

Regla 3–30–300: enfoque metodológico SIG–LiDAR para el diagnóstico urbano en Cáceres, España

Gil, Celia¹ **Chapinal, Libertad**¹

¹ ESRI España, España

ORCID: Gil 0009-0005-9821-6137 Chapinal 0009-0001-6120-7596

Correspondencia: celia.gil@esri.es libertad.chapinal@esri.es

RESUMEN

Las ciudades mediterráneas afrontan riesgos ambientales urbanos que impulsan la renaturalización y requieren herramientas de evaluación a escala de barrio. Este trabajo presenta un enfoque metodológico para evaluar la regla 3–30–300 de infraestructura verde urbana en Cáceres (España) integrando datos LiDAR y análisis avanzado de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología calcula indicadores reproducibles a escala de edificio: el 3 mediante visibilidad 3D entre edificios y arbolado LiDAR; el 30 a partir de la estructura de la vegetación para estimar cobertura arbórea por barrio; y el 300 mediante análisis de redes para medir accesibilidad peatonal real a zonas verdes. Los indicadores se integran en un índice compuesto (0–100) que muestra mayores puntuaciones en barrios con más cobertura arbórea y mejor acceso a zonas verdes, y valores más bajos en el casco histórico y crecimientos periféricos, identificados como ámbitos prioritarios de intervención.


Palabras clave: *Sistemas de Información Geográfica, LiDAR, indicador urbano, cobertura arbórea, ArcGIS*


Fecha de recepción: 17 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 17 febrero 2026

Regla 3–30–300: enfoque metodológico SIG–LiDAR para el diagnóstico urbano en Cáceres, España

Gil, Celia ⁽¹⁾, Chapinal, Libertad ⁽¹⁾

⁽¹⁾ ESRI España, España.

 0009-0005-9821-6137, celia.gil@esri.es.

 0009-0001-6120-7596, libertad.chapinal@esri.es.

Resumen: Las ciudades mediterráneas afrontan riesgos ambientales urbanos que impulsan la renaturalización y requieren herramientas de evaluación a escala de barrio. Este trabajo presenta un enfoque metodológico para evaluar la regla 3–30–300 de infraestructura verde urbana en Cáceres (España) integrando datos LiDAR y análisis avanzado de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología calcula indicadores reproducibles a escala de edificio: el 3 mediante visibilidad 3D entre edificios y arbolado LiDAR; el 30 a partir de la estructura de la vegetación para estimar cobertura arbórea por barrio; y el 300 mediante análisis de redes para medir accesibilidad peatonal real a zonas verdes. Los indicadores se integran en un índice compuesto (0–100) que muestra mayores puntuaciones en barrios con más cobertura arbórea y mejor acceso a zonas verdes, y valores más bajos en el casco histórico y crecimientos periféricos, identificados como ámbitos prioritarios de intervención.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, LiDAR, indicador urbano, cobertura arbórea, ArcGIS.

3–30–300 Rule: a GIS–LiDAR methodological approach for urban assessment in Cáceres, Spain

Abstract: *Mediterranean cities face urban environmental risks that are driving renaturalization strategies and creating a need for neighborhood-scale assessment tools. This study presents a methodological approach to evaluate the 3–30–300 rule for urban green infrastructure in Cáceres (Spain) by integrating LiDAR data and advanced Geographic Information Systems (GIS) analysis. The methodology calculates reproducible building-scale indicators: the 3 indicator through 3D visibility analysis between buildings and LiDAR-derived trees; the 30 indicator from vegetation structure to estimate tree canopy cover by neighborhood; and the 300 indicator through network analysis to measure actual pedestrian accessibility to green spaces. These indicators are integrated into a composite index (0–100), which shows higher scores in neighborhoods with greater tree canopy cover and better access to green spaces, and lower values in the historic center and peripheral expansion areas, identified as priority areas for intervention.*

Keywords: *Geographic Information Systems, LiDAR, urban indicator, tree canopy cover, ArcGIS.*

1. INTRODUCCIÓN

Las principales ciudades españolas afrontan simultáneamente una intensificación de los riesgos ambientales urbanos, como la contaminación atmosférica y el aumento de las temperaturas, y la consolidación de agendas de sostenibilidad orientadas a recomponer la relación entre ciudad, salud y naturaleza, una necesidad especialmente urgente en el contexto mediterráneo por su mayor exposición a episodios de calor extremo y estancamiento atmosférico (Chapman *et al.*, 2017). En este marco, la renaturalización urbana se ha consolidado como una línea prioritaria de intervención, no solo por la incorporación de zonas verdes, sino por el impulso de soluciones basadas en la naturaleza que generan beneficios ambientales, sociales y económicos, al tiempo que refuerzan la inclusión, el derecho a la ciudad y la justicia espacial (Uceda Navas & Domínguez Pérez, 2024).

El arbolado urbano ocupa un papel central en esta agenda por su contribución a procesos físicos, como la sombra, la evapotranspiración o la mejora del confort térmico, y a resultados positivos en salud y bienestar (Dadvand *et al.*, 2016), además de su capacidad para reducir contaminantes atmosféricos (Sicard *et al.*, 2018) y mitigar el calor a escala de barrio mediante la estructura de copa (Ziter *et al.*, 2019). En este contexto, la regla 3–30–300 sintetiza en tres umbrales operativos una propuesta de planificación y evaluación de la infraestructura verde urbana: ver al menos tres árboles desde la vivienda, disponer de un 30 % de cobertura arbórea en el entorno residencial y residir a menos de 300 metros de un espacio verde de calidad. Esta regla fue formulada por Konijnendijk (2021) y desarrollada posteriormente como una guía basada en la evidencia para promover barrios más verdes, saludables y resilientes (Konijnendijk, 2023).

Desde la propuesta inicial de la regla 3–30–300 (Konijnendijk, 2021), los trabajos que han evaluado su cumplimiento muestran una diversidad metodológica notable. En Barcelona, Nieuwenhuijsen *et al.* (2022) analizaron una versión sustitutiva de la regla a partir de cuestionarios, análisis SIG, teledetección y mapas de coberturas del suelo; otros estudios han combinado trabajo de campo, SIG, análisis de red, cartografía de espacios verdes e imágenes de alta resolución para medir sus distintos componentes a escala urbana y de edificio. Estos antecedentes evidencian el interés creciente por desarrollar metodologías operativas y comparables para su implementación.

En este contexto, la aplicación de la regla exige métricas robustas y escalables en entornos urbanos heterogéneos. Frente a enfoques basados principalmente en encuestas, cartografía de coberturas, análisis de red o teledetección óptica, este estudio plantea una aproximación metodológica basada en datos LiDAR y técnicas avanzadas SIG, orientada a mejorar la precisión en la caracterización tridimensional de la vegetación y en la estimación de la cobertura arbórea. Así, el objetivo de este trabajo es evaluar el grado de cumplimiento de la regla 3–30–300 en cada edificio de la ciudad de Cáceres (España), mediante indicadores calculados a escala de edificio y barrio a partir de información LiDAR y análisis espacial avanzado.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se desarrolla en Cáceres (España), una ciudad con una estructura urbana heterogénea que combina un casco histórico compacto y denso con áreas residenciales de expansión de trama más abierta, además de zonas verdes y polígonos industriales periféricos. Esta diversidad morfológica y funcional la convierte en un caso adecuado para evaluar el comportamiento espacial de la regla 3–30–300. La unidad espacial de referencia fueron los 78 barrios oficiales definidos por la IDE Cáceres.



Figura 1. Área de estudio alrededor de los edificios residenciales de Cáceres. Arriba: casco antiguo. Abajo: zonas residenciales y verdes. Fuente: elaboración propia.

2.2. Datos y software

Para realizar este estudio, se utilizaron las siguientes fuentes de datos: edificios residenciales del Catastro de España (10.037) disponibles en Living Atlas of the World; datos LiDAR del PNOA 2024 en formato LAZ, con una densidad de 5 puntos/m²; capa de Barrios de Cáceres de la IDE Cáceres en formato shapefile; y capa de Parques y Jardines de la IDE Cáceres, también en formato shapefile. Todo el procesamiento, la gestión y el análisis espacial se realizaron en ArcGIS Pro 3.6.

2.3. Metodología

2.3.1. Indicador 3: ver 3 árboles desde tu casa

El indicador “3” evalúa, para cada edificio residencial, si es potencialmente visible un mínimo de tres árboles maduros en su entorno inmediato. El arbolado se derivó de la nube de puntos LiDAR, previamente preprocesada y recortada al área de estudio. Posteriormente, se filtraron las clases de suelo, edificios y vegetación alta para aislar el arbolado y generar una máscara fiable de cobertura arbórea (Fig. 2).

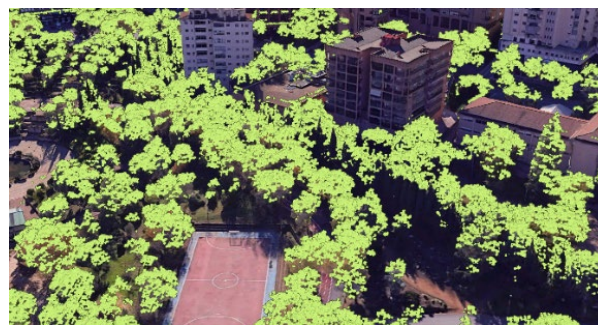


Figura 2. Clasificación 5 High Vegetation de nube de puntos LiDAR sobre Google Photorealistic 3D basemap de ArcGIS Pro. Fuente: elaboración propia.

Para evitar la inclusión de puntos de copa sobre cubiertas de edificios (ramas, superposiciones), se aplicó un buffer de 0,5 m a los edificios residenciales y se reclasificaron los puntos afectados. A partir de una malla de densidad de 1 m y del modelo digital del terreno se obtuvo un modelo de altura de copa:

$$CHM = CanopySurface - MDT$$

Se descartaron alturas inferiores a 6 m y superiores a 30 m para evitar valores erróneos. Los árboles individuales se identificaron como máximos locales en un radio de 2 m y se depuraron duplicados y falsos positivos mediante una tolerancia de 1 m. Finalmente, se evaluó la visibilidad potencial entre los centroides de los edificios residenciales y los árboles detectados mediante líneas de visión (Fig. 3), considerando como obstáculos la edificación, una altura media de observación de 4,5 m por edificio —según las Normas Urbanísticas del Plan General Municipal de Cáceres (Ayuntamiento de Cáceres, s. f.)— y la altura máxima registrada para cada árbol. El indicador se consideró cumplido cuando el edificio presentaba visibilidad de ≥ 3 árboles.



Figura 3. Ejemplo de líneas de visión desde los edificios hasta los árboles (2D). Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Indicador 30: 30 % cobertura de copa arbórea

El indicador “30” se calculó como porcentaje de cobertura arbórea por barrio. A partir de la superficie de copa derivada del LiDAR, se estimó el área ocupada por el arbolado en cada unidad barrial y se expresó en relación con el área total del barrio:

$$\text{Cobertura arbórea (\%)} = \frac{\text{Área copa (m}^2\text{)}}{\text{Área barrio(m}^2\text{)}} \times 100$$

2.3.3. Indicador 300: 300 metros de una zona verde

El indicador “300” evalúa si cada edificio residencial se localiza a una distancia peatonal igual o inferior a 300 m de una zona verde de calidad. Para ello, se partió de la cartografía oficial de parques y jardines, cuyos recintos se depuraron geoméricamente mediante una tolerancia de 5 m para unificar fragmentos contiguos y mejorar su continuidad espacial. Posteriormente, se seleccionaron únicamente aquellos espacios verdes con una superficie mínima de 1 ha.

Sobre el perímetro resultante se generaron accesos potenciales distribuidos cada 50 m, con el fin de representar de forma más realista los posibles puntos de entrada a estas zonas verdes (Fig. 4). A partir de dichos accesos, se calculó la cobertura peatonal mediante análisis de red, delimitando áreas de servicio de 300 m caminables. El indicador se asignó a cada edificio en función de su inclusión o no dentro de estas áreas de servicio.



Figura 4. Accesos a zonas verdes de calidad. Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Cálculo de índice compuesto

Una vez obtenidos los tres indicadores, se integraron en un índice compuesto mediante estandarización de las variables de entrada en una escala común, combinación en una única variable sintética y reescalado final a valores interpretables. Se aplicó una normalización mínimo-máximo y se combinaron los indicadores mediante la media de los valores escalados. Se asignaron pesos 1-1-2 a los indicadores 3, 30 y 300, respectivamente, al considerar que el indicador 300 mide la accesibilidad funcional a zonas verdes públicas, una condición más estructural y estable. El índice final se expresó en una escala de 0 a 100, donde los valores más altos indican mayor cumplimiento relativo de la regla 3-30-300.

3. RESULTADOS

Los resultados del indicador 3 muestran que, de los 10.037 edificios residenciales analizados, menos del 50 % cumple el estándar de visibilidad definido en la metodología: que desde una altura media de 4,5 metros por edificio sea posible observar tres o más árboles. En términos absolutos, alrededor de 4.000 edificaciones cumplen la norma, mientras que el resto queda por debajo del umbral establecido.

Por otro lado, los resultados del indicador 30 muestran que 11 de los 78 barrios recogidos presentan un 30 % o más de cobertura arbórea sobre el total del área. Destacan los barrios residenciales y aquellos con acceso a zonas verdes de forma sencilla. En cambio, en las zonas céntricas e industriales bajan los valores porcentuales (Fig. 5).

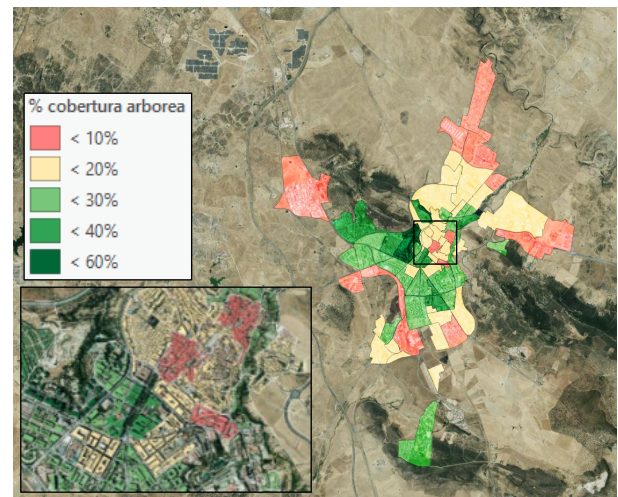


Figura 5. Caracterización del Indicador 30: 30 % cobertura arbórea por barrio. Fuente: elaboración propia.

El indicador 300 se cumple por la gran mayoría de los edificios residenciales exceptuando algunos barrios del distrito Centro (Fig. 6).

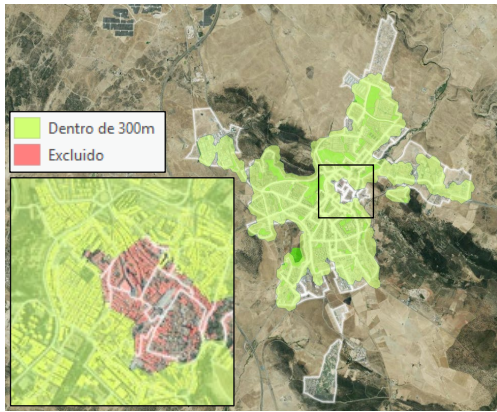


Figura 6. Cobertura de zonas verdes de calidad mediante red navegable peatonal. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los resultados del índice compuesto final muestran una distribución heterogénea, con un claro predominio de valores medios-altos (Fig. 7).

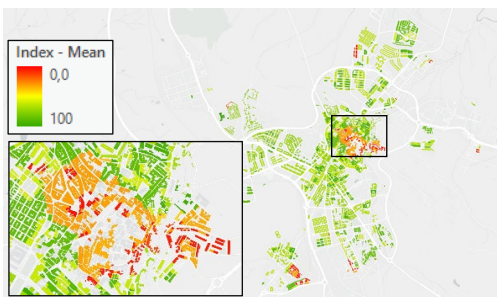


Figura 7. Resultado final del índice compuesto 3-30-300 en ArcGIS Pro. Fuente: documentación ArcGIS Pro.

La distribución presenta un máximo principal en torno a 60/100, junto con un segundo agrupamiento de puntuaciones altas, lo que sugiere dos perfiles urbanos diferenciados: edificios que cumplen parcialmente la regla y otros que alcanzan un desempeño elevado al combinar los tres indicadores. Las puntuaciones bajas aparecen como focos localizados (casco histórico y periferia específica), mientras que la mayor parte del tejido residencial se concentra en rangos superiores. En total, 8.109 de los 10.037 edificios analizados alcanzan 50 puntos o más en el índice final.

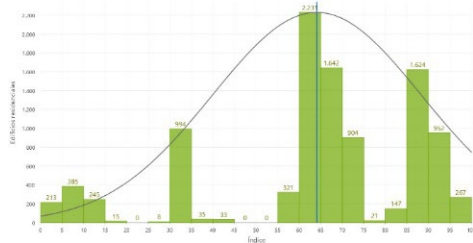


Figura 8. Gráfico de distribución del índice 3-30-300 en ArcGIS Pro. Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La integración de LiDAR y SIG avanzado permite traducir la regla 3-30-300 en indicadores medibles a escala de

edificio, incorporando la dimensión 3D del arbolado (estructura y altura de copa) y la accesibilidad real mediante análisis de redes. Este enfoque genera cartografía diagnóstica reproducible y comparable, útil para detectar déficits de infraestructura verde, priorizar intervenciones y evaluar escenarios ajustando umbrales y ponderaciones. En conjunto, aporta una base técnica trazable para apoyar la planificación urbana y el seguimiento de objetivos de renaturalización.

5. REFERENCIAS

Ayuntamiento de Cáceres. (s. f.). Plan General Municipal de Cáceres (PGM2010). Tomo II: Normas (texto refundido) [PDF]. https://sig.caceres.es/PGM2010/TOMO_IL_NORMAS/NORMAS_REFUNDIDO.pdf

Chapman, S., Watson, J. E. M., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: A systematic review and meta-analysis. *Landscape Ecology*, 32, 1921–1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>

Dadvand, P., Bartoll, X., Basagaña, X., Dalmau-Bueno, A., Martínez, D., Ambros, A., Cirach, M., Triguero-Mas, M., Gascon, M., Borrell, C., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Green spaces and general health: Roles of mental health status, social support, and physical activity. *Environment International*, 91, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.029>

Konijnendijk, C. C. (2021). The 3-30-300 rule for urban forestry and greener cities. *Biophilic Cities Journal*, (4).

Konijnendijk, C. C. (2023). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 rule. *Journal of Forestry Research*, 34, 821–830. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>

Nieuwenhuijsen, M. J., Dadvand, P., Márquez, S., Bartoll, X., Pereira Barboza, E., Cirach, M., Borrell, C., & Zijlema, W. L. (2022). The evaluation of the 3-30-300 green space rule and mental health. *Environmental Research*, 215(Part 2), 114387. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114387>

Sicard, P., Agathokleous, E., Araminiené, V., Carrari, E., Hoshika, Y., De Marco, A., & Paoletti, E. (2018). Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities? *Environmental Pollution*, 243, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.049>

Uceda Navas, P., & Domínguez Pérez, M. (2024). Reequilibrando los espacios urbanos: Derecho a la ciudad y participación ciudadana en los barrios vulnerables de Madrid. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, (181), 117–124.

Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J., & Turner, M. G. (2019). Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>