

Infraestructura verde urbana, servicios ecosistémicos y los objetivos de desarrollo sostenible: revisión sistemática



Colaboración

Guadalupe Isabel Maldonado Pulgarín; Jorge Armando Gutiérrez Valencia; Francisco José Martín del Campo Saray; María Silvia del Rocío Covarrubias Ruesga ; Ignacio Barajas Avalos, Tecnológico Nacional de México, Campus Colima

Fecha de recepción: 12 de marzo 2024

Fecha de aceptación: 7 de junio de 2024

RESUMEN: La infraestructura verde urbana se caracteriza por ser multifuncional y ofrecer diversos servicios ecosistémicos, beneficiando a la biodiversidad, salud de los habitantes, mitigar los efectos del cambio climático, entre otros. Estos beneficios pueden ser identificados y categorizados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de las Naciones Unidas. El presente artículo expone una revisión sistemática de la literatura con la metodología PRISMA 2020 en la base de datos ScienceDirect y MDPI-Publisher of Open Access Journals. Se identificó que los 17 ODS tienen injerencia en la Infraestructura Verde Urbana (IVU) y los Servicios Ecosistémicos (SE) de acuerdo a su tipología.

PALABRAS CLAVE: Infraestructura verde urbana, servicios ecosistémicos, Objetivos de Desarrollo Sostenible, multisistémico, inundaciones.

ABSTRACT: Urban green infrastructure is characterized by being multifunctional and offering various ecosystem services, benefiting biodiversity, inhabitant's health, mitigating the effects of climate change, among others. These benefits can be identified and categorized in the Sustainable Development Goals (SDG) of the United Nations 2030 agenda. This article presents a systematic review of the literature with the PRISMA 2020 methodology based on ScienceDirect and MDPI-Publisher of Open Access Journals data. It was identified that the 17 SDGs have an influence on Urban Green Infrastructure (IVU) and Ecosystem Services (ES) according to their typology.

KEYWORDS: Urban green infrastructure, Ecosystem services, Sustainable development goals, multisystem, floods.

INTRODUCCIÓN

Es de importancia considerar el territorio como un sistema integrado donde la Infraestructura Verde (IV) sea el eje principal que articule al resto de infraestructuras, generando así un modelo sustentable que beneficie a los habitantes y la biodiversidad en todas las escalas, tomándola como una estrategia de planificación [1]. LA IV provee servicios ecosistémicos, los

cuales son la conexión entre la naturaleza y los humanos, brindando beneficios que permiten su desarrollo mediante servicios básicos como el mantenimiento de la calidad del agua, regulación de clima, polinización, bioenergía, materiales, entre otros, así como culturales y espirituales [2].

La IV se puede consolidar en tres escalas; barrial o microescala, ciudad y regional. En la primera se encuentran las vialidades arboladas y permeables, muros y techos verdes, jardines privados y públicos, espacios abiertos y patios institucionales, estanques y arroyos, cementerios, pistas deportivas y áreas de juegos, zanjas de inundación, bosques de pequeña escala, quebradas, huertos y predios abandonados. En la segunda; ríos y llanuras de inundación, parques intercomunales, canales, lagunas, bosques urbanos y comunitarios, parques naturales, frentes de agua, plazas municipales, cerros, grandes espacios recreativos, esteros, tierras agrícolas y vertederos. En la tercera escala ríos y llanuras, canales, campo abierto, cordones montañosos, acueductos y gasoductos, fallas geológicas y lagos [3].

La IV se ha caracterizado por atender múltiples beneficios, sin embargo, puede que no todos sean incluidos en el diseño de alguna IV, ya que dependerá de las características del mismo y del contexto de aplicación [4]. A su vez, estos beneficios se pueden ver reflejados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, los cuales se implementan de acuerdo a las necesidades y prioridades existentes [5].

“Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” es un plan de actuación universal que incluye 169 metas distribuidas en 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que pretenden lograr resultados sociales, económicos y ambientales [6]. De acuerdo a [2] se pueden identificar al menos doce ODS relacionados con los servicios ecosistémicos. Para Yim Ee Wey et al. [7], los ODS: número 11 ciudades y comunidades sostenibles, 13 acción por el clima y 15 vida de ecosistemas terrestres, se ven reflejados directamente con la infraestructura verde urbana, sin embargo, 15 de los 17 podrían ser aplicables en un diseño integral de IVU.

En este artículo se identifican cuáles ODS se reflejan en los servicios ecosistémicos que ofrece la IVU a nivel internacional, lo cual permitirá identificar elementos de diseño, de acuerdo con las necesidades o problemáticas y al cumplimiento de los ODS para el diseño o restauración de espacios verdes a escala barrial o microescala y ciudad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente artículo se ha llevado a cabo siguiendo una metodología de tipo documental mediante la búsqueda, recolección y análisis de información. De diseño de investigación transversal, esto debido a que la búsqueda

será realizada en una única ocasión y en un periodo establecido [8]

La selección de la literatura se guía, siguiendo las directrices de la Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) 2020, empleando los ítems 5, 6, 7, 9 y 13 a [9] que se muestran en la figura 1, con el objetivo de buscar en la literatura aquellas que presentan la relación o aplicación de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” [6] en la infraestructura verde y los servicios ecosistémicos.

Tabla 1. Ítems seleccionados de PRISMA 2020.

Ítems para selección de documentos	Sección/Tema	Ítem de la lista de verificación
5	Criterios de elegibilidad	Elaborar criterios de inclusión y exclusión de la revisión.
6	Fuentes de información	Elegir las bases de datos para consulta y delimitar la fecha de búsqueda.
7	Estrategia de búsqueda	Definir filtros y limitantes de búsqueda.
9	Proceso de extracción de los datos	Desarrollar la metodología utilizada para la búsqueda y selección de información.
13a	Métodos de síntesis	Describir y sintetizar mediante gráficos la información obtenida.

Fuente: Elaboración propia con base a Page et al., 2021.

Búsqueda sistemática

La búsqueda de información se generó el primero de noviembre del 2023 en la base de datos de ScienceDirect y MDPI-Publisher of Open Access Journals. Otras bases consultadas fueron Dialnet, SpringerOpen, Biblioteca Nacional de México y Redalyc, sin embargo, la información obtenida conforme al objetivo de la investigación fue nula, por lo tanto, se descartaron.

La primera exploración fue en ScienceDirect, en búsqueda avanzada se seleccionó la casilla “Title, abstract or author-specified keywords” ya que esta casilla permite utilizar varios operadores booleanos y varias palabras clave, por lo cual la primera búsqueda fue con las palabras “urban green OR green infrastructure AND Sustainable Development Goals”, posteriormente se realizó una segunda búsqueda con las palabras “ecosystem services AND Sustainable Development Goals”, para ambas búsquedas se delimitó el periodo de 2019 a 2023, además se seleccionó en la casilla “Review articles” y “Open access & Open archive”. La primera búsqueda arrojó 108 resultados, mientras que la segunda 26, teniendo un total de 134 artículos.

La segunda búsqueda fue en MDPI-Publisher of Open Access Journals, debido a que en búsqueda avanzada se puede seleccionar el operador OR o AND, así como dos casillas para escribir las palabras claves de búsqueda, se consideró utilizar el operador AND y en una casilla se colocó las palabras “Sustainable Development Goals” ya que sería la palabra clave que debería estar presente en todas las búsquedas, mientras que en la otra casilla se colocarían el resto de palabras claves que tienen relación con el objetivo de búsqueda, además en la sección “Article Types”, se seleccionó la opción “Articles” y se seleccionaron los años en el periodo de 2019 a 2023.

Las primeras dos búsquedas utilizando la casilla “Title” no arrojó resultados, por lo cual se cambió a “Keywords”, la primer búsqueda fue con la palabra “urban green” obteniendo dos resultados, en la segunda búsqueda se cambió la palabra “urban green” por “green infrastructure”, obteniendo cinco artículos, para la tercera búsqueda se sustituyó “green infrastructure” por “ecosystem services” obteniendo catorce resultados, después se cambió la casilla “Keywords” por “Title”, obteniendo tres resultados más. En total se obtuvieron 24 artículos.

En total se obtuvieron 158 resultados, para lo cual se definieron y aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión

- Que se especificara que ODS se vinculan con las palabras claves de la búsqueda.
- Que la infraestructura verde y servicios ecosistémicos sea de cualquier tipo.
- Que la infraestructura verde y servicios ecosistémicos sea en cualquier país.
- Que la infraestructura verde y servicios ecosistémicos sea de cualquier escala.
- Que sean de acceso libre o se puedan acceder en otras plataformas.

Criterios de exclusión

- Duplicados.
- Que no especifiquen o incluyan la relación entre la infraestructura verde o servicios ecosistémicos y algún ODS.
- Que no tengan relación con el tema de investigación.

Posteriormente, se procedió a una lectura del resumen y del documento aplicando los criterios de inclusión y exclusión, obteniendo un documento duplicado, uno que no tenía relación con la infraestructura verde urbana, servicios ecosistémicos y los ODS, así como 148 que no especificaban que ODS se aplican en la infraestructura verde y servicios ecosistémico, descartando en total 150 documentos e identificando ocho que cumplían con los criterios, cinco mencionaban específicamente que ODS se relacionan en algún tipo de infraes-

tructura verde y tres con los servicios ecosistémicos. Finalmente, se organizó los artículos en una matriz de análisis, categorizando la información de interés por título, autores, escala, tipología y ODS.

RESULTADOS

Los artículos se resumen en la matriz de análisis de la tabla del Anexo A, organizados por fecha de publicación de 2023 a 2020. Se identificó dos tipos de relación entre la infraestructura verde, los servicios ecosistémicos y su relación a los ODS, estos son; los de primer impacto y de relación indirecta, los primeros son aquellos que se manifiestan de manera inmediata y son generados como beneficio de la implantación de la IV, es decir, existen o se diseñan estratégicamente para lograr uno o varios servicios ecosistémicos específicos, el segundo se manifiesta como consecuencia de la aplicación de los primeros, los cuales no son el objetivo principal a cubrir, pero se obtienen de manera secundaria.

Cristiano, et al. [13] encontraron que la infraestructura verde urbana aplicada en techos verdes tiene una relación directa con los objetivos 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15 y 17 debido a los múltiples beneficios que aporta, como lo es en la industria, al fomentar el desarrollo de nuevas técnicas para su aplicación, así como el desarrollo económico al crear fuentes de empleo y ofrecer alimentos mediante la producción local, además que ofrece servicios ambientales al contribuir a las islas de calor, la mitigación de inundaciones pluviales y la reutilización del agua, también mediante la vegetación, se mantienen los ecosistemas vivos, atrayendo animales como insectos y polinizadores, entre otros, lo que genera ciudades sostenibles y resilientes.

Nguyen Dang et al., [11] proponen la infraestructura verde mediante techos, muros o espacios verdes en instituciones universitarias, demostrando que los ODS 3, 10, 11, 13 y 15 son los que tienen mayor impacto en este tipo de IV. Yim Ee Wey et al. [7] estiman que los ODS 3, 4, 5, 11, 13 y 15 son los que mayor influencia tienen sobre los espacios verdes urbanos, si vienen se puede llegar a cumplir con los 17 objetivos, estos son la base al bienestar social, ambiental y económico del desarrollo sostenible.

Yin et al. [2] plantean que los servicios ecosistémicos son los recursos para satisfacer las necesidades materiales, culturales y espirituales del ser humano, regular el clima y conservar la biodiversidad, donde los ODS 1, 3, 6, 11, 14 y 15 tienen un impacto directo sobre los objetivos de desarrollo sostenible, mientras que el resto puede beneficiar indirectamente los servicios ecosistémicos.

Para Yang, et al. [5] los ODS 1, 2 y 6 son los que tienen mayor prioridad, ya que se relacionan con la materia prima y las condiciones ambientales, mientras que Hanna y Comín [14] encontraron que los ODS 11, 13, 15 y 16 son

los que se encuentran con mayor frecuencia vinculados con la IVU y los SE.

Mientras que Opoku et al. [10] consideran que las implantaciones de huertos urbanos permiten alcanzar los ODS 2, 3, 4, 8, 11, 12 y 13. Para Rozas et al. [12] los ODS 2, 3, 6, 11, 13 y 15 contribuyen al desarrollo sostenible desde el nivel micro escala hasta regional y se relacionan con diversos servicios ecosistémicos.

Resultados generales

Mediante el análisis general mostrado en la Figura 1, en la serie de datos del resumen general se puede identificar que todos los ODS se encuentran presentes, sumando los resultados totales incluyendo los ODS de primer impacto y los de relación indirecta, se encontró que el ODS número 13 estuvo presente en todos los artículos analizados, siguiéndole el ODS 3 y el 15 con siete resultados, después el ODS 2 y el 11 con seis resultados. Mientras que los ODS con menor presencia fueron el 5 y el 10 con dos resultados, mientras que el 16 solo presentó uno.

Ahora bien, analizando los resultados generales de los artículos que en su tipo describe la implementación de infraestructura verde urbana, se obtiene que los ODS 3 y 13 se presentan con mayor frecuencia obteniendo un total de cuatro cada uno, mientras que el 14 y 16 arrojaron cero resultados, a diferencia de los ODS que se relacionan con los servicios ecosistémicos donde los ODS 1, 2, 4, 6, 7, 13, 14 y 15 se presentaron en tres ocasiones y los de menor incidencia con un resultado fueron los ODS 5, 10, 16 y 17.

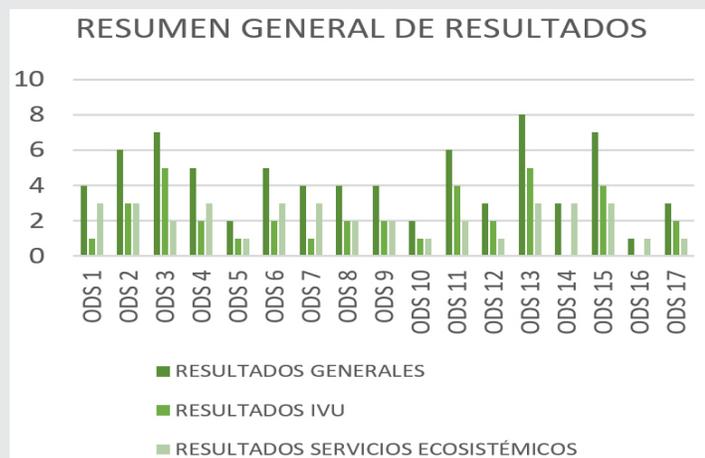


Figura 1. Resultados generales.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados generales del impacto de las ODS

En la Figura 2, se muestra el total de artículos clasificados por primer impacto y relación indirecta, se obtiene que los ODS de primer impacto con mayores resultados fueron los ODS 6, 13 y 14 con seis resultados, el ODS 11 con cinco resultados, siguiéndole los ODS 2 y 6 con cuatro resultados cada uno, mientras que los ODS con menor presencia fueron el 4, 5, 7, 8, 9, 10 y 14 con

una mención mientras que el de menor resultado fue el 16, con cero resultados.

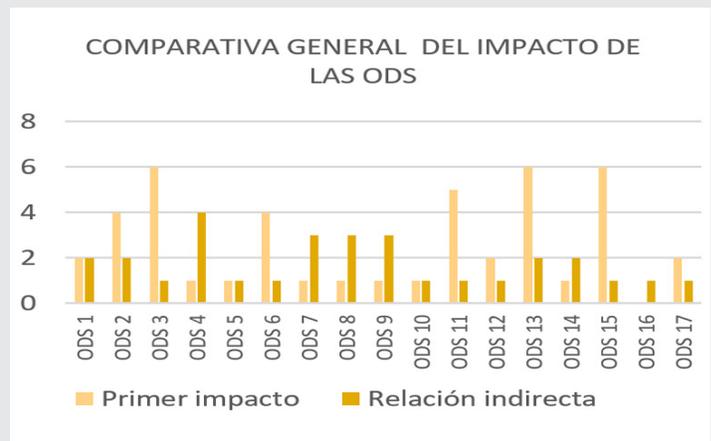


Figura 2. Comparativa general del impacto de las ODS.
Fuente: Elaboración propia.

Los que se consideran de relación indirecta con mayor incidencia son los ODS 4 con cuatro resultados, el 7, 8 y 9 con tres cada uno, mientras que el 3, 5, 6, 10, 11, 12, 16 y 17 con un resultado.

Se encontró que los ODS a excepción del 16, han sido considerados de primer impacto o relación indirecta, y coincide en la misma cantidad de artículos o con mayor frecuencia uno del otro.

Resultados generales del impacto de las ODS en la IVU En la Figura 3, se muestra el total de artículos clasificados por primer impacto y relación indirecta con la infraestructura verde urbana, se obtiene que los ODS de primer impacto con mayores resultados fueron los ODS 13 con cinco resultados, siguiéndole los ODS 4 y 15 con tres resultados cada uno, mientras que los ODS 1, 14 y 16 obtuvo cero.

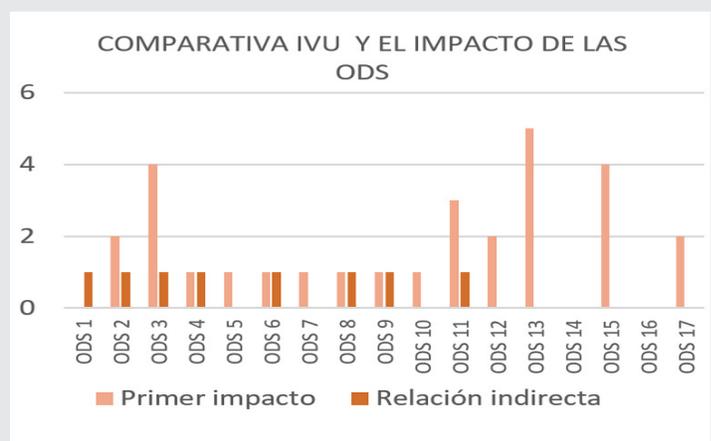


Figura 3. Resultados generales de la IVU y los ODS.
Fuente: Elaboración propia.

Los que se consideran de relación indirecta son los ODS 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 11, con un resultado, mientras que el ODS 5, 7, 10, 12, 14 y 16 no se identificaron en los artículos consultados. Los ODS 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 11 se encuentran presentes en ambas categorías, por lo tanto, pueden considerarse como de primer impacto o relación indirecta.

Resultados generales del impacto de las ODS en los servicios ecosistémicos

Solo tres artículos de los ocho consultados hacen referencia a los servicios ecosistémicos, en general se encuentra que los ODS 3, 6, 11 y 15 se manifiestan de primer impacto con tres menciones, mientras que los ODS 7, 8, 9, 10, 12 y 16 obtuvieron cero resultados.

Los de relación indirecta que más se repiten son los ODS 4 y 7, mientras que el ODS 3, 6 y 11 tienen cero menciones como se observa en la figura 4. Los ODS 1, 2, 4, 5, 13, 14, 15 y 16 son considerados de primer impacto y de relación indirecta.



Figura 4. Resultados de SE por comparativa de impacto. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La presente revisión demuestra de manera general que la infraestructura urbana y los servicios ecosistémicos que esta ofrece ya sea en su implementación o restauración, tienen una estrecha vinculación y apoyan a todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la cantidad de ODS que se identifiquen dependerá del tipo de IV y SE que se desarrolle, la escala y los objetivos que planteen, pero como consecuencia pueden verse reflejados en algunos beneficios secundarios.

El ODS 3 salud y bienestar, 13 acción por el clima y 15 vida de ecosistemas terrestres, son los que presentan su mayor vinculación con la IVU y los SE, debido a que buscan la conservación y restauración de la biodiversidad y son empleados para la mitigación de los gases de efecto invernadero, además de los múltiples beneficios que trae consigo a la salud de los habitantes.

El ODS 2 hambre cero y el ODS 11 ciudades sostenibles, se manifiestan a la par y como los segundos rele-

vantes, ya que mantienen una estrecha relación con el crecimiento de las ciudades, donde la IV y los SE funcionan como huertos urbanos que fomentan el aprovechamiento de espacios públicos, muros y techos como áreas de cultivo. En este sentido se puede decir que se obtienen otros beneficios de relación indirecta como el ODS 8 trabajo decente y crecimiento económico, al fomentar que estos huertos utilicen la cosecha para consumo propio o venta.

También se identificó que los ODS del 1 al 15 y el 17, pueden ser considerados de primer impacto o de relación indirecta en la IVU y los SE, esto dependerá de cuales sean los objetivos principales a cubrir y los que resulten como beneficios secundarios.

Además, se demuestra que se tiene evidencia de la aplicación de los 17 ODS en los servicios ecosistémicos, si bien de momento no se encontró evidencia de los ODS 14 Y 16 en la IVU, esta al tener una estrecha relación con los SE, se identifica una línea de investigación futura donde se pueda desarrollar qué tipo de IVU o que diseño podría generar una aplicación total de los ODS.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT mediante el Programa de Becas para Estudios de Posgrado.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Valdés, P., & Foulkes, M. D. (2016). *La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. Aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad*, 20(20). <https://doi.org/10.30972/crn.2020942>

[2] Yin, C., Zhao, W., Cherubini, F., & Pereira, P. (2021). *Integrate ecosystem services into socio-economic development to enhance achievement of sustainable development goals in the post-pandemic era. Geography and Sustainability*, 2(1), 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.03.002>

[3] Vásquez, A. E. (2016). *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: El caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. Revista de geografía Norte Grande*, 63, 63-86. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>

[4] Matsler, A. M., Meerow, S., Mell, I. C., & Pavao-Zuckerman, M. A. (2021). *A 'green' chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of "green infrastructure"*.

Landscape and Urban Planning, 214, 104145. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104145>

[5] Yang, S., Zhao, W., Liu, Y., Cherubini, F., Fu, B., & Pereira, P. (2020). Prioritizing sustainable development goals and linking them to ecosystem services: A global expert's knowledge evaluation. *Geography and Sustainability*, 1(4), 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.09.004>

[6] Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/70/L.1)*. <https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2019/06/ONU-Agenda-2030.pdf>

[7] Yim Ee Wey, Vengadeshvaran Sarma, Alexander M. Lechner, & Tapan Kumar Nath. (2022). Malaysians' perception on the contribution of urban green spaces to the UN sustainable development goals. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volumen 78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127792>.

[8] Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C. F., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (Sexta edición)*. McGraw-Hill Education.

[9] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

[10] Opoku, A., Duff, A., Yahia, M. W., & Ekung, S. (2023). Utilisation of green urban space for food sufficiency and the realisation of the sustainable development goals – UK stakeholders perspective. *Geography and Sustainability*, S2666683923000627. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.10.001>

[11] Nguyen Dang, H.-A., Legg, R., Khan, A., Wilkinson, S., Ibbett, N., & Doan, A.-T. (2023). Users' Perceptions of the Contribution of a University Green Roof to Sustainable Development. *Sustainability*, 15(8), 6772. <https://doi.org/10.3390/su15086772>

[12] Rozas, D., Spyra, M., Jorquera, F., Molina, S., & Caló, N. C. (2022). Ecosystem Services Supply from Peri-Urban Landscapes and Their Con-

tribution to the Sustainable Development Goals: A Global Perspective. *Land*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/land11112006>

[13] Cristiano, E., Deidda, R., & Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of The Total Environment*, 756, 143876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876>

[14] Hanna, E., & Comín, F. A. (2021). Urban Green Infrastructure and Sustainable Development: A Review. *Sustainability*, 13(20), 11498. <https://doi.org/10.3390/su132011498>

