Walkability Assessment Methods in Sustainable Urban Environments: Trends, Challenges, and Future Directions. A Systematic Literature Review

Cesar Emmanuel Cubas Ramirez[1]; Claudia Carolina Sanchez Ruesta[2]; Carlos Eduardo Zulueta Cueva[3]; David Noel Choquehuanca Alonso[4]
[1,4]Universidad Nacional de Piura, Perú, *ccubasr@unp.edu.pe, dnchoquehuancaa@unp.edu.pe*
[2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *c28091@utp.edu.pe*
[3]Universidad Privada Antenor Orrego, Perú, *czuluetac1@upao.edu.pe*

Abstract– ***The concept of walkability is fundamental to sustainable urban mobility, from the perspectives of both urban planning and healthy cities. This study conducted a systematic review of methodologies used to assess walkability, following PRISMA 2020 guidelines; 294 records were identified in the Scopus database, and following the selection process, 30 studies were included for qualitative synthesis. The results reveal a transition from traditional indices based solely on built-environment characteristics toward hybrid processes combining Geographic Information Systems, multi-criteria evaluation models, street-level imagery, and artificial intelligence. Furthermore, a high degree of heterogeneity regarding indicators and assessment procedures is evident; this article contributes by proposing a classification of methodologies into six categories, offering concepts for future research and for the development of more standardized and reproducible tools for urban walkability.***

Keywords-- ***Walkability; urban mobility; Geographic Information Systems; artificial intelligence; urban planning.***

Métodos de evaluación de la caminabilidad en entornos urbanos sostenibles: Tendencias, desafíos y perspectivas futuras. Una revisión sistemática de la literatura

Cesar Emmanuel Cubas Ramirez[1]; Claudia Carolina Sanchez Ruesta[2]; Carlos Eduardo Zulueta Cueva[3]; David Noel Choquehuanca Alonso[4]
[1,4]Universidad Nacional de Piura, Perú, *ccubasr@unp.edu.pe, dnchoquehuancaa@unp.edu.pe*
[2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *c28091@utp.edu.pe*
[3]Universidad Privada Antenor Orrego, Perú, *czuluetac1@upao.edu.pe*

Resumen– ***El concepto de caminabilidad es fundamental para la movilidad urbana sostenible tanto desde la perspectiva de la planificación urbana como de las ciudades saludables. Este estudio realizó una revisión sistemática de las metodologías utilizadas para evaluar la caminabilidad, siguiendo las directrices PRISMA 2020; donde se identificaron 294 registros en las bases de datos de scopus; tras el proceso de selección, se incluyeron 30 estudios para la síntesis cualitativa. Los resultados muestran una transición desde índices tradicionales basados únicamente en características del entorno construido hacia procesos híbridos que combinan Sistemas de Información Geográfica, modelos de evaluación multicriterio, imágenes a nivel de calle y uso de la inteligencia artificial. Además, se reconoció una alta heterogeneidad de indicadores y procedimientos de evaluación; este artículo contribuye proponiendo una clasificación de metodologías en seis categorías, ofreciendo conceptos para futuras investigaciones y para desarrollar herramientas más estandarizadas y reproducibles para la caminabilidad urbana.***

Palabras clave-- ***Caminabilidad; movilidad urbana; Sistemas de Información Geográfica; inteligencia artificial; planificación urbana.***

I. Introducción

La urbanización moderna ha provocado cambios radicales en la forma y la dinámica de las ciudades, así como en la manera en que estas operan en relación con sus ecosistemas existentes. La expansión urbana, la zonificación por tipos de usos del suelo y un sistema vial diseñado para el desplazamiento en automóvil han alargado las distancias de los desplazamientos y han disminuido las oportunidades de realizar los trayectos cotidianos a pie. Para resolver este problema, la planificación urbana sostenible busca fomentar modelos de desarrollo compactos, de uso mixto y accesibles, ya que tienen la capacidad de minimizar la dependencia del transporte motorizado y de mejorar la calidad de vida de las personas. La evidencia sintetizada apunta a que la accesibilidad de los destinos, la mezcla de usos del suelo, la densidad urbana y la estructura de la red viaria influyen en los patrones de movilidad y en la elección de modos de transporte activo [1].

En este contexto, la caminabilidad, walkability, se ha consolidado como un concepto relevante para la arquitectura, el diseño urbano, la movilidad y la salud pública, de manera general, expresa el grado en que las características físicas, funcionales y perceptivas de un entorno favorecen desplazamientos peatonales seguros, cómodos, accesibles y atractivos. Sin embargo, no constituye una condición exclusivamente física ni puede reducirse a la existencia de aceras o a la proximidad entre puntos de origen y destino, la caminabilidad comprende dimensiones relacionadas con la conectividad, la diversidad de actividades, la seguridad vial, la calidad del espacio público, el confort ambiental, la legibilidad urbana y la experiencia del peatón [2]. Por esta razón, debe entenderse como una cualidad multidimensional y dependiente del contexto social, cultural y territorial en el que se evalúa.

Los entornos caminables contribuyen a la sostenibilidad urbana al facilitar los desplazamientos no motorizados, mejorar el acceso a servicios y fortalecer la interacción entre las personas y el espacio público; asimismo, pueden favorecer la actividad física cotidiana, la vitalidad urbana y la reducción de algunos impactos ambientales asociados al uso intensivo del automóvil. La caminabilidad se relaciona, por tanto, con la creación de ciudades inclusivas, saludables y resilientes, así como con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, orientado a lograr asentamientos humanos seguros y sostenibles, no obstante, sus efectos no son automáticos ni homogéneos. Las características que favorecen caminar en áreas centrales compactas pueden presentar resultados diferentes en sectores suburbanos, ciudades de baja densidad o contextos urbanos con elevados niveles de informalidad y desigualdad. Estudios comparativos han demostrado que una elevada densidad o conectividad espacial no siempre se traduce directamente en mejores resultados sociales, lo que confirma la necesidad de considerar las particularidades locales [3].

La evaluación de la caminabilidad ha evolucionado desde métodos basados principalmente en observaciones de campo y

encuestas de percepción hacia procedimientos cuantitativos apoyados en tecnologías geoespaciales. Los enfoques tradicionales incluyen auditorías peatonales, listas de verificación, cuestionarios y escalas de percepción mediante las cuales se examinan aspectos como el estado de las aceras, la seguridad de los cruces, la presencia de mobiliario urbano, la iluminación, la vegetación y el atractivo visual. Paralelamente, se han desarrollado índices objetivos que integran variables como densidad residencial, conectividad vial, mezcla de usos del suelo y accesibilidad a destinos [4]. Estos instrumentos permiten comparar sectores urbanos y localizar áreas con condiciones favorables o desfavorables para caminar.

Los sistemas de información geográfica (SIG) han ampliado la capacidad de analizar la caminabilidad en diferentes escalas territoriales. Mediante datos espaciales es posible medir distancias, áreas de servicio, densidades, diversidad funcional, proximidad al transporte público y configuración de redes peatonales; una revisión de 136 estudios mostró la relevancia alcanzada por los SIG en la evaluación objetiva de la caminabilidad barrial, aunque también identificó diferencias significativas en la selección de variables, unidades espaciales y procedimientos de ponderación [5]. Otros enfoques, como *Space Syntax*, estudian la relación entre la configuración de la red urbana, la accesibilidad espacial y los patrones potenciales de movimiento, proporcionando indicadores de integración, elección y conectividad aplicables al análisis peatonal [6].

Durante los últimos años, la disponibilidad de imágenes a nivel de calle, datos abiertos y técnicas de inteligencia artificial ha introducido nuevas posibilidades de evaluación. Las imágenes de Street View, combinadas con segmentación semántica, visión por computador y aprendizaje profundo, permiten reconocer automáticamente árboles, aceras, fachadas, vehículos, cielo visible y otros componentes del paisaje urbano. Estas técnicas facilitan análisis de gran cobertura y resolución, aproximándose a la perspectiva visual experimentada por el peatón. Kang *et al.* integraron imágenes de calle, datos colaborativos y redes neuronales para comparar la caminabilidad física y la percibida, evidenciando tanto el potencial como las limitaciones de estos métodos [7]; sin embargo, la precisión de los modelos depende de la cobertura y actualización de las imágenes, la calidad de los datos de entrenamiento y su capacidad de adaptación a ciudades con características morfológicas diferentes.

A pesar del creciente número de investigaciones, la evaluación de la caminabilidad continúa presentando fragmentación conceptual y metodológica. Algunos estudios privilegian variables objetivas del entorno construido, mientras que otros se concentran en las percepciones, actitudes y experiencias de los usuarios; la caminabilidad percibida puede influir en el comportamiento peatonal incluso cuando los indicadores físicos muestran condiciones favorables, por lo que ambas dimensiones deben analizarse de manera complementaria [8]; además, persisten diferencias en las escalas de estudio, los indicadores seleccionados, los sistemas de ponderación y la validación de los resultados. Estas variaciones dificultan la comparación entre ciudades y la formulación de criterios transferibles para el diseño y la planificación urbana.

Las revisiones existentes han demostrado el crecimiento de este campo y la diversidad de métodos empleados, pero también han identificado vacíos relacionados con la integración entre indicadores macroescalares, condiciones microescalares, percepción ciudadana y tecnologías emergentes [5], [8].

Por lo tanto, es importante organizar de manera sistemática la evidencia disponible sobre cómo se evalúa hoy la caminabilidad (qué dimensiones se priorizan y cuáles son las principales limitaciones en términos metodológicos). Por consiguiente, el propósito de este estudio fue realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre métodos de evaluación de la caminabilidad en entornos urbanos sostenibles, informando enfoques, indicadores, escalas de aplicación, tendencias y desafíos, así como futuras líneas de investigación, los resultados buscan proporcionar una base conceptual y operativa para arquitectos, urbanistas, investigadores y responsables de políticas públicas interesados en promover entornos urbanos más accesibles, inclusivos y orientados al peatón.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de la investigación

La presente investigación corresponde a una revisión sistemática de la literatura, desarrollada conforme a las directrices de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), ampliamente utilizada para garantizar la transparencia, reproducibilidad y rigurosidad en los procesos de identificación, selección y síntesis de evidencia científica [10].

El objetivo de la revisión fue identificar, analizar y sintetizar las metodologías utilizadas para evaluar la caminabilidad en entornos urbanos, considerando el desarrollo de nuevos índices, herramientas, modelos computacionales, marcos metodológicos y procedimientos de validación publicados en la literatura científica internacional.

La revisión se enfocó exclusivamente en estudios metodológicos relacionados con la evaluación de la caminabilidad, excluyendo investigaciones cuyo objetivo principal fuera analizar efectos sobre salud pública, actividad física, movilidad, seguridad vial u otras variables donde la caminabilidad únicamente se empleará como variable independiente.

B. Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó entre mayo y julio de 2026 en las bases de datos internacionales de alta calidad científica de Scopus.

Se definió como periodo de búsqueda las publicaciones comprendidas entre 2020 y 2026, debido al crecimiento exponencial de investigaciones sobre caminabilidad durante la última década y al surgimiento reciente de metodologías

basadas en inteligencia artificial, visión por computador, imágenes Street View, sistemas de información geográfica (SIG), aprendizaje automático y análisis espacial multicriterio.

La estrategia de búsqueda combinó términos libres y operadores booleanos: ("walkability" OR "walkability assessment" OR "walkability index" OR "walkability measurement" OR "walkability model" OR "walkability evaluation" OR "walkability tool") AND (method* OR index* OR framework OR GIS OR machine learning).

Adicionalmente se aplicaron filtros para recuperar únicamente: Artículos científicos revisados por pares, investigaciones relacionadas con planificación urbana, transporte, geografía, arquitectura y salud urbana; y documentos con resumen y metadatos completos. Como resultado de esta etapa se identificaron 294 registros bibliográficos.

C. Proceso de selección de estudios

La selección de los estudios se realizó en cuatro etapas consecutivas siguiendo el diagrama PRISMA 2020.

Eliminación de duplicados: Los registros recuperados fueron exportados a una hoja de cálculo para identificar duplicados mediante comparación de DOI, Título, autores, año de publicación; donde se eliminaron 52 registros duplicados, obteniéndose 242 estudios únicos.

Cribado por título y resumen: Los 242 registros restantes fueron evaluados mediante la lectura de títulos y resúmenes. Durante esta fase se excluyeron estudios que no abordaban caminabilidad, eran revisiones narrativas, trataban exclusivamente actividad física, analizaban salud pública sin desarrollar metodologías, estudiaban transporte sin evaluación de caminabilidad. Como resultado fueron excluidos 50 registros, permaneciendo 192 artículos para búsqueda del texto completo.

Recuperación del texto completo: Se procedió a localizar los textos completos mediante acceso institucional, editoriales científicas, repositorios Open Access, DOI oficiales, versiones autorizadas por los autores; donde no fue posible recuperar 84 artículos, debido principalmente a restricciones de acceso por suscripción o ausencia de versiones disponibles.

Finalmente se obtuvieron 108 textos completos, los cuales fueron sometidos a evaluación detallada.

D. Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios que: Desarrollaban un nuevo índice de caminabilidad, proponían una nueva metodología de evaluación, optaban herramientas previamente existentes, validaban índices mediante procedimientos estadísticos, nuevas variables o dimensiones para evaluar caminabilidad, desarrollaban modelos SIG, utilizaban inteligencia artificial, empleaban aprendizaje automático, proponían modelos multicriterio, desarrollaban auditorías automáticas mediante Street View, proponían herramientas computacionales para evaluar caminabilidad.

Se excluyeron estudios que: Utilizaron índices de caminabilidad únicamente como variable independiente, analizaron obesidad, diabetes, hipertensión, mortalidad, actividad física u otros resultados sanitarios, evaluaron únicamente comportamiento peatonal, estudiaron movilidad sin desarrollar herramientas metodológicas, correspondían a revisiones bibliográficas, no disponían del texto completo.

E. Evaluación metodológica de los estudios

La revisión no se limitó a verificar la temática de los artículos, sino que se realizó un análisis crítico de la calidad metodológica. Cada estudio fue evaluado considerando: Originalidad metodológica, tipo de metodología desarrollada, variables incorporadas, escala espacial, técnica de validación, replicabilidad, disponibilidad de datos, innovación tecnológica.

F. Extracción de datos

La extracción de información se efectuó mediante una matriz estandarizada que registró autor, año, país, objetivo, metodología, escala de aplicación, variables consideradas, herramientas analíticas y principales aportes. Posteriormente, la información fue organizada para facilitar la comparación sistemática entre los estudios incluidos.

G. Síntesis de la evidencia

La evidencia se sintetizó mediante un análisis narrativo y comparativo, agrupando los estudios según el enfoque metodológico, las tecnologías empleadas y las dimensiones de caminabilidad evaluadas. Esta estrategia permitió identificar tendencias, fortalezas, limitaciones y vacíos de investigación, proporcionando una visión integrada de la evolución reciente de las metodologías para la evaluación de la caminabilidad.

H. Resultados del proceso PRISMA

El proceso de selección de estudios se resume en la Figura 1. En total:294 registros fueron identificados en las bases de datos,52 registros duplicados fueron eliminados, 242 registros fueron sometidos a cribado por título y resumen,,50 registros fueron excluidos durante el cribado,192 artículos fueron buscados en texto completo, 84 textos completos no pudieron recuperarse por restricciones de acceso, 108 artículos fueron evaluados para elegibilidad mediante lectura completa, 78 estudios fueron excluidos por no cumplir los criterios metodológicos establecidos, 30 estudios fueron incluidos en la síntesis cualitativa final.

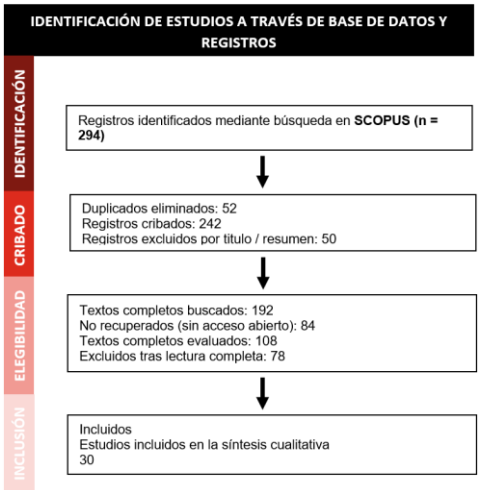


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

III. RESULTADOS

A. *Caracterización general de los estudios incluidos*

El marco del protocolo PRISMA 2020 permitió organizar un enfoque sistemático para buscar, seleccionar y evaluar críticamente literatura científica sobre métodos para evaluar la transitabilidad peatonal (walkability). En la primera búsqueda se encontraron un total de 294 registros en seis bases de datos internacionales; inicialmente se identificaron 294 registros procedentes de seis bases de datos internacionales. Tras la eliminación de 52 registros duplicados, se sometieron 242 estudios al proceso de cribado por título y resumen. Posteriormente, 192 artículos fueron considerados potencialmente elegibles y se inició la búsqueda de los textos completos. Debido a restricciones de acceso y a la ausencia de versiones disponibles, 84 artículos no pudieron recuperarse. Finalmente, 108 estudios fueron evaluados mediante lectura completa y 30 artículos cumplieron los criterios de inclusión establecidos para la síntesis cualitativa [10].

El análisis bibliométrico muestra que las investigaciones incluidas fueron publicadas entre 2020 y 2026, lo que refleja el crecimiento sostenido del interés por desarrollar herramientas más precisas para evaluar el entorno peatonal. Durante este periodo se observa una transición desde metodologías basadas en indicadores tradicionales del entorno construido hacia enfoques que integran análisis espacial, modelos multicriterio, imágenes a nivel de calle y técnicas de inteligencia artificial [11]–[14].

Desde el punto de vista temático, los artículos abarcan diferentes escalas de análisis, incluyendo segmentos de calle, barrios, distritos urbanos y áreas metropolitanas; asimismo, varias metodologías fueron desarrolladas para contextos específicos, como centros urbanos consolidados, corredores comerciales, áreas residenciales, sistemas de transporte público y entornos dirigidos a personas adultas mayores o con discapacidad [15], [16].

En cuanto al enfoque metodológico, los estudios presentan una elevada diversidad. La mayoría propone nuevos índices de caminabilidad o adapta herramientas existentes mediante la incorporación de variables relacionadas con accesibilidad, infraestructura peatonal, percepción urbana y calidad ambiental. Otros trabajos validan metodologías utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), procesos de decisión multicriterio, imágenes Street View o algoritmos de aprendizaje automático, ampliando las posibilidades de aplicación de estas herramientas en distintos contextos urbanos [17], [18].

La diversidad de enfoques evidencia que la caminabilidad es un fenómeno multidimensional cuya evaluación requiere integrar componentes físicos, funcionales, ambientales y perceptuales. Aunque las metodologías presentan diferencias en la selección de variables y procedimientos de validación, todas buscan proporcionar indicadores que apoyen la planificación urbana, la movilidad activa y el diseño de espacios públicos más accesibles.

B. *Evolución temporal de las publicaciones*

El análisis temporal de los 30 estudios incluidos indica que, durante el periodo comprendido entre 2020 y 2026, hubo un aumento gradual de la investigación sobre metodologías para evaluar la transitabilidad a pie. Mientras que los estudios iniciales se limitaban a la creación de índices basados en características tradicionales del entorno construido, en los últimos años se ha observado una diversificación en los enfoques metodológicos con avances relacionados con tecnologías geoespaciales, modelos multicriterio e inteligencia artificial [19]–[22].

Entre 2020 y 2022, las publicaciones se concentraron principalmente en la construcción y adaptación de índices compuestos de caminabilidad, utilizando variables relacionadas con densidad residencial, mezcla de usos del suelo, conectividad vial y proximidad a equipamientos urbanos; estos trabajos establecieron las bases metodológicas para cuantificar la accesibilidad peatonal mediante indicadores sintéticos comparables entre diferentes áreas urbanas [19].

A partir de 2023 se observa una ampliación de los enfoques de evaluación mediante la incorporación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de análisis de redes; estas herramientas permitieron representar con mayor precisión la estructura espacial del entorno urbano, incorporando variables como continuidad de la red peatonal, accesibilidad a servicios, densidad de intersecciones y características topográficas [20]. Paralelamente, comenzaron a desarrollarse metodologías orientadas a grupos específicos de población, particularmente adultos mayores y personas con discapacidad, incorporando criterios de accesibilidad universal y seguridad peatonal [21].

El mayor crecimiento se registra entre 2025 y 2026, periodo en el que se concentra más de la mitad de los estudios incluidos; durante esta etapa se identifican metodologías que integran imágenes de nivel de calle, plataformas de datos abiertos, aprendizaje automático y técnicas de visión por computador para dautomatizar la evaluación de atributos urbanos; asimismo, se incrementa el uso de modelos multicriterio, como AHP, FAHP y PROMETHEE, para asignar ponderaciones a los indicadores y mejorar la capacidad de adaptación de los índices a diferentes contextos urbanos [22]–[25].

Otra característica de este periodo es el desarrollo de metodologías híbridas que combinan información geoespacial, percepción ciudadana y análisis automatizado del entorno construido; estas propuestas buscan superar las limitaciones de los índices convencionales mediante la integración de múltiples fuentes de datos y procedimientos de validación más robustos; entre las innovaciones recientes destacan la utilización de Google Street View para auditorías remotas, la aplicación de algoritmos de segmentación semántica para identificar elementos del paisaje urbano y el empleo de inteligencia artificial para automatizar la extracción de indicadores de caminabilidad [24], [25].

La evolución temporal también refleja un cambio en la escala de análisis. Mientras los primeros estudios evaluaban

principalmente barrios o zonas censales, las metodologías recientes permiten analizar segmentos individuales de calle y redes peatonales completas, mejorando la resolución espacial de los diagnósticos y facilitando su aplicación en procesos de planificación urbana.

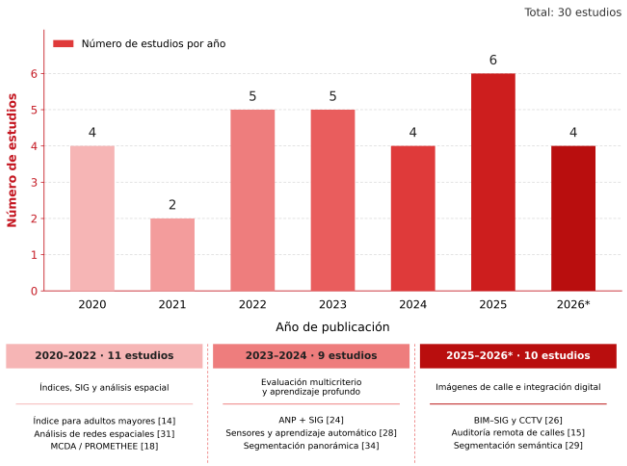


Fig. 2. Evolución temporal de las metodologías de evaluación de la caminabilidad (2020–2026).

C. Distribución geográfica y contexto de aplicación

Los 30 estudios incluidos muestran una amplia distribución geográfica, lo que refleja el creciente interés internacional por desarrollar metodologías para evaluar la caminabilidad en diferentes contextos urbanos; las investigaciones fueron realizadas principalmente en Asia, Europa y América, mientras que África y Oceanía están escasamente representadas. Esta distribución pone de manifiesto que la producción científica continúa centrada en regiones con mayor disponibilidad de datos geoespaciales y recursos tecnológicos para el análisis del entorno urbano. [26]–[29].

Asia constituye la región con mayor número de estudios metodológicos incluidos en la revisión. Países como China, Malasia, Singapur, Corea del Sur e India desarrollaron metodologías orientadas a evaluar la caminabilidad en corredores comerciales, barrios residenciales y sistemas de transporte público. En estas investigaciones predominan enfoques que integran Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes de nivel de calle, modelos multicriterio y herramientas de inteligencia artificial para caracterizar la accesibilidad y la calidad del entorno peatonal [26], [27].

En Europa se identificó un importante desarrollo de metodologías basadas en datos abiertos y plataformas geoespaciales. Los estudios realizados en Portugal, Austria, Italia, Países Bajos y otros países europeos incorporan redes peatonales, análisis espacial y modelos multicriterio para construir índices adaptables a diferentes ciudades. Asimismo, se observa una mayor utilización de herramientas de código abierto que favorecen la reproducibilidad y la transferencia metodológica entre distintos contextos territoriales [28].

Las investigaciones desarrolladas en América muestran una mayor diversidad temática. Además de metodologías dirigidas a la evaluación de la infraestructura peatonal, se identifican propuestas orientadas a grupos específicos de población, como personas adultas mayores y usuarios del transporte público. En varios casos, las metodologías fueron validadas mediante auditorías de campo, percepción ciudadana o comparación con indicadores previamente consolidados [29].

Respecto a la escala espacial, los estudios analizados evidencian una evolución hacia unidades de análisis cada vez más detalladas. Mientras que las primeras investigaciones evaluaban principalmente barrios o zonas administrativas, las metodologías recientes permiten analizar segmentos individuales de calle, intersecciones y redes peatonales completas. Este incremento en la resolución espacial ha sido posible gracias a la incorporación de SIG, imágenes Street View y modelos de análisis de redes, que permiten representar con mayor precisión las condiciones experimentadas por los peatones.

También se identificó una diversificación en los contextos de aplicación. Aunque la mayoría de las metodologías fueron desarrolladas para áreas urbanas consolidadas, algunos estudios se enfocan en centros históricos, corredores comerciales, barrios residenciales, áreas metropolitanas y entornos asociados al transporte público; asimismo, varias investigaciones diseñan herramientas específicas para evaluar la accesibilidad de adultos mayores, personas con discapacidad y otros grupos con necesidades particulares de movilidad.



Fig. 3. Distribución geográfica de los estudios incluidos.

D. Clasificación de las metodologías de evaluación de la caminabilidad

El análisis de los estudios incluidos permitió identificar una gran diversidad de metodologías para evaluar la caminabilidad; sin embargo, se pudo agrupar en seis categorías principales, de acuerdo con el enfoque metodológico, las fuentes de información empleadas y las técnicas de análisis utilizadas; esta tipología permite, por una parte, establecer comparaciones entre estudios y, por otra, constatar la evolución metodológica que ha tenido lugar en los últimos años.

La categoría con mayor representación corresponde a los índices compuestos de caminabilidad, presentes en aproximadamente un tercio de los estudios revisados. Estas metodologías integran múltiples indicadores urbanos en un único valor sintético que permite comparar las condiciones peatonales entre diferentes sectores urbanos, los índices identificados incorporan variables relacionadas con conectividad vial, mezcla de usos del suelo, densidad residencial, accesibilidad a servicios e infraestructura peatonal [14], [25], [30]. En los estudios más recientes, estos modelos incluyen además variables ambientales y de accesibilidad universal, ampliando el alcance de las evaluaciones.

La segunda categoría corresponde a las metodologías fundamentadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas herramientas utilizan información espacial georreferenciada para representar la estructura de la red peatonal, calcular distancias de recorrido, identificar áreas de influencia y estimar niveles de accesibilidad; en comparación con los índices tradicionales, los modelos basados en SIG ofrecen mayor resolución espacial y permiten analizar la caminabilidad desde el nivel de ciudad hasta segmentos individuales de calle [21], [27], [37].

Los modelos multicriterio constituyen la tercera categoría identificada. Estos enfoques utilizan procedimientos como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP), el Proceso Analítico en Red (ANP) y PROMETHEE para asignar ponderaciones a los indicadores de caminabilidad. La principal ventaja de estas metodologías radica en su capacidad para integrar información cuantitativa y cualitativa dentro de un mismo procedimiento de evaluación, permitiendo adaptar los índices a diferentes contextos urbanos y objetivos de análisis [18], [24], [30].

Otra categoría corresponde a las metodologías basadas en imágenes de nivel de calle y visión por computador. Estos estudios utilizan plataformas como Google Street View para capturar información visual del entorno urbano y aplicar algoritmos de segmentación semántica capaces de identificar elementos como vegetación, mobiliario urbano, fachadas, aceras, cruces peatonales y obstáculos. Esta aproximación reduce la necesidad de auditorías presenciales y facilita la evaluación de grandes extensiones urbanas mediante procedimientos automatizados [29], [34], [35].

Durante los últimos años también se observa un incremento en la utilización de inteligencia artificial y aprendizaje automático. Las metodologías incluidas en esta categoría emplean modelos de clasificación, aprendizaje profundo y análisis automatizado de imágenes para identificar patrones espaciales asociados a la caminabilidad. Aunque todavía representan una proporción menor dentro de la literatura revisada, estos enfoques muestran un rápido crecimiento y amplían las posibilidades de automatización del proceso de evaluación [28], [29], [34], [35].

Finalmente, la revisión permitió identificar un conjunto de metodologías híbridas, caracterizadas por la integración de múltiples herramientas dentro de un mismo procedimiento analítico. Estas propuestas combinan SIG, modelos multicriterio, imágenes Street View, datos abiertos y algoritmos de inteligencia artificial para representar simultáneamente diferentes dimensiones del entorno urbano. En comparación con los enfoques convencionales, los modelos híbridos ofrecen una evaluación más completa de la caminabilidad y presentan mayor potencial para su aplicación en procesos de planificación urbana [26], [34], [35].

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS IDENTIFICADAS EN LOS ESTUDIOS INCLUIDOS

Categoría metodológica	Características principales	Herramientas predominantes	Frecuencia*
Índices compuestos	Integración de indicadores urbanos en un índice sintético	Walkability Index, DWI, WIEH, SWI	Alta
Sistemas de Información Geográfica	Análisis espacial y evaluación de redes peatonales	ArcGIS, QGIS, Network Analysis	Alta
Modelos multicriterio	Ponderación de indicadores mediante técnicas de decisión	AHP, FAHP, ANP, PROMETHEE	Media
Street View y visión por computador	Evaluación automatizada mediante imágenes urbanas	Google Street View, segmentación semántica	Media
Inteligencia artificial	Automatización de la extracción y análisis de variables	Machine Learning, Deep Learning	Media
Metodologías híbridas	Integración de múltiples herramientas y fuentes de datos	SIG + IA + modelos multicriterio	Alta

E. Variables e indicadores utilizados para evaluar la caminabilidad

El análisis de los estudios incluidos permitió identificar una amplia variedad de variables empleadas para evaluar la caminabilidad; aunque la terminología y los procedimientos de cálculo difieren entre metodologías, fue posible agrupar los indicadores en ocho dimensiones principales, las cuales representan de forma consistente los componentes más utilizados en la literatura reciente.

La dimensión más recurrente corresponde a la infraestructura peatonal, presente en la mayoría de las metodologías analizadas; dentro de esta categoría se incluyen variables relacionadas con el ancho y continuidad de las aceras, calidad del pavimento, disponibilidad de rampas, cruces peatonales, iluminación, señalización y mobiliario urbano [15], [22]. En las metodologías más recientes, estos elementos son identificados mediante auditorías virtuales apoyadas en imágenes Street View y técnicas de visión por computador.

La segunda dimensión corresponde a la conectividad de la red vial, considerada un componente estructural de la caminabilidad; los estudios incorporan indicadores como densidad de intersecciones, longitud de manzanas, número de rutas alternativas y continuidad de la red peatonal; estas variables son calculadas principalmente mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de redes, permitiendo estimar la facilidad de desplazamiento entre diferentes puntos de la ciudad [17], [23], [31].

Otra dimensión ampliamente utilizada es la accesibilidad a destinos urbanos; las metodologías evalúan la proximidad a equipamientos educativos, centros de salud, áreas comerciales, espacios públicos, estaciones de transporte y otros servicios esenciales; la mayoría de los estudios emplea distancias de

recorrido sobre la red peatonal, sustituyendo las distancias euclidianas utilizadas en investigaciones anteriores, lo que incrementa la precisión del análisis [13], [24], [32].

La mezcla de usos del suelo constituye otro indicador recurrente; los estudios consideran la coexistencia de actividades residenciales, comerciales, recreativas e institucionales como un factor que favorece los desplazamientos a pie y reduce la necesidad de viajes motorizados; en algunos casos, esta variable se complementa con la distribución de puntos de interés (Points of Interest – POI), permitiendo representar de manera más detallada la oferta de servicios accesibles para el peatón [37].

La seguridad vial y personal también aparece de forma consistente en las metodologías revisadas; los indicadores más frecuentes incluyen volumen y velocidad del tránsito vehicular, número de carriles, calidad de los cruces, iluminación nocturna y percepción de seguridad; algunas investigaciones incorporan además variables relacionadas con vigilancia natural, actividad comercial y ocupación del espacio público, reconociendo que la percepción de seguridad influye directamente en la decisión de caminar [15].

Una dimensión que ha adquirido mayor relevancia durante los últimos años es la calidad ambiental; los estudios incluyen indicadores asociados a cobertura vegetal, confort térmico, sombra, contaminación atmosférica y ruido ambiental; la incorporación de estas variables refleja una visión más amplia de la caminabilidad, considerando que la experiencia peatonal depende también de las condiciones ambientales presentes durante el recorrido [39].

La revisión también identificó un incremento en la incorporación de variables perceptuales; diversas metodologías evalúan atributos relacionados con estética urbana, limpieza, atractivo visual, confort y calidad del paisaje; estas variables son obtenidas mediante encuestas, auditorías participativas o análisis automatizado de imágenes urbanas, ampliando la evaluación más allá de las características físicas del entorno [35], [36].

Finalmente, los estudios más recientes incorporan variables dinámicas derivadas de tecnologías digitales; entre ellas destacan información proveniente de sensores urbanos, plataformas de datos abiertos, dispositivos móviles e imágenes actualizadas del espacio público; estas fuentes permiten representar cambios temporales en el entorno urbano y constituyen una de las principales innovaciones identificadas durante la revisión [26], [28].

TABLA II
PRINCIPALES DIMENSIONES E INDICADORES UTILIZADOS EN LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA CAMINABILIDAD

Dimensión	Indicadores más frecuentes	Herramientas de obtención
Infraestructura peatonal	Aceras, pavimento, rampas, cruces, iluminación, mobiliario	Auditorías, Street View, SIG
Conectividad	Intersecciones, longitud de manzana, continuidad de la red	SIG, análisis de redes
Accesibilidad	Distancia a equipamientos, transporte público y servicios	SIG, Network Analysis
Mezcla de usos	Diversidad funcional, POI, densidad comercial	Catastros, OpenStreetMap
Seguridad	Tránsito vehicular, iluminación, percepción de seguridad	Auditorías, encuestas
Calidad ambiental	Vegetación, sombra, ruido, contaminación, confort térmico	Street View, sensores, SIG
Percepción urbana	Estética, limpieza, atractivo visual, confort	Encuestas, imágenes urbanas
Variables dinámicas	Sensores, datos abiertos, dispositivos móviles	IA, plataformas digitales

F. Síntesis comparativa de las metodologías de evaluación de la caminabilidad

La revisión sistemática permitió identificar una evolución progresiva de las metodologías utilizadas para evaluar la caminabilidad, tanto en la diversidad de variables incorporadas como en las herramientas empleadas para su análisis; aunque los treinta estudios incluidos presentan enfoques metodológicos diferentes, fue posible reconocer características comunes que permiten establecer una comparación objetiva entre las principales propuestas desarrolladas durante los últimos quince años.

Los índices compuestos continúan siendo el enfoque predominante debido a su facilidad de aplicación y a la posibilidad de sintetizar múltiples indicadores en una medida única de caminabilidad. Sin embargo, los estudios recientes muestran una tendencia hacia la incorporación de nuevas dimensiones, particularmente relacionadas con accesibilidad universal, calidad ambiental y percepción del entorno urbano [14], [15], [39].

Las metodologías basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) presentan una mayor capacidad para representar la estructura espacial de las redes peatonales y evaluar la accesibilidad a diferentes escalas territoriales. En comparación con los índices tradicionales, estos modelos permiten integrar información cartográfica, redes de transporte, puntos de interés y modelos digitales del terreno dentro de un mismo procedimiento analítico **[**21], [27], [37].

Por su parte, los modelos multicriterio aportan mayor flexibilidad para la construcción de índices de caminabilidad al incorporar procedimientos sistemáticos de ponderación de variables. La utilización de métodos como AHP, FAHP, ANP y PROMETHEE facilita la adaptación de los modelos a distintos contextos urbanos y mejora la transparencia en la asignación de pesos a los indicadores [18], [24], [30].

Las metodologías apoyadas en Street View, visión por computador e inteligencia artificial representan la línea de investigación más reciente identificada en la revisión. Estos enfoques permiten automatizar la extracción de información del entorno urbano mediante imágenes de nivel de calle y algoritmos de aprendizaje automático, reduciendo la necesidad de auditorías presenciales y ampliando la cobertura espacial de las evaluaciones [29], [34], [35].

Finalmente, los estudios más recientes convergen hacia metodologías híbridas, que integran información geoespacial, análisis multicriterio, percepción ciudadana e inteligencia artificial dentro de un mismo procedimiento metodológico. Estas propuestas representan el enfoque más completo identificado durante la revisión, al combinar información

objetiva y subjetiva para caracterizar las condiciones de caminabilidad del entorno urbano [26], [34], [35].

En conjunto, los resultados muestran que las metodologías actuales evolucionan hacia modelos cada vez más integrados, caracterizados por el uso combinado de múltiples fuentes de información y herramientas de análisis; esta tendencia constituye la base para el análisis crítico desarrollado en el capítulo siguiente

TABLA III
SÍNTESIS COMPARATIVA DE LAS METODOLOGÍAS IDENTIFICADAS

Enfoque metodológico	Escala de aplicación	Principales fortalezas	Principales limitaciones
Índices compuestos	Barrio – Ciudad	Fácil aplicación y comparación	Dependencia de la selección de indicadores
Sistemas de Información Geográfica	Calle – Ciudad	Alta precisión espacial	Requiere información georreferenciada actualizada
Modelos multicriterio	Barrio – Ciudad	Ponderación sistemática de variables	Dependencia del criterio de expertos
Street View y visión por computador	Segmento de calle	Automatización de auditorías	Calidad y disponibilidad de imágenes
Inteligencia artificial	Multiescala	Procesamiento automatizado de grandes volúmenes de datos	Requiere infraestructura computacional
Metodologías híbridas	Multiescala	Integración de múltiples dimensiones	Mayor complejidad metodológica

Los resultados obtenidos muestran que la investigación sobre metodologías de evaluación de la caminabilidad ha evolucionado desde enfoques basados en indicadores físicos hacia modelos integrados que incorporan análisis espacial, tecnologías digitales e inteligencia artificial. Asimismo, la revisión permitió identificar una tendencia creciente hacia metodologías híbridas capaces de combinar información procedente de diferentes fuentes y representar de manera más completa las condiciones del entorno peatonal.

En términos generales, los treinta estudios incluidos evidencian un proceso continuo de innovación metodológica orientado a mejorar la precisión, reproducibilidad y aplicabilidad de las evaluaciones de caminabilidad. No obstante, las diferencias observadas en la selección de variables, procedimientos de ponderación y estrategias de validación ponen de manifiesto la necesidad de analizar críticamente estos enfoques para identificar sus principales fortalezas, limitaciones y oportunidades de desarrollo.

De esta manera, el capítulo siguiente aborda la Discusión, donde los resultados de la revisión se interpretan de forma comparativa y se analizan sus implicaciones para la investigación y la planificación urbana.

IV. Discusión

Los estudios revisados sitúan la inteligencia artificial como un componente de la transformación digital de la evaluación de la caminabilidad: la visión por computador permite extraer características del entorno peatonal a partir de imágenes de calle [26], mientras su integración con indicadores urbanos vincula la microescala visual con la percepción de los peatones [35]. Esta combinación amplía las posibilidades de diagnóstico, aunque su transferencia requiere validación local y datos representativos.

Uno de los principales hallazgos de esta revisión es la consolidación de metodologías híbridas que integran diferentes fuentes de información dentro de un mismo procedimiento analítico; la combinación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes de nivel de calle, datos abiertos y algoritmos de aprendizaje automático permite superar varias limitaciones de los índices tradicionales, especialmente aquellas relacionadas con la representación de la microescala urbana y la actualización de la información [26], [34]; Este resultado coincide con la tendencia internacional hacia el uso de herramientas automatizadas para apoyar la planificación urbana basada en evidencia.

La clasificación realizada también muestra que la selección de variables continúa siendo uno de los principales desafíos metodológicos; aunque la mayoría de los estudios incorpora indicadores de infraestructura peatonal, conectividad y accesibilidad, existe una marcada heterogeneidad en la inclusión de variables ambientales, perceptuales y sociales, esta diversidad limita la comparabilidad entre investigaciones y dificulta la construcción de estándares internacionales para evaluar la caminabilidad; en consecuencia, la estandarización de indicadores constituye una de las principales necesidades identificadas durante la revisión.

Otro aspecto relevante es el cambio en la escala de análisis; las metodologías más recientes permiten evaluar segmentos individuales de calle mediante imágenes Street View, sensores urbanos y modelos de análisis espacial, superando las limitaciones de los índices agregados a nivel de barrio o ciudad; esta mayor resolución espacial mejora la identificación de puntos críticos y facilita la priorización de intervenciones urbanas orientadas a la movilidad activa y la accesibilidad universal [22], [26], [34].

La revisión también evidencia un incremento en la utilización de modelos multicriterio para la construcción de índices de caminabilidad; herramientas como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP) y otros métodos de apoyo a la decisión permiten asignar ponderaciones de manera más transparente que los enfoques basados en pesos uniformes, sin embargo, la dependencia del juicio de expertos y la ausencia de procedimientos homogéneos de validación continúan representando limitaciones para su aplicación en diferentes contextos urbanos [18], [24], [30].

En relación con las tecnologías emergentes, la inteligencia artificial permite identificar automáticamente elementos del entorno peatonal mediante imágenes de calle; sin embargo, su aplicación en distintos contextos exige considerar la representatividad de los datos de entrenamiento, pues Choi et al. [29] señalan limitaciones de los modelos preentrenados en paisajes urbanos del sudeste asiático, donde el comercio informal está insuficientemente representado en las categorías de clasificación; esto sugiere que, en ciudades con alta informalidad, podrían omitirse o clasificarse incorrectamente condiciones relevantes para la caminabilidad, por lo que se

recomienda validar las predicciones mediante imágenes y auditorías locales, adaptar las categorías al entorno y comprobar el desempeño en sectores con distintas condiciones urbanas, además de contar con imágenes actualizadas y datos geoespaciales de calidad.

Desde la perspectiva de la planificación urbana, los resultados muestran que las metodologías de evaluación de la caminabilidad han evolucionado desde herramientas de diagnóstico hacia instrumentos de apoyo para la toma de decisiones, la posibilidad de integrar información espacial, ambiental y perceptual permite identificar áreas prioritarias de intervención, evaluar escenarios de movilidad activa y orientar inversiones en infraestructura peatonal con mayor precisión; en este sentido, la caminabilidad se consolida como un indicador estratégico para promover ciudades más accesibles, saludables y sostenibles.

A partir de la evidencia sintetizada, se propone desarrollar marcos interoperables con validación estandarizada que faciliten la comparación entre ciudades; en América Latina, integrar SIG, imágenes de calle y auditorías locales ofrece oportunidades para evaluar la caminabilidad, como ilustra Cazumbá et al. [15] en Salvador, Brasil, aunque la antigüedad y cobertura de las imágenes limitan su aplicación; por ello, ante una disponibilidad desigual de infraestructura geoespacial, conviene complementar las herramientas digitales con trabajo de campo y cartografía participativa para incluir sectores insuficientemente documentados.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que la investigación sobre caminabilidad se encuentra en una etapa de transición hacia metodologías más automatizadas, integradas y adaptables; esta evolución ofrece nuevas oportunidades para fortalecer la evaluación del entorno peatonal y generar evidencia más robusta para la formulación de políticas públicas orientadas a la movilidad sostenible.

V. Conclusiones

Aplicando el protocolo PRISMA 2020, esta revisión sistemática facilitó la identificación y la síntesis de las metodologías más comunes desarrolladas para investigar la caminabilidad en entornos urbanos; se encontró una evolución metodológica desde índices basados en la construcción hacia enfoques integrados que combinan análisis espacial, modelos multicriterio, imágenes a nivel de calle e IA, según lo evidencian los análisis de los autores de treinta estudios seleccionados.

Los hallazgos indican que la evaluación de la caminabilidad ya no depende únicamente de medidas físicas, sino que incorpora progresivamente dimensiones relacionadas con la accesibilidad, el entorno y la percepción urbana en su concepto central, que van desde nuevas métricas desarrolladas en estudios de modelización hasta el uso de métodos de análisis automático; de manera similar, las tendencias identificadas mostraron un uso creciente de enfoques híbridos que combinan datos abiertos de Sistemas de Información Geográfica SIG, auditorías virtuales y métodos de aprendizaje automático para aumentar la resolución espacial y la comprensión del entorno peatonal.

No obstante, la revisión evidenció una importante heterogeneidad en la selección de indicadores, los procedimientos de ponderación y las estrategias de validación utilizadas por los diferentes estudios; esta diversidad metodológica limita la comparabilidad entre investigaciones y pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia marcos de evaluación más estandarizados, reproducibles y adaptables a distintos contextos urbanos.

Como principal aporte de esta investigación, se propone una clasificación integradora de las metodologías de evaluación de la caminabilidad en seis categorías: índices compuestos, Sistemas de Información Geográfica, modelos multicriterio, metodologías basadas en imágenes de nivel de calle, inteligencia artificial y modelos híbridos. Esta clasificación facilita la comprensión de la evolución del campo y proporciona una base conceptual para el desarrollo de futuras herramientas de evaluación.

Los hallazgos revelan la capacidad de estas metodologías para apoyar la planificación urbana, la movilidad activa y las políticas públicas orientadas a lograr una mejor accesibilidad y a mejorar las condiciones del espacio público desde una perspectiva aplicada; la combinación de la creciente disponibilidad y accesibilidad de las tecnologías digitales con fuentes de información geoespacial abre posibilidades renovadas para la implementación de sistemas de monitoreo continuo, generando evidencia objetiva para respaldar la toma de decisiones.

Finalmente, se necesitarán trabajos futuros para estandarizar indicadores, validar modelos en entornos multicéntricos e incorporar de manera dinámica datos procedentes de sensores urbanos y plataformas digitales; estos avances contribuirán a una evaluación más rigurosa de la caminabilidad y al diseño de ciudades sostenibles, inclusivas y equitativas.

Referencias

[1] R. Ewing and R. Cervero, “Travel and the built environment: A meta-analysis,” *Journal of the American Planning Association*, vol. 76, no. 3, pp. 265–294, 2010, doi: 10.1080/01944361003766766.

[2] A. Forsyth, “What is a walkable place? The walkability debate in urban design,” *Urban Design International*, vol. 20, no. 4, pp. 274–292, 2015, doi: 10.1057/udi.2015.22.

[3] M. J. Koohsari *et al.*, “Traditional and novel walkable built environment metrics and social capital,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 214, 2021. Art. no. 104184, 2021, doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104184.

[4] L. D. Frank, J. F. Sallis, B. E. Saelens, L. Leary, K. Cain, T. L. Conway, and P. M. Hess, “The development of a walkability index: Application to the Neighborhood Quality of Life Study,” *British Journal of Sports Medicine*, vol. 44, no. 13, pp. 924–933, 2010, doi: 10.1136/bjsm.2009.058701.

[5] H. Wang and Y. Yang, “Neighbourhood walkability: A review and bibliometric analysis,” *Cities*, vol. 93, pp. 43–61, 2019, doi: 10.1016/j.cities.2019.04.015.

[6] K. Karimi, “Space syntax: Consolidation and transformation of an urban research field,” *Journal of Urban Design*, vol. 23, no. 1, 2018, doi: 10.1080/13574809.2018.1403177.

[7] Y. Kang, “Assessment of perceived and physical walkability using street view images and deep learning technology,” *ISPRS International*

Journal of Geo-Information, vol. 12, no. 5, art. 186, 2023, doi: 10.3390/ijgi12050186.
[8] J. De Vos, K. Lättman, A.-L. van der Vlugt, J. Welsch, and N. Otsuka, "Determinants and effects of perceived walkability: A literature review, conceptual model and research agenda," *Transport Reviews*, vol. 43, 2023, doi: 10.1080/01441647.2022.2101072.
[9] M. Taleai and A. Amiri, "Spatial multi-criteria and multi-scale evaluation of walkability potential at street segment level: A case study of Tehran," *Sustainable Cities and Society*, 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.02.011.
[10] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
[11] H. Kim, "Wearable sensor data-driven walkability assessment for elderly people," Sustainability, vol. 12, no. 10, Art. no. 4041, 2020, doi: 10.3390/SU12104041.
[12] Z. Ayob and A. R. Amir, "Developing Urban Walkability Measures Grounded in Green Urbanism Principles Using the Delphi Survey Study," Planning Malaysia, vol. 22, 2024, doi: 10.21837/pm.v22i34.1591.
[13] R. Ramli, N. Yaacob, and R. Zainol, "Walkability Assessment of First Mile Last Mile Public Transport System of Neighbourhood in Kuala Lumpur, Malaysia and Singapore for Persons with Disabilities: A Comparative Study," Journal of Design and Built Environment, vol. 22, no. 3, 2022.
[14] F. Alves, S. Cruz, A. Ribeiro, A. B. Silva, J. Martins, and I. Cunha, "Walkability Index for Elderly Health: A Proposal," Sustainability, vol. 12, no. 18, Art. no. 7360, 2020, doi: 10.3390/SU12187360.
[15] D. M. Cazumbá, V. O. Fernandes, J. U. Pedreira Jr., and M. J. Alixandrini Jr., "Walkability Index Adaptation for Remote Assessment Using Street-Level Imagery," Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 32, Art. no. e2026005, 2026, doi: 10.1590/S1982-21702026000100005.
[16] J. Yang, Y. Wu, X. Chen, B. Luo, R. Wu, and R. Lin, "Evaluation of Walkability Index for Embedded Community Services from an Age-Friendly Perspective: A Case Study of Mapple Community in Chengdu, China," Land, vol. 14, no. 6, 2025, doi: 10.3390/land14061189.
[17] H. Iravani, "Measuring Central Business District (CBD) Walkability Using Intersection Permeability and Activity Intensity," Urban, Planning and Transport Research, 2026, doi: 10.1080/21650020.2026.2648896.
[18] J. A. Manzolli, A. Oliveira, and M. C. Neto, "Evaluating Walkability Through a Multi-Criteria Decision Analysis Approach: A Lisbon Case Study," Sustainability, vol. 13, Art. no. 1450, 2021, doi: 10.3390/su13031450.
[19] D. Ros-McDonnell, M. V. de la Fuente-Aragón, L. Ros-McDonnell, and M. Cardós, "Toward Resilient Urban Design: Pedestrians as an Important Element of City Design," Urban Science, vol. 8, no. 2, Art. no. 65, 2024, doi: 10.3390/urbansci8020065.
[20] A. Banger, M. Brussel, A. Grigolon, and K. Pfeffer, "Development of a Contextualized Spatial Network–Based Walkability (CSNW) Index," International Journal of Urban Sustainable Development, 2025, doi: 10.1080/19463138.2025.2594254.
[21] S. Fina, C. Gerten, B. Pondi, L. D'Arcy, N. O'Reilly, D. S. Vale, M. Pereira, and S. Zilio, "OS-WALK-EU: An Open-Source Tool to Assess Health-Promoting Residential Walkability of European City Structures," Journal of Transport & Health, vol. 27, Art. no. 101486, 2022, doi: 10.1016/j.jth.2022.101486.
[22] P. Stutz, D. Kaziyeva, C. Traun, C. Werner, and M. Loidl, "Walkability at Street Level: An Indicator-Based Assessment Model," Sustainability, vol. 17, no. 8, Art. no. 3634, 2025, doi: 10.3390/su17083634.
[23] K. Zaleckis, S. Chmielewski, J. Kamičaitytė, I. Gražulevičiūtė-Vileniškė, and H. Lipińska, "Walkability Compass—A Space Syntax Solution for Comparative Studies," Sustainability, vol. 14, no. 4, Art. no. 2033, 2022, doi: 10.3390/su14042033.
[24] N. Ruslan, N. Naharudin, A. H. Salleh, M. A. Halim, and Z. A. Latif, "Spatial Walkability Index (SWI) of pedestrian access to rail transit station in Kuala Lumpur city center," Planning Malaysia, vol. 21, no. 5, pp. 237–252, 2023, doi: 10.21837/pm.v21i29.1368.
[25] A. Trpković, S. Jevremović, N. Marinković, R. Gajić, and S. Batarilo, "Dynamic Walkability Index (DWI)—Enhancing walking equity for the city of Čačak, Serbia," Urban Science, vol. 10, no. 1, Art. no. 59, 2026, doi: 10.3390/urbansci10010059.
[26] M. Wang, P. K.-Y. Wong, and J. C. P. Cheng, "A BIM-GIS framework integrated with CCTV analytics for urban walkability assessment," Sensors, vol. 25, no. 12, Art. no. 3637, 2025, doi: 10.3390/s25123637.
[27] A. Rahman, "A GIS-based, microscale walkability assessment integrating the local topography," Journal of Transport Geography, vol. 103, Art. no. 103405, 2022, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2022.103405.
[28] H. R. Ng, I. Sossa, Y. Nam, and J.-H. Youn, "Machine learning approach for automated detection of irregular walking surfaces for walkability assessment with wearable sensor," Sensors, vol. 23, no. 1, Art. no. 193, 2023, doi: 10.3390/s23010193.
[29] Y. Choi, D. H. D. Xiang, and S. Chng, "Semantic segmentation for walkability assessment in Southeast Asian streetscapes," Sustainability, vol. 18, no. 3, Art. no. 1355, 2026, doi: 10.3390/su18031355.
[30] S. Dasari and S. Gupta, "Application of fuzzy analytical hierarchy process to develop walkability index: A case study of Dwarka sub city, New Delhi, India," Urban, Planning and Transport Research, vol. 11, no. 1, Art. no. 2278875, 2023, doi: 10.1080/21650020.2023.2278875.
[31] F. Roozkhosh, M. Molavi, and A. Salaripour, "Comparison of walkability in different urban districts using space syntax," Journal of Architecture and Urbanism, vol. 44, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.3846/jau.2020.6587.
[32] R. Bayar and M. Yılmaz, "Measuring age-friendliness based on the walkability indices of older people to urban facilities," Urban Design International, vol. 28, no. 1, pp. 35–51, 2023, doi: 10.1057/s41289-022-00194-w.
[33] M. Ghanat Bari and A. Tekel, "Fractal dimension of streetscape as a proxy to the design dimension of the built environment in walkability research," Gazi University Journal of Science, vol. 35, no. 3, pp. 793–806, 2022, doi: 10.35378/gujs.721355.
[34] J. Li, X. Zhang, L. Li, X. Wang, J. Cheng, C. Gao, and J. Ling, "An estimation method for multidimensional urban street walkability based on panoramic semantic segmentation and domain adaptation," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 136, Art. no. 108905, 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2024.108905.
[35] D. Ki, Z. Chen, S. Lee, and S. Lieu, "A novel walkability index using Google Street View and deep learning," Sustainable Cities and Society, vol. 99, Art. no. 104896, 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104896.
[36] G. Facchini, A. M. Larranaga, F. A. Cândido dos Santos, M. L. dos Santos, C. T. Nodari, and D. S. Presta García, "Virtual reality in stated preference survey for walkability assessment," Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 139, Art. no. 104545, 2025, doi: 10.1016/j.trd.2024.104545.
[37] C. Deng, X. Dong, H. Wang, W. Lin, H. Wen, J. Frazier, H. C. Ho, and L. Holmes, "A data-driven framework for walkability measurement with open data: A case study of Triple Cities, New York," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, no. 1, Art. no. 36, 2020, doi: 10.3390/ijgi9010036.
[38] D. Koller, M. Bödeker, U. Dapp, E. Grill, J. Fuchs, W. Maier, and R. Strobl, "A framework for measuring neighborhood walkability for older adults—A Delphi consensus study," Journal of Urban Health, vol. 101, no. 6, pp. 1188–1199, 2024, doi: 10.1007/s11524-024-00910-7.
[39] K. Labdaoui, S. Mazouz, M. Moeinaddini, M. Cools, and J. Teller, "The Street Walkability and Thermal Comfort Index (SWTCI): A new assessment tool combining street design measurements and thermal comfort," Science of the Total Environment, vol. 795, Art. no. 148663, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148663.
[40] H. R. Khan, M. A. Ahmed, and M. Dutta, "Developing a methodology to assess pedestrian walkability in the city markets using multi-attribute decision-making techniques," Transportation Research Record, vol. 2679, no. 1, pp. 1814–1831, 2025, doi: 10.1177/03611981241257506.