipales falencias como: datos interoperables, fortalecimiento institucional y gobernanza digital.

La revisión también evidencia que este es un campo en rápida evolución, lo que demanda esfuerzos continuos de investigación aplicada y experimentación en entornos locales. La creación de laboratorios urbanos y programas piloto puede ser una estrategia clave para probar soluciones, evaluar su impacto y escalar aquellas que demuestren viabilidad técnica y aceptación social.

Estos resultados aportan no solo a la literatura académica, sino también a la práctica profesional y la formulación de políticas públicas, ofreciendo un marco de referencia que puede adaptarse a distintas escalas, desde barrios y ciudades intermedias hasta áreas metropolitanas, y a diferentes ámbitos de intervención, desde la movilidad y el ambiente hasta la gestión de riesgos y la gobernanza urbana (Lartey y Law, 2025).

Recomendaciones

A partir de los hallazgos obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas para la integración efectiva de la inteligencia artificial (IA), el análisis geoespacial y los algoritmos metaheurísticos en la planificación urbana ecuatoriana:

- Desarrollar una política nacional de ciudades inteligentes y gobernanza digital: es prioritario establecer un marco normativo que defina estándares para la recolección, almacenamiento, intercambio y uso de datos urbanos, así como protocolos para la transparencia y la auditoría de algoritmos. Esta política debe contemplar lineamientos para la interoperabilidad entre sistemas y la protección de datos personales, garantizando que la innovación tecnológica esté alineada con los principios de equidad y derechos digitales (Maksoud, 2024).
- Fortalecer las capacidades institucionales y técnicas: se recomienda implementar programas de formación continua para funcionarios municipales, planificadores urbanos y técnicos en áreas como ciencia de datos, IA aplicada a SIG, y optimización metaheurística. Asimismo, es necesario invertir en infraestructura tecnológica, servidores, redes,

- sensores, que permita manejar datos en tiempo real y ejecutar modelos complejos de manera eficiente (Galceran-Vercher y Vidal, 2024).
- Fomentar la generación y apertura de datos urbanos: la creación de repositorios de datos abiertos, con actualizaciones periódicas y formatos estandarizados, permitirá mejorar la calidad de los modelos y facilitar su reutilización por distintos actores. Este enfoque también promueve la transparencia y la colaboración entre academia, sector privado y sociedad civil.
 - Implementar proyectos piloto y laboratorios urbanos: se sugiere iniciar con intervenciones a escala piloto en ciudades intermedias, donde las condiciones permiten experimentar y ajustar soluciones antes de escalarlas a nivel metropolitano. Estos laboratorios pueden centrarse en problemáticas prioritarias como movilidad, gestión ambiental y reducción de riesgos climáticos, generando evidencia sobre la efectividad y la viabilidad de las herramientas propuestas (Zare et al., 2024).
 - Garantizar la participación ciudadana y la inclusión digital: la adopción de plataformas interactivas y visualizaciones accesibles facilitará que la ciudadanía conozca y participe en las decisiones urbanas basadas en IA. Paralelamente, deben implementarse programas de alfabetización digital para reducir la brecha tecnológica y asegurar que los beneficios lleguen a todos los sectores sociales.
 - Promover la investigación aplicada y la cooperación internacional: es recomendable establecer alianzas con universidades, centros de investigación y organismos internacionales para acceder a conocimiento especializado, financiamiento y buenas prácticas. La cooperación técnica puede acelerar la transferencia de tecnologías y metodologías adaptadas al contexto local.

Estas recomendaciones buscan no solo viabilizar la aplicación técnica de la IA y los SIG en la planificación urbana, sino también garantizar que su implementación responda a criterios de sostenibilidad, equidad y resiliencia. La integración de estas tecnologías, acompañada de un marco institucional sólido y de participación de la ciudadanía, tiene el potencial de transformar la forma en que se planifican y gestionan las ciudades frente a los desafíos del siglo XXI (Samsurijan et al., 2024).

Referencias

- Andrews, C., Cooke, K., Gomez, A., Hurtado, P., Sanchez, T., Shah, S., y Wright, N. (2022). *AI in Planning Opportunities and Challenges and How to Prepare Conclusions and Recommendations from APA's "AI in Planning" Foresight Community*. American Planning Association National.
- Barbero, D., Chévez, P., Discoli, C., y Martini, I. (2020). Utilización de software de Big Data en la arquitectura y la planificación urbano-territorial. *Cuaderno Urbano*, 29(29), 99-118. <https://doi.org/10.30972/crn.29294624>
- Batty, M. (2018). Artificial Intelligence and Smart Cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45, 3-6. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/2399808317751169>
- Batty, M. (2021). The Digital Transformation of Planning. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48, 593-597. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/23998083211016122>
- Demmler, J., Gosztonyi, Á., Du, Y., Leinonen, M., Ruotsalainen, L., Järvi, L., y Ala-Mantila, S. (2021). A novel approach of creating sustainable urban planning solutions that optimise the local air quality and environmental equity in Helsinki, Finland: The CouSCOUS study protocol. *PLoS ONE*, 16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260009>
- Dos Santos, S., Vilela, J., Carvalho, T., Rocha, T., Candido, T., Bezerra, V., y Silva, D. (2024). Artificial Intelligence in Sustainable Smart Cities: A Systematic Study on Applications, Benefits, Challenges, and Solutions. *International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS - Proceedings*, 1, 644-655. <https://doi.org/10.5220/0012617900003690>
- Galceran-Vercher, M., y Vidal, A. (2024). Mapeo de la inteligencia artificial urbana: primer informe del Atlas de la Inteligencia Artificial Urbana del GOUAI.
- Gerli, P., Mora, L., Neves Da Rocha, F., y Nguyen, H. (2024). *World Smart Cities Outlook 2024*. ESCAP. <https://unhabitat.org/world-smart-cities-outlook-2024>
- Gora, P. (2019). Designing urban areas using traffic simulations, artificial intelligence and acquiring feedback from stakeholders. *Transportation Research Procedia*, 41, 532-534. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.089>
- Herath, H. M. K. K. M. B., y Mittal, M. (2022). Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100076>
- INEC. (2023). Ecuador creció en 2.5 millones de personas entre 2010 y 2022. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/ecuador-crecio-en-2-5-millones-de-personas-entre-2010-y-2022/>
- Kamrowska-Zaluska, D. (2021). Impact of AI-Based Tools and Urban Big Data Analytics on the Design and Planning of Cities. *Land*, 10(11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/land10111209>
- Lartey, D., y Law, K. M. Y. (2025). Artificial intelligence adoption in urban planning governance: A systematic review of advancements in decision-making, and policy making. *Landscape and Urban Planning*, 258. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105337>

- Lazar, S. (2025). Governing the Algorithmic City. *Philosophy & Public Affairs*, 53(2), 102-168. <https://doi.org/10.1111/papa.12279>
- Luque-Ayala, A., y Marvin, S. (2020). *Urban Operating Systems: Producing the Computational City*. The MIT Press.
- Maksoud, M. (2024). Inteligencia artificial y la reconstrucción urbana de Siria. *Cuaderno*, 220, 99-117.
- Malah, A., y Bahi, H. (2022). Integrated multivariate data analysis for Urban Sustainability Assessment, a case study of Casablanca city. *Sustainable Cities and Society*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104100>
- McCarthy, J. (2022). Artificial Intelligence, Logic, and Formalising Common Sense. *Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design* (pp. 71-90). Wiley Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119815075>
- Newton, D. (2022). Deep learning in urban analysis for health. *Artificial Intelligence in Urban Planning and Design: Technologies, Implementation, and Impacts* (pp. 121-138). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823941-4.00018-4>
- Othengrafen, F., Sievers, L., y Reinecke, E. (2025). From Vision to Reality: The Use of Artificial Intelligence in Different Urban Planning Phases. *Urban Planning*, 10. <https://doi.org/10.17645/up.8576>
- Popelka, S., Narvaez, L., y Beroche, H. (2023). *Urban AI Guide*.
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf
- Samsurijan, M., Ebekozen, A., Nor Azazi, N., Shaed, M., y Radin, R. (2024). Artificial intelligence in urban services in Malaysia: a review. *PSU Research Review*, 8(2), 321-340. <https://doi.org/10.1108/PRR-07-2021-0034>
- Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. www.planificacion.gob.ec
- Sharma, C., Batra, I., Sharma, S., Malik, A., Sanwar, A., y Ra, I. (2022). Predicting Trends and Research Patterns of Smart Cities: A Semi-Automatic Review Using Latent Dirichlet Allocation (LDA). *IEEE Access*, 10, 121080-121095. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3214310>
- Shi, W., Yu, Y., Liu, Z., Chen, R., y Chen, L. (2022). A deep-learning approach for modelling pedestrian movement uncertainty in large-scale indoor areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103065>
- Son, T., Weedon, Z., Yigitcanlar, T., Sanchez, T., Corchado, J., y Mehmood, R. (2023). Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 94. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104562>
- Thatcher, J., y Dalton, C. (2018). Data provenance and possibility: thoughts towards a provenance schema for urban data. *Data and the City* (pp. 72-84). Routledge Taylor and Francis Group. www.routledge.com
- Urban, A., Hick, D., Noennig, J., y Kammer, D. (2021). With a Little Help from AI: Pros

- and Cons of AI in Urban Planning and Participation. *International Journal of Urban Planning and Smart Cities*, 2(2), 19-33. <https://doi.org/10.4018/IJUPSC.2021070102>
- Yao, F., y Wang, Y. (2020). Tracking urban geo-topics based on dynamic topic model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.compen-vurbsys.2019.101419>
- Yigitcanlar, T., y Cugurullo, F. (2020). The sustainability of artificial intelligence: an urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su12208548>
- Zare, P., Leao, S., Gudes, O., y Pettit, C. (2024). A simple agent-based model for planning for bicycling: Simulation of bicyclists' movements in urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.compen-vurbsys.2023.102051>