



Mayo 2024

De cemento a oasis: renaturalización, la clave para disipar las islas de calor

Materia adscrita: Prevención de la
contaminación



FUNDACIÓN
RENOVABLES

Participantes en el proyecto

Juan Fernando Martín. Técnico de Proyectos. Fundación Renovables

Ismael Morales. Responsable de Comunicación. Fundación Renovables

Alexandra Llave. Área de Comunicación. Fundación Renovables

Maribel Núñez. Gerente. Fundación Renovables

María Manzano. Técnico de Proyectos. Fundación Renovables

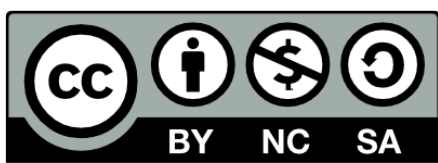
Ladislao Montiel. Técnico de Proyectos. Fundación Renovables

Carmen Crespo. Técnico de Proyectos. Fundación Renovables

Alba González. Informadora ambiental. Fundación Renovables

Javier Pamos Serrano. Técnico de Proyectos. Fundación Renovables

Raquel Paule. Directora General. Fundación Renovables



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons.

Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual (CC BY-NC-SA).

Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte de este siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia.

Fundación Renovables

(Declarada de utilidad pública)

Calle Santa Engracia 108, 5º Int. Izda.

28003 Madrid

www.fundacionrenovables.org


Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y será publicado en la web de la Fundación Renovables.



Índice

Contexto y necesidad de la investigación	6
Objetivos del documento	11
¿Qué es la renaturalización urbana?	16
Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	18
Desafíos que solucionan las SBN	23
Gestión del agua	23
Seguridad alimentaria	23
Salud humana	23
Reducción del riesgo de desastres	24
Cambio climático	24
Pérdida de biodiversidad.....	24
Desafíos a los que se enfrentan las SBN	25
Islas de Calor Urbano.....	27
Causas de las Islas de calor.....	27
Impactos de las Islas de calor urbano	31
Cambios en el consumo energético	31
Impacto en la calidad del aire	31
Riesgos para la salud de los ciudadanos.....	32
Impacto en la biodiversidad	32
¿Pueden las SBN ayudar a reducir los impactos de la ICU?.....	32
Identificación de las ciudades españolas más afectadas por las islas de calor	34
Barcelona.....	36
Madrid.....	37
Sevilla	38
Valencia.....	¡Error! Marcador no definido.





Zaragoza	39
Análisis de la afección de las SBN a las ICU	41
Unidades tecnológicas (Tipo 3).....	42
Paredes verdes.....	42
Tejados verdes	44
Unidades espaciales (Tipo 3)	47
Unidades de vegetación mixta (espacios verdes)	47
Unidades arbóreas (árboles)	50
Anexo I: Descripción de las diferentes SBN que pueden afectar a las ICU.....	70
Paredes verdes.....	70
Bibliografía.....	73



Contexto y necesidad de la investigación

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Contexto y necesidad de la investigación

El cambio climático es, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), “la crisis definitoria de nuestro tiempo” (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2022). Aunque algunas de sus consecuencias son ya inevitables y, de hecho, las estamos sufriendo, aún existe margen de actuación para tratar de contener los peores efectos de esta crisis de dimensiones globales y transformar los retos que plantea en oportunidades de futuro. El [último informe del IPCC](#) nos vuelve a alertar: los compromisos climáticos actuales de todos los países del mundo podrían no ser suficientes para mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C, un umbral considerado necesario por los científicos para prevenir los efectos más graves del cambio climático.

En este sentido, y a pesar de que este es un tema sobre el que se ha estado alertando desde la sociedad científica desde, incluso, antes del protocolo de Kioto (1997), no fue hasta el Acuerdo de París (2015), por el amplio consenso conseguido, cuando los gobiernos de los diferentes países, así como agentes privados y organizaciones de la sociedad civil, comenzaron a desarrollar en conjunto distintos discursos y estrategias que, en algunos casos, se ven materializadas a través de políticas públicas más o menos acertadas.

Con el objetivo de facilitar el desarrollo e implantación de estrategias y objetivos para luchar contra el cambio climático y mitigar sus peores efectos, la ONU aprobó en 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción global adoptado por los países miembros, entre los que se encuentra España (Organización de las Naciones Unidas (ONU), s.f.), que cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen desde la erradicación de la pobreza hasta la igualdad de género alrededor de todo el mundo. En particular, el ODS 11, “Ciudades y comunidades sostenibles”, tiene como objetivo lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, con metas como:



- Aumentar los esfuerzos para proteger el patrimonio cultural y natural del mundo.
- Reducir el impacto negativo de las ciudades, prestando mayor atención a la calidad del aire.
- Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros e inclusivos.



- Aumentar el número de ciudades y asentamientos con planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de recursos, la mitigación y adaptación del cambio climático y la resiliencia ante los desastres.

El calentamiento global, que provoca el aumento de las temperaturas y las olas de calor, además de otros desastres naturales, fenómenos cada vez más alarmantes que comprometen la seguridad de toda la población, especialmente de los más vulnerables, al no tener la misma capacidad de adaptación y de movimiento geográfico. De hecho, diferentes estudios ya han demostrado la correlación entre la mortalidad y otros efectos negativos en la salud y las temperaturas extremas (Baccini, y otros, 2008; Morris, y otros, 2021). Según el IPCC (IPCC, 2022), España es uno de los países de la Unión Europea (UE) que mayores consecuencias sufrirá por el cambio climático, volviendo anuales olas de calor que ahora ocurren con una periodicidad de 50 años, lo que podría provocar que las muertes relacionadas con las altas temperaturas llegasen a multiplicarse por 40. Y no debemos olvidar también las grandes masas de agua, como el Océano Atlántico o el Mar Mediterráneo, en los que también se están produciendo olas de calor extremas que actúan como sumideros de calor durante el día, liberando por la noche y provocando que ciudades costeras sufran elevadas temperaturas incluso de noche (Rodríguez P. , 2023).

La falta de infraestructuras verdes y azules¹ que puedan actuar como sumidero de calor (Mokhtari, y otros, 2022; Shishegar, 2014), y la construcción masiva de edificios y carreteras en las ciudades españolas contribuyen a la formación de lo que se conoce como “isla de calor urbana” (ICU), zonas urbanas en las que la temperatura es significativamente más alta que en las áreas circundantes (Figura 1). Algunas ciudades, como Madrid y Barcelona, tienen expuesto a casi el 80% de la población a más de 1°C con respecto a las zonas de los alrededores y más del 10% de las muertes que ocurren durante el periodo estival pueden ser atribuidas a los efectos de las ICU (Lungman, y otros, 2023). El 30% de esas muertes podrían evitarse aumentando la cubierta arbórea del espacio urbano hasta un 30%.

¹ Según la CE, “redes interconectadas planificadas de áreas naturales y seminaturales que incluyen cuerpos de agua y espacios abiertos verdes, que provisionan de diferentes servicios ecosistémicos” (Comisión Europea, 2013).



El efecto de la isla de calor urbana

ISGlobal

Se refiere al **aumento de temperatura** que registran los **entornos urbanos** en comparación con las áreas que los rodean.

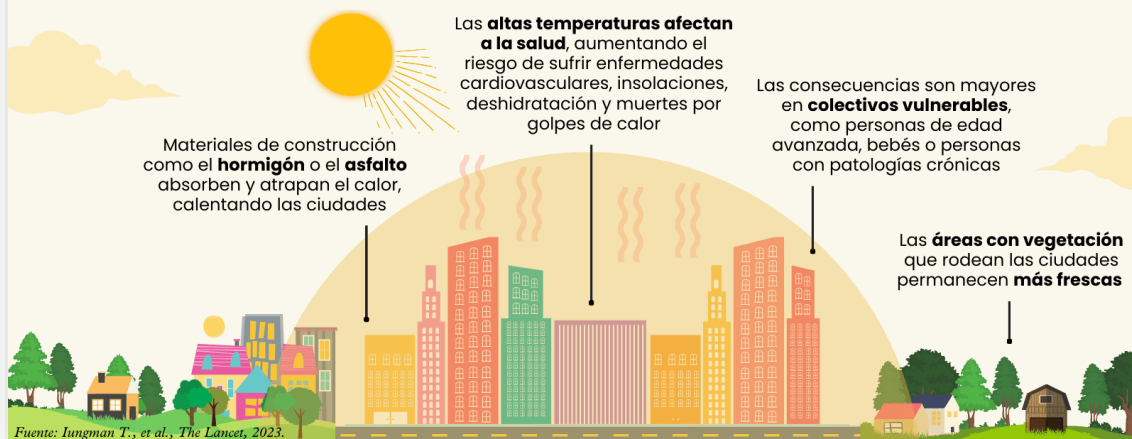


Figura 1. El efecto de la isla de calor urbana.
Fuente: ISGlobal.

Como la urbanización suele aumentar la intensidad de las ICU (Li X. e., 2017; Sangiorgio, Bruno, & Fiorito, 2022) (Figura 2), se espera que las ciudades en el futuro experimenten un aumento de temperatura aún mayor, en comparación con las zonas rurales circundantes, lo que, unido al aumento de las olas de calor debidas al cambio climático, provocará un cambio significativo en el consumo de energía en las ciudades y en la demanda total de energía para climatizar los edificios, tanto residenciales como de servicios (Tewari, 2017). En una revisión sobre el impacto de las ICU en el consumo energético de los edificios en ciudad (Li, y otros, 2019), en el que se analizaron más de 20 estudios de diferentes ciudades (Atenas, Londres, Hong Kong, Tokio, Barcelona, etc.), se concluyó que estas podrían provocar, de media, un aumento de 19% en la energía consumida para aire acondicionado (*cooling*) en los edificios, variando entre el 10% y el 120%, mientras que el consumo energético para calefacción (*heating*) disminuye en las ICU, con una media del 18,7% y una variación de entre el 3% y el 45%. En la

Tabla 1 se presentan algunos ejemplos extraídos de la revisión con fines ilustrativos:



Ciudad/año	Características		Cooling	Heating
	UHI (°C)	Edificio analizado	Impactos	Impactos
Atenas, 2001	10	Una oficina típica (500 m ²).	Aumento del 120% en la carga de enfriamiento. Aumento del 100% en la demanda pico de electricidad.	Descenso del 27% en la carga de calefacción.
Londres, 2012	-	Una oficina típica (1.350 m ²).	Aumento del 33% en la carga de enfriamiento. Aumento del 28% en la carga de enfriamiento.	Reducción del 39% en la carga de calefacción en el año 2000. Reducción del 42% en la carga de calefacción en el año 2050.
Tokio, 2012	2,5	Todo tipo de edificios.	Aumento del 27,5% en la energía de enfriamiento.	Reducción del 18,4% en el consumo de energía de calefacción.
Módena, 2015	1,4	Una biblioteca universitaria (2.200 m ²).	Aumento del 10% en el consumo de energía de enfriamiento.	Reducción del 16% en el consumo de energía de calefacción.
Beijing, 2017	2,5	Una oficina (sin datos de superficie).	Aumento del 11% en la carga de enfriamiento. Aumento del 7% en la carga pico de enfriamiento.	Reducción del 16% en el consumo de energía de calefacción. Reducción del 9% en la carga pico de calefacción.
Roma, 2018	1,4	Un edificio residencial (72 m ²).	Aumento del 12% al 46% en el consumo de energía de enfriamiento.	Reducción del 11% en el consumo de energía de calefacción.

Tabla 1. Impactos de las ICU en el consumo energético para cooling y heating en diferentes ciudades.
Fuente: (Li, y otros, 2019).

Las ICU son, en definitiva, un factor que contribuye al aumento de las temperaturas en las ciudades, lo que puede agravar los efectos del cambio climático y poner en riesgo la salud y el bienestar de las personas. Además, en regiones como la nuestra, agudizan los problemas de pobreza energética, pues muchas familias no pueden mantener unas condiciones mínimas de confort en sus hogares al no poder hacer frente al incremento de las facturas de luz. Por lo tanto, es esencial tomar medidas efectivas para reducir los efectos de las islas de calor en las ciudades españolas.



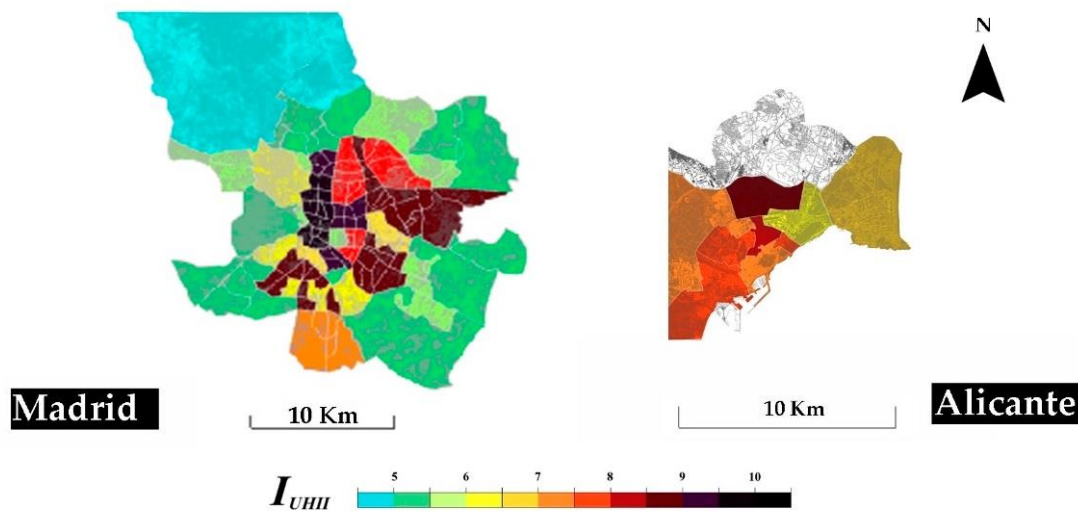


Figura 2. Intensidad de las ICU por distritos en Madrid y Alicante, medida en °C.
Fuente: modificado de (Sangiorgio, Bruno, & Fiorito, 2022).

Aunque se han implementado diversas soluciones y estrategias de renaturalización, es decir, de recuperación de las condiciones naturales del ámbito anteriores al proceso de urbanización, con el objetivo de reducir las islas de calor en ciudades de todo el mundo, como en Nueva York, donde desde 2019 los nuevos edificios tienen que contar con techos verdes por ley (GRRRA, 2018), la efectividad y la adecuación de estas medidas en el contexto español no se han estudiado en profundidad. Por lo tanto, existe la necesidad de investigar las soluciones más eficaces y adecuadas para mitigar las islas de calor en las ciudades españolas.

Por este motivo, la investigación propuesta sobre soluciones a las ICU en las ciudades españolas es necesaria para cumplir con los compromisos adquiridos por el gobierno español en materia de sostenibilidad y cambio climático con la Agenda 2030. **La evaluación de las soluciones más adecuadas y eficaces para reducir las islas de calor puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas en las ciudades, reducir la demanda de energía requerida para mantener unas condiciones mínimas de climatización (*heating y cooling*) en los edificios y mitigar los efectos del cambio climático.**

En este contexto, el objetivo de este estudio es analizar las soluciones a las ICU en las ciudades españolas, evaluando su efectividad, el coste-beneficio y la adecuación a las condiciones climáticas y urbanísticas de las ciudades estudiadas. Los resultados de esta investigación podrán ayudar a desarrollar estrategias más eficaces y adaptadas a las condiciones locales para reducir el efecto isla de calor.



Objetivos del documento

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Objetivos del documento

El objetivo general de este estudio es investigar cómo la renaturalización puede ayudar a disminuir los efectos de las Islas de Calor Urbano (ICU) en las ciudades españolas y cómo estas soluciones pueden ser implementadas de manera efectiva y sostenible en el contexto español.

Para ello, durante el desarrollo del documento se determinarán metas y objetivos intermedios que contribuirán a una comprensión más completa y profunda del problema y a proporcionar información valiosa para la toma de decisiones y la implementación de soluciones efectivas. Estos son:

1. Identificar, analizar y evaluar el potencial de replicación de ejemplos de éxito de renaturalización en ciudades de todo el mundo.

Este objetivo responde al problema de la falta de conocimiento y experiencia en cuanto a la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas. Al identificar y evaluar ejemplos exitosos de renaturalización en todo el mundo, se pueden identificar soluciones efectivas que se pueden adaptar y aplicar en las ciudades españolas.

2. Evaluar la eficacia de los diferentes tipos de medidas de renaturalización en la reducción de las ICU en diferentes contextos urbanos y climáticos.

Este objetivo permitirá evaluar la eficacia de los diferentes tipos de soluciones de renaturalización en distintos contextos urbanos y climáticos, lo que ayudará a encontrar soluciones más efectivas en las ciudades españolas.

3. Analizar los factores clave que han contribuido al éxito de estos proyectos de renaturalización.

Este objetivo responde al problema de la necesidad de comprender qué factores son importantes para lograr el éxito en la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas. Al analizar los factores clave que han contribuido al éxito de otros proyectos, se pueden identificar y aplicar las mejores prácticas en las ciudades españolas.



4. Extraer conclusiones generales sobre las mejores prácticas y estrategias para la implementación de soluciones de renaturalización en ciudades españolas.

Este objetivo permitirá obtener conclusiones generales sobre las mejores prácticas y estrategias para la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas, lo que ayudará a asegurar una implementación exitosa de estas soluciones.

5. Desarrollar guías prácticas para la implementación de soluciones de renaturalización en ciudades españolas.

Este objetivo permitirá desarrollar guías prácticas para la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas, lo que ayudará a facilitar la implementación de estas soluciones. Estas guías contendrán todos los elementos necesarios para que con un rápido vistazo se pueda determinar cuál es la mejor opción para solucionar el problema en un determinado contexto.

6. Evaluar el impacto social, económico, energético y ambiental de la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas.

Este objetivo permitirá evaluar los impactos de la implementación de soluciones de renaturalización en las ciudades españolas, lo que ayudará a evaluar la efectividad y los beneficios de estas soluciones.

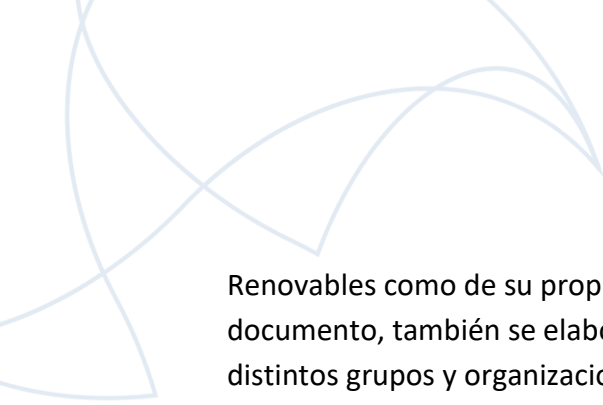
Todos estos objetivos contribuyen a la consecución de los objetivos y metas de la Agenda 2030, en especial de los siguientes ODS:



7. Plan de comunicación y difusión del trabajo realizado

Por último, y como objetivo transversal, se plantea una campaña de comunicación, una vez presentado el informe, con el objetivo de difundir la ciencia y facilitar la renaturalización en las ciudades grandes. El presente documento se distribuirá públicamente tanto a través de las diferentes [redes sociales](#) de la Fundación





Renovables como de su propia [página web](#). Para facilitar la comprensión del documento, también se elaborarán infografías, y se traducirá al inglés, para que los distintos grupos y organizaciones afines a la Fundación a nivel europeo se puedan hacer eco de los resultados obtenidos.



¿Qué es la renaturalización urbana?

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

¿Qué es la renaturalización urbana?

La renaturalización es un enfoque en la gestión ambiental que busca restaurar los procesos y ecosistemas naturales en áreas que han sido alteradas o degradadas por la

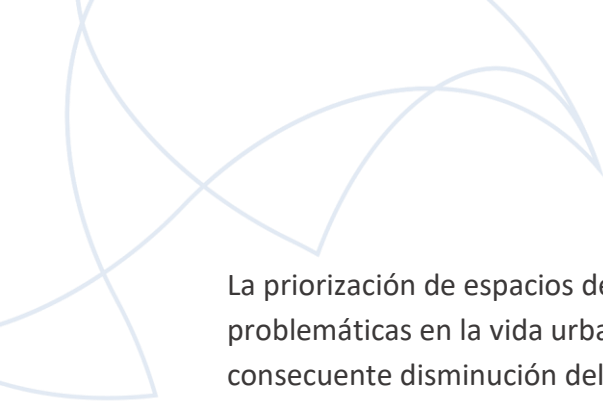


actividad humana, como pueden ser la restauración de ríos y arroyos, la reforestación de áreas deforestadas, la creación de humedales y la reintroducción de especies nativas. El máximo objetivo es recuperar los procesos ecológicos y los servicios de los ecosistemas, mejorar la calidad del aire y del agua, así como la biodiversidad y la conectividad entre los hábitats naturales.

A lo largo de la historia reciente, **los entornos urbanos han experimentado un crecimiento y un desarrollo que han alterado y degradado los ecosistemas naturales en los que se asentaban.** La planificación urbana es un tema de gran interés debido a la importancia que tiene en la configuración del entorno construido y su impacto en la calidad de vida de las personas. En este sentido, las ciudades han sido históricamente planificadas con el objetivo de generar espacios para la actividad económica, lo que ha llevado a que se priorice la generación de infraestructuras para esta actividad y se relegue a un segundo plano la creación de espacios verdes y de convivencia social. Además, es importante señalar que las ciudades han

sido diseñadas en torno al coche como elemento de conexión de los diferentes puntos de la ciudad, lo que ha generado un grave problema de movilidad y de contaminación ambiental.





La priorización de espacios destinados a vehículos motorizados ha generado diversas problemáticas en la vida urbana, como la reducción de espacios para los peatones y la consecuente disminución del ancho de las aceras. Este hecho ha llevado a la implementación de medidas drásticas, como la tala de árboles para dar cabida a las infraestructuras viales, lo cual ha impactado negativamente en la calidad del aire y en la biodiversidad en las ciudades.

Sin embargo, en los últimos años, se reconoce cada vez más el papel que la naturaleza juega en las ciudades, desde una visión holística que elimine la percepción de las zonas verdes como puntos dispersos dentro de un entramado sin vida, comenzando a buscar maneras de restaurar los servicios ecosistémicos que esta nos puede proporcionar. De esta manera, empezamos a desligarnos del mal utilizado término “crecimiento sostenible” y pasamos a buscar la resiliencia en nuestros territorios, es decir, la capacidad que tiene de adaptación un sistema a cambios y presiones fuertes. Se trata no solo de amortiguar los efectos climáticos adversos, sino también de cómo responden las ciudades a este cambio climático, de cómo nos protegemos como sociedad.

La renaturalización urbana es una tendencia en auge que plantea transformar la planificación urbana, integrando en el diseño medidas de resiliencia y adaptación al cambio climático y a la pérdida de biodiversidad gracias a las **Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)** tanto en las zonas urbanas, como en las periurbanas y rurales. Con este nuevo enfoque de renaturalización dejamos atrás la compartimentación de nuestras ciudades y las zonas verdes dejan de ser puntos dispersos para formar una red, conectando todo el espacio urbano, recuperando espacio para las personas y favoreciendo que la naturaleza forme parte de nuestra vida diaria. Así, se crean hábitats para la fauna y la flora con un ecosistema más equilibrado y la ciudadanía podemos aprovechar las externalidades positivas: obtenemos un beneficio psicológico, pues la presencia de naturaleza mejora la salud mental (Cox, y otros, 2017), un beneficio ambiental, porque los servicios ecosistémicos nos brindan la polinización, la creación de suelo², la eliminación de contaminantes atmosféricos, la disminución del calor ambiental o la filtración de agua (Conger, y otros, 2019; Jay, y otros, 2021). Todos estos servicios naturales evitan que se tengan que construir infraestructuras que los realicen, pudiendo destinar esa inversión a otros aspectos.

² Según la CE, el suelo es la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por una mezcla de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, lo que conforma un medio ambiente muy complejo y variable. Este elemento puede llegar a formarse de cientos a miles de años.

Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)

El concepto de SBN incluye todas las nuevas formas de abordar la adaptación socioecológica y la resiliencia, tratando de aunar por igual los aspectos sociales, ambientales y económicos. La Comisión Europea (CE) define las SBN como soluciones: “que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza, que son costo/efectivas y que proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y ayudan a desarrollar la resiliencia. Semejantes soluciones aportan más y más diversidad, más naturaleza y procesos en ciudades, paisajes terrestres y marinos, a través de adaptaciones locales, intervenciones sistémicas y eficientes en recursos.” (Comisión Europea).

Inherente a esta definición está la idea de que las SBN deben beneficiar a la biodiversidad y apoyar la entrega de una gama de servicios de ecosistema. Asimismo, la *International Union for Conservation of Nature* (UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en español) define las SBN como:

“acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que aborden los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativamente, proporcionando simultáneamente beneficios tanto para las personas como para la naturaleza” (UICN, 2016).

En definitiva, podríamos resumir las SBN como **intervenciones basadas en la naturaleza, necesarias para hacer frente a los desafíos de sostenibilidad y resiliencia, tales como la escasez de recursos, inundaciones y riesgos de calor y degradación de ecosistemas causados por procesos de urbanización y el cambio climático**. Se trata de un concepto que abarca un amplio abanico de terminología que se ha estado utilizando durante los últimos años y que incluiría, por ejemplo, “Silvicultura urbana³”, “Infraestructura verde y azul⁴” o “Adaptación basada en ecosistemas⁵”. En la Figura 3 se detallan todos los términos que se podrían encontrar englobados dentro de las SBN.

³ Según la FAO: “rama especializada de la silvicultura, que tiene por finalidad el cultivo y la ordenación de árboles con miras a aprovechar la contribución actual y potencial que éstos pueden aportar al bienestar de la población urbana, tanto desde el punto de vista fisiológico como sociológico y económico”.

⁴ Según la CE: “red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos.” (Comisión Europea, 2013).

⁵ Según MITERD: “el enfoque que permite aprovechar los beneficios de la naturaleza para hacer frente al cambio climático que afecta a las comunidades, la economía y el bienestar de las personas.” (MITERD, s.f.).



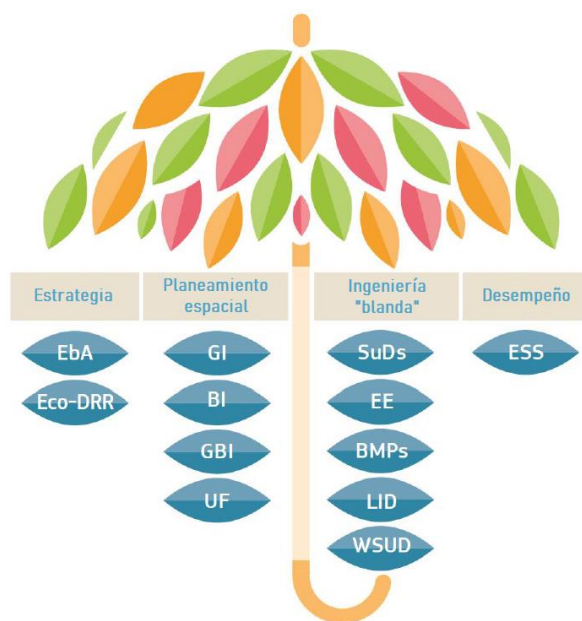


Figura 3. SBN como el concepto de un paraguas y su relación con conceptos ya existentes.⁶
Fuente: Modificado de (Comisión Europea, 2021).

Dada la amplitud de proyectos y de medidas que pueden ser incluidas en las SBN, no existe un criterio único de clasificación. Uno de los primeros intentos fue el de Eggermont (Eggermont, y otros, 2015), que las caracterizaba en función de 2 gradientes: 1: “¿Cuánta ingeniería de la biodiversidad y de los ecosistemas está involucrada en las SBN?” y 2: “¿Cuántos servicios ecosistémicos y grupos de partes interesadas son el objetivo de una SBN determinada?”. Así crea tres subgrupos de SBN (Figura 4):

- **Tipo 1:** consiste en no intervenir, o en una intervención mínima, en los ecosistemas para mantener o mejorar la entrega de servicios ecosistémicos (ESS), como la protección de los manglares en áreas costeras o el establecimiento de áreas marinas protegidas.
- **Tipo 2:** corresponde al desarrollo de ecosistemas y paisajes sostenibles y multifuncionales para mejorar la entrega de ESS seleccionados, como la planificación innovadora de paisajes agrícolas o la mejora de la diversidad genética de especies de árboles en los bosques.
- **Tipo 3:** implica la gestión de los ecosistemas de manera intrusiva o, incluso, la creación de nuevos ecosistemas, como ecosistemas artificiales para techos y

⁶ EbA: Adaptación basada en ecosistemas; Eco-DRR: Reducción del riesgo de desastres basado en ecosistemas; GI: Infraestructura verde; BI: Infraestructura azul; GBI = Infraestructura verde-azul; UF: Silvicultura urbana; SuDs: Sistemas sostenibles de drenaje urbano; EE: Ingeniería ecológica; BMPs: Mejores prácticas de gestión; LID: Diseño de bajo impacto; WSUD: diseño urbano sensible al agua; ESS: Servicios ecosistémicos.



paredes verdes o la restauración de áreas gravemente degradadas o contaminadas. El tipo 3 se relaciona con conceptos como infraestructuras verdes y azules (GBI) y el diseño asistido por animales.

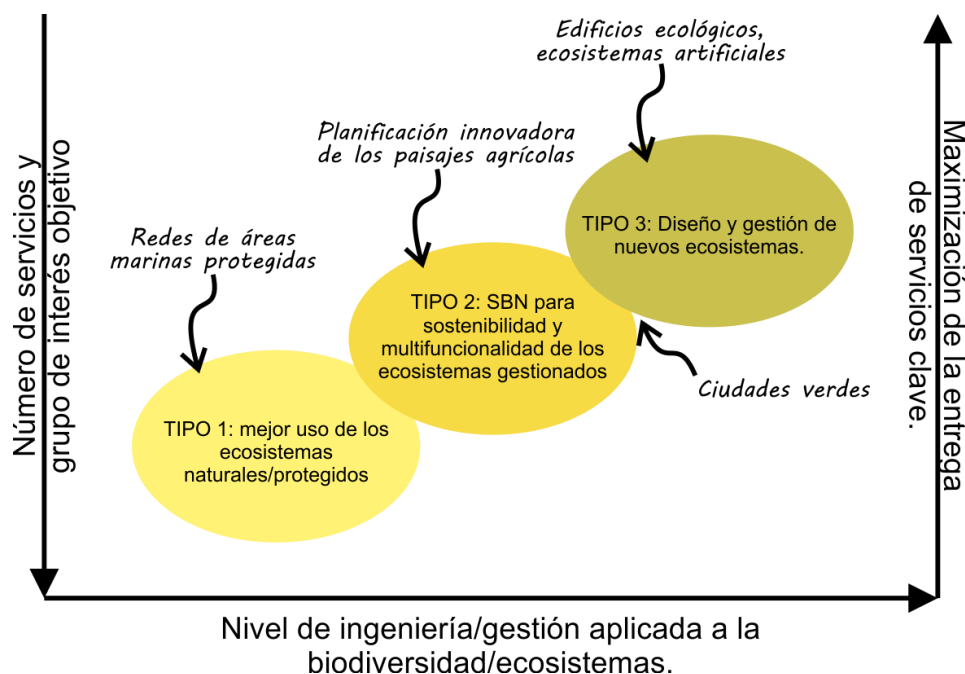


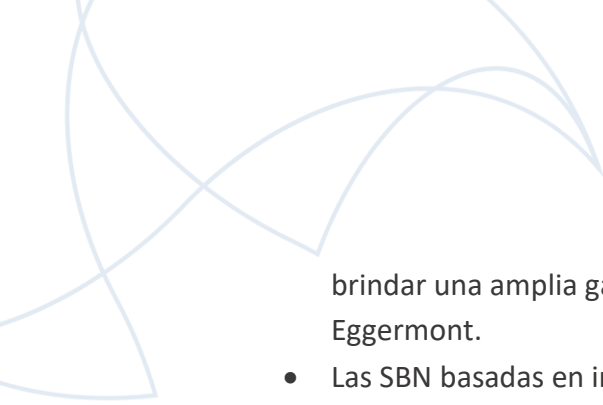
Figura 4. Representación esquemática de la gama de SBN propuesta por Eggermont.⁷
Fuente: Modificado a partir de (Eggermont, y otros, 2015).

Las SBN que se aplican en las ciudades se encontrarían reflejadas en los Tipos 2 y 3. Más recientemente, y cogiendo el testigo de Eggermont, encontramos una nueva clasificación propuesta por Castellar (Castellar, y otros, 2021) que es la que se utilizará como base de clasificación para las diferentes SBN en este proyecto (Figura 5), según se basen en unidades o en intervenciones:

- Las SBN basadas en unidades son tecnologías verdes o espacios urbanos verdes, ya sean autónomos o integrados en un conjunto más grande, es decir, combinados con otras SBN, infraestructuras grises o tecnologías convencionales, formando así complejos sistemas "vivos". Estas pueden ser parte de la infraestructura verde/azul o se pueden construir desde cero. Finalmente, estas unidades son capaces de replicar procesos que ocurren en la naturaleza para mejorar el desempeño del capital natural en las ciudades y así

⁷ Se definen tres tipos principales, que difieren en el nivel de ingeniería o gestión aplicado a la biodiversidad y los ecosistemas (eje x) y en la cantidad de servicios que se prestarán, la cantidad de grupos de partes interesadas objetivo y el nivel probable de maximización de la prestación de servicios específicos (eje y). En esta representación esquemática se encuentran algunos ejemplos de NBS.





brindar una amplia gama de ESS. Serían las del Tipo 3 de la clasificación de Eggermont.

- Las SBN basadas en intervenciones se refieren al acto de intervenir en ecosistemas específicos o en otras SBN mediante la aplicación de medidas o técnicas de apoyo natural a procesos y biodiversidad. Aunque estas SBN pueden proporcionar diversos co-beneficios, por lo general se aplican para lograr propósitos específicos (por ejemplo, preservar/mantener el capital natural, mejorar la calidad del suelo, prevenir/controlar la erosión). Serían las del Tipo 2 de la clasificación de Eggermont.

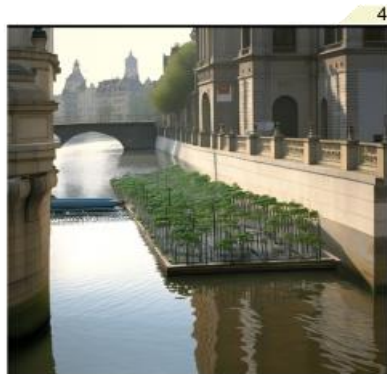


Figura 5. Clasificación y ejemplos de diferentes SBN.
Fuente: Elaboración propia a partir de (Castellar, y otros, 2021; Eggermont, y otros, 2015).

Desafíos que solucionan las SBN

Todas las SBN indicadas en la Figura 5 influyen positivamente en uno o varios desafíos a los que nos enfrentamos como sociedad:

Gestión del agua


La infraestructura construida no puede garantizar la seguridad y la resiliencia hídrica futura contra el cambio climático. La demanda de soluciones para la seguridad hídrica está aumentando en un contexto global en el que el estrés hídrico es un problema para una gran parte de la población mundial y, especialmente, en España. La aplicación de SBN puede ayudar a combatir el riesgo de crisis hídricas al aprovechar los servicios relacionados con el agua de la "infraestructura natural", como bosques, humedales, etc. La naturaleza no puede garantizar la seguridad hídrica en todas las situaciones, pero es un elemento fundamental en su gestión. Las SBN para la seguridad hídrica están contempladas en el ODS 6.

Seguridad alimentaria

Los enfoques técnicos en la producción de alimentos no son suficientes para mejorar la seguridad alimentaria. Son necesarias soluciones multidisciplinarias para adaptar los sistemas alimentarios a los cambios ambientales y abordar cuestiones más amplias, y es aquí donde hay muchos puntos de entrada para las SBN. Centrarse en la restauración, conservación y gestión de ecosistemas para brindar servicios puede ayudar a estabilizar la disponibilidad, acceso y uso de alimentos durante períodos de desastres naturales, cambio climático o inestabilidad política. Algunos ejemplos específicos que abordan esta problemática podrían ser el proteger los recursos vegetales de brotes de plagas y enfermedades (Macleod, 2016), o abordar conjuntamente la gestión del agua y la seguridad alimentaria (Hanjra, 2010). El ODS 2 (Hambre y seguridad alimentaria) proporciona soluciones para mantener los ecosistemas y desarrollar sistemas de producción de alimentos sostenibles.

Salud humana

El ambiente natural, específicamente los ecosistemas, el clima y la biodiversidad, son cada vez más reconocidos como determinantes e influyentes en la salud, el bienestar y la cohesión social humana. Existe una amplia gama de evidencia que detalla estos complejos vínculos y sus mecanismos subyacentes. Varios estudios se han centrado en cómo los beneficios de los encuentros con espacios verdes (ya sean activos o pasivos) pueden influir en la salud y el bienestar y cómo su mera presencia puede disminuir los riesgos en la salud laboral y las muertes por olas de calor extrema (Cox, y otros, 2017; lungman, y otros, 2023). Los ecosistemas como los bosques y los arrecifes de coral



también desempeñan un papel vital al proporcionar una fuente de medicamentos y productos farmacéuticos. Para capturar los múltiples beneficios de la naturaleza para la salud y el bienestar es necesaria una colaboración más amplia de las partes interesadas y la integración de la naturaleza en todas las áreas de la política. Los ODS 3 (Salud y bienestar), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (Acción por el clima) abordan el bienestar humano y se centran en los beneficios basados en la naturaleza.

Reducción del riesgo de desastres

En la última década, los desastres naturales han demostrado el papel que la naturaleza juega en la reducción de riesgos de desastres naturales. Tras el huracán Katrina, el Congreso de los Estados Unidos aprobó un presupuesto de 500 millones de dólares para la restauración de los parques nacionales costeros y las marismas, después de comprobar su capacidad para reducir los daños. Del mismo modo, el Gobierno de Japón anunció la expansión de sus bosques costeros, representados por el parque natural Sanriku Fukko, en vista de que estos bosques habían demostrado su eficacia para reducir los impactos del tsunami causado por el Gran Terremoto del Este de Japón en 2011 (Renaud & Murti, 2013). Estas experiencias demuestran que el papel regulatorio de los servicios ecosistémicos puede ser rentable en la reducción de riesgos de desastres que enfrenta la sociedad. El enfoque de la reducción de estos riesgos con SBN puede ser efectivo también para apoyar los esfuerzos de reducción de riesgos que ya realiza la comunidad. La implementación de esta estrategia también contribuye a varios de los ODS, como el ODS 1 (Fin de la pobreza), ODS 2 (Hambre cero), ODS 3 (Salud y bienestar), ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

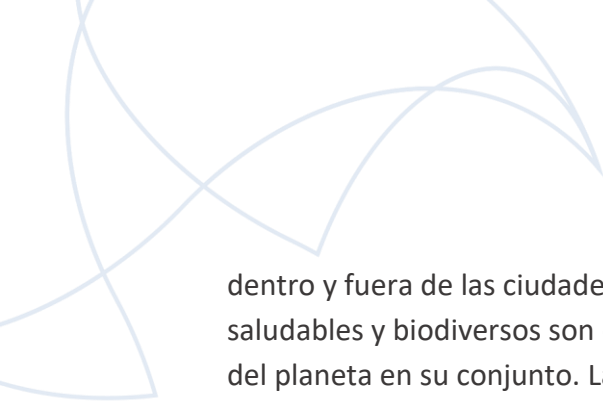
Cambio climático

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad hoy en día. La gestión de los ecosistemas puede contribuir al problema o proporcionar SBN efectivas para la mitigación y adaptación al cambio climático. Restaurar 350 millones de hectáreas de paisajes degradados o deforestados para 2030 puede secuestrar 1-3 mil millones de toneladas de CO₂eq por año y generar beneficios económicos y otros servicios de los ecosistemas, convirtiéndolo en una SBN rentable para el cambio climático (Better Growth Better Climate). Las SBN para el cambio climático también se abordan, en parte, por el ODS 13 (Acción por el clima).

Pérdida de biodiversidad

Las SBN pueden ayudar a reducir la pérdida de biodiversidad a través de la restauración y conservación de ecosistemas, además de mejorar la conectividad





dentro y fuera de las ciudades, por ejemplo, con pasos de fauna. Los ecosistemas saludables y biodiversos son esenciales para el bienestar humano y el funcionamiento del planeta en su conjunto. La restauración de los ecosistemas degradados, como la replantación de bosques y la creación de corredores verdes en ciudades, puede mejorar la biodiversidad y proteger a las especies en peligro de extinción. Dentro de los ODS 14 (Vida submarina) y ODS 15 (Vida en ecosistemas terrestres), las SBN aportan soluciones para alcanzar las metas.

Desafíos a los que se enfrentan las SBN

Por último, aunque las SBN ofrecen numerosos beneficios, también presentan algunos desafíos que deben ser abordados para su implementación exitosa, especialmente en las ciudades. A continuación, se presentan los más comunes:

- **Espacio limitado:** en las ciudades, el espacio disponible para la implementación de SBN puede ser limitado, lo que dificulta su implementación. Es importante encontrar formas innovadoras de integración como techos y paredes verdes, jardines verticales y otros espacios pequeños.
- **Competencia con otros usos del suelo:** en las ciudades, el suelo es un recurso escaso y valioso y hay una competencia constante por su uso. Las SBN deben competir en ocasiones con otros usos del suelo, como la calzada, la vivienda, la industria, etc.
- **Coste:** a menudo, las SBN requieren una inversión inicial significativa y algunos de sus beneficios, como la mejora de la calidad del aire y del agua, pueden tardar en manifestarse. Es importante tener en cuenta el coste a largo plazo y los beneficios potenciales al tomar decisiones sobre la implementación de SBN pues, aunque no impliquen ahorros directos, las SBN pueden suponer ahorros importantes en sectores como la sanidad al evitar externalidades negativas.
- **Mantenimiento:** las SBN, como los jardines y las zonas verdes, requieren un mantenimiento constante que puede ser costoso y requerir personal especializado. Es importante planificar y presupuestar el mantenimiento a largo plazo al implementarlas.
- **Adaptación al cambio climático:** las SBN pueden verse afectadas por el cambio climático y deben ser diseñadas y planificadas para adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes, como el aumento de la temperatura y la frecuencia de eventos climáticos extremos.



Islas de calor urbano

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Islas de Calor Urbano

Cuando la temperatura en una zona urbana es significativamente diferente de la de la zona periurbana circundante, hablamos de Isla de Calor Urbano (ICU). Las alteraciones hechas por el hombre en el territorio urbano, como la construcción de edificios y superficies impermeables como el asfalto, las aceras y el pavimento, así como el limitado espacio para zonas verdes, son las principales causas de que ocurra este efecto. La primera referencia a este fenómeno es de 1820, cuando Luke Howard publicó un análisis de 10 años de temperatura diaria en el que se demostraba que la ciudad tenía una temperatura artificialmente alta en comparación con el campo (Kolokotroni, Giannitsaris, & Watkins, 2006), aunque no sería hasta 1958 que se introdujera el término en la literatura (Gartland).

Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado y diferentes autores han encontrado una fuerte correlación entre las ICU y ciertas propiedades de la superficie terrestre (Amfield, 2003) como cambios en la dirección del viento local (Afifa, Pignatta, Topriska, & Santamouris, 2020), mayor uso de energía en áreas urbanas (Li, y otros, 2019), la generación de ozono a nivel del suelo, ligado a una mayor temperatura, la contaminación del aire (Taha, 2008), la afección a la biodiversidad urbana (Dale & Frank, 2014) y, finalmente, al bienestar físico y emocional de los residentes (Lungman, y otros, 2023). A continuación, se exponen las principales causas y efectos de las ICU en las ciudades:

Causas de las Islas de calor

- **Reducido espacio natural en áreas urbanas:** los árboles, la vegetación y los cuerpos de agua tienden a enfriar el aire al proporcionar sombra, transpirar agua de las hojas de las plantas y reducir la evaporación del agua superficial, respectivamente. Las superficies duras y secas en áreas urbanas, como techos, aceras, carreteras, edificios y estacionamientos, proporcionan menos sombra y humedad que los paisajes naturales y, por lo tanto, contribuyen a mantener temperaturas más altas.
- **Propiedades de los materiales urbanos:** los materiales convencionales utilizados en entornos urbanos, como pavimentos o techos, tienden a reflejar menos energía solar (bajo albedo⁸), absorbiendo y emitiendo más calor del sol

⁸ El albedo se refiere a la cantidad de radiación que una superficie refleja en comparación con la cantidad de radiación que recibe. Las superficies de colores claros tienen un albedo mayor que las superficies oscuras.

en comparación con los árboles, la vegetación y otras superficies naturales. A menudo, las ICU se forman a lo largo del día y se vuelven más pronunciadas después del atardecer y al anochecer debido a la liberación lenta de calor de los materiales urbanos. En la Figura 6 se puede ver un ejemplo de la importancia del efecto albedo en las superficies.

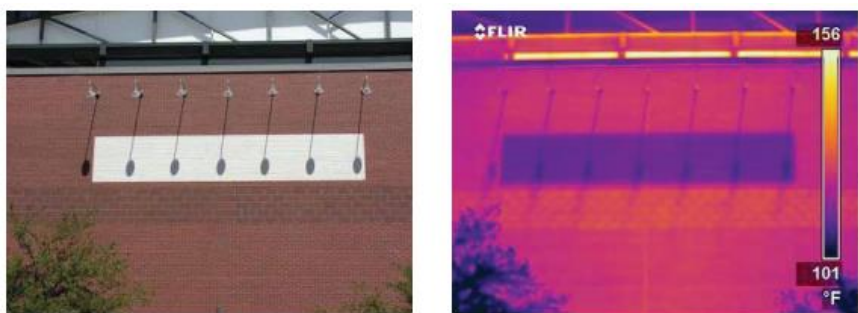
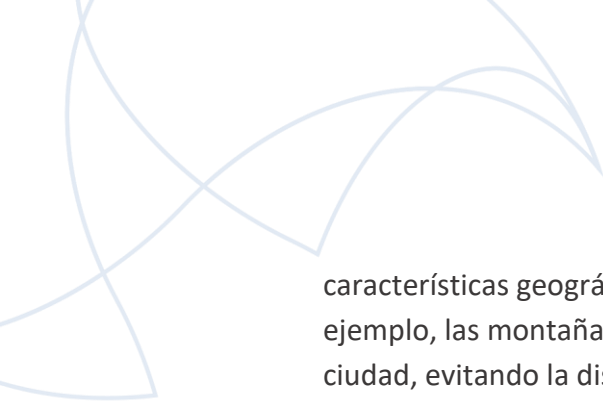


Figura 6. Efecto del albedo en la temperatura de las superficies.⁹
Fuente: (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

- **Planificación urbana:** las dimensiones y el espaciado de los edificios de una ciudad influyen en el flujo de viento y en la capacidad de los materiales urbanos para absorber y liberar energía solar. En áreas altamente desarrolladas, las superficies y estructuras obstruidas por edificios vecinos se convierten en grandes masas térmicas que no pueden liberar su calor fácilmente. Las ciudades con muchas calles estrechas y edificios altos se convierten en “cañones urbanos” que pueden bloquear el flujo de viento natural, que aportaría efectos refrescantes.
- **Calor generado por actividades humanas:** los vehículos, los aires acondicionados y colectores de humo, los edificios y las instalaciones industriales emiten calor al medio ambiente urbano. Estas fuentes de calor de origen humano, o de desperdicio antropogénico, pueden contribuir a aumentar los efectos de las ICU.
- **Clima y geografía:** las zonas con condiciones climáticas estables y con cielos despejados resultan en islas de calor más graves al maximizar la cantidad de energía solar que alcanzan las superficies urbanas y minimizar la cantidad de calor que puede ser transportado. Por el contrario, los vientos fuertes y la cobertura de nubes suprimen la formación de las islas de calor. Las

⁹ Este efecto, por sí solo, puede influenciar enormemente en la temperatura de una superficie. En la imagen se aprecia que la zona pintada de blanco está entre 3 y 5°C más fría que la zona alrededor.





características geográficas también pueden afectar el efecto de la ICU. Por ejemplo, las montañas cercanas pueden bloquear el viento que llega a una ciudad, evitando la dispersión correcta de la temperatura. A pesar de que esta es una característica en la que no se puede influir directamente, es importante tenerla en cuenta a la hora de realizar cualquier medida para disminuir los efectos de las ICU.

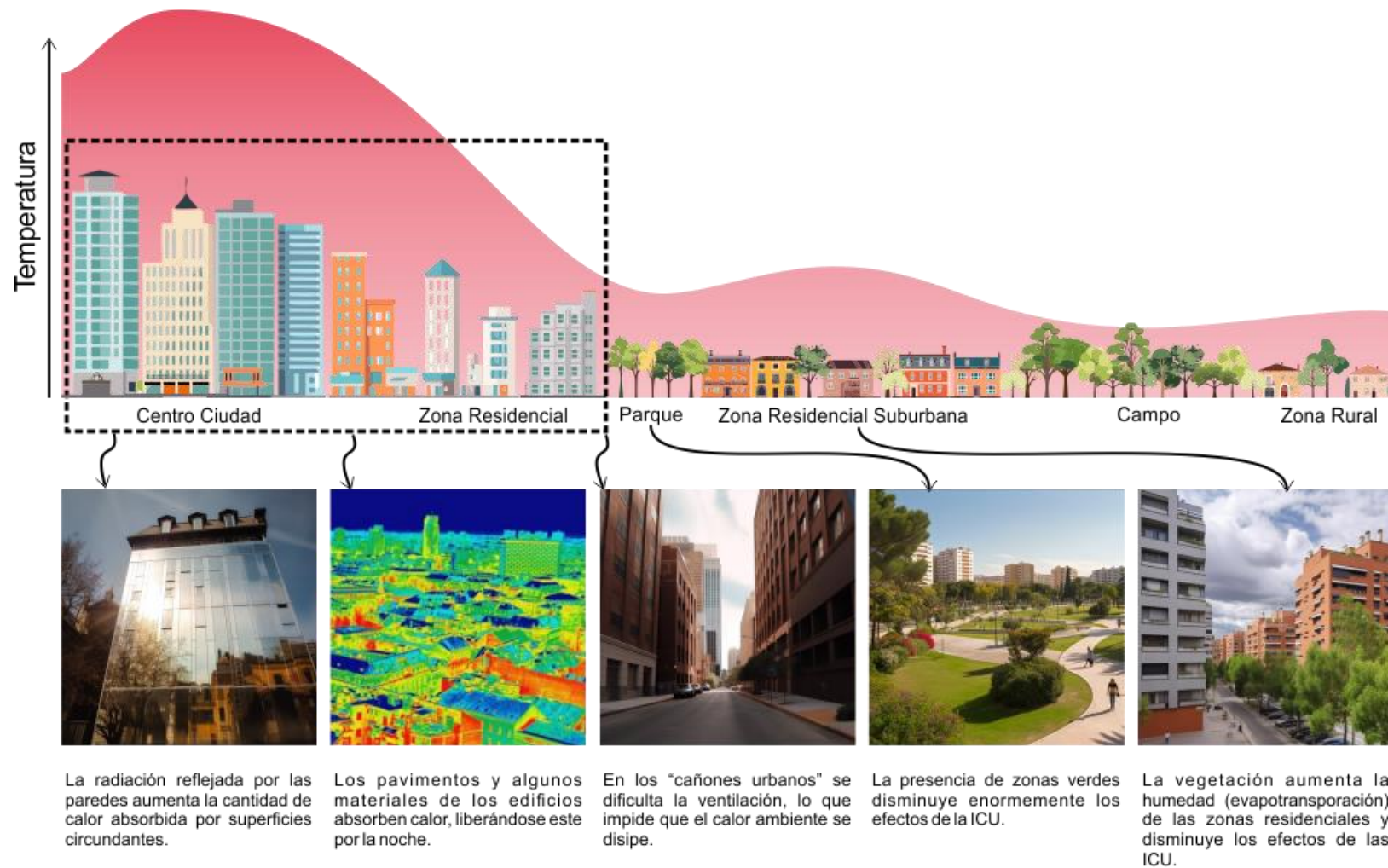


Figura 7. Efecto de la ICU en la temperatura dependiendo del tipo de uso que se dé al terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Impactos de las Islas de calor urbano

Variaciones en el consumo energético

Las ciudades en las que se produce este fenómeno deben regular las temperaturas tanto de los comercios como de las viviendas hasta encontrar un equilibrio térmico idóneo, lo que suele provocar un aumento en la demanda energética de los edificios. En las áreas donde la necesidad de refrigeración es importante, el aumento de la demanda energética en verano es mayor que la posible reducción en la demanda de calefacción en invierno. Este sería el caso de la gran mayoría de las ciudades españolas. Por otro lado, en aquellas áreas donde la calefacción es predominante, la isla de calor puede reducir la demanda energética total de los edificios (Santamouris M. , 2014), aumentando el confort durante los periodos fríos.

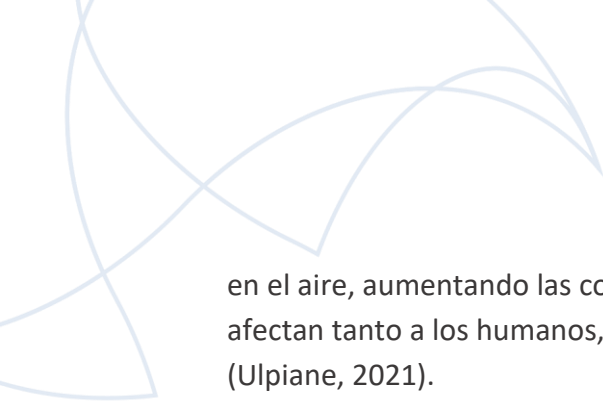
La intensidad de las ICU (denominada IICU y calculada como diferencia de temperatura entre un área urbana representativa y el fondo rural) puede alcanzar los 11/12 °C, con un aumento medio de refrigeración en edificios urbanos, frente a rurales, del 13,1%, un aumento de electricidad máxima por grado de aumento de temperatura entre el 0,45% y hasta el 4,6% y un incremento de electricidad por grado de aumento de temperatura y por persona de 21 ($\pm 10,4$) W/°C/persona (Ulpiane, 2021). Se calcula que la demanda promedio de energía de enfriamiento de los edificios residenciales y comerciales en 2050 aumentará hasta un 750% y un 275%, respectivamente (Santamouris M. , 2016).

En un estudio realizado en Barcelona (Salvati, Roura, & Cecere, 2017), para la zona mediterránea, se determinó que la máxima IICU era de 4,3°C durante el verano, incrementándose la carga de refrigeración¹⁰ entre un 18% y un 28%.

Impacto en la calidad del aire

Según la Organización Mundial de la Salud, casi toda la población mundial (99%) respira un aire que supera los límites de calidad y que pueden poner en riesgo su salud, siendo las personas con ingresos bajos las que sufren las exposiciones más altas a contaminantes como la materia particulada (PM10 y PM2.5), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el óxido de carbono (CO) o el ozono (O₃). La relación entre las ICU y las islas de contaminación urbana (UPI) ha sido ampliamente estudiada, encontrándose fuertes relaciones entre las causas de ambos fenómenos, las interrelaciones entre los diferentes contaminantes atmosféricos y cómo el aumento de la temperatura provocada por las ICU, acelera la velocidad de formación de contaminantes químicos

¹⁰ Carga de refrigeración (*cooling load* en inglés) es la cantidad de energía calorífica que se debería eliminar de un espacio para mantener la temperatura en un rango aceptable.



en el aire, aumentando las concentraciones de diferentes compuestos tóxicos que afectan tanto a los humanos, como a la biodiversidad e, incluso, al mobiliario urbano (Ulpiane, 2021).

En un estudio que analiza la relación entre la ICU y el aire contaminado de Seúl, se encontró que por cada °C que aumentaba la temperatura, se incrementaban las concentraciones de NO₂, CO, PM10 y PM2.5 en 0,01 ppm, 0,1 ppm, 3 µg/m³ y 2 µg/m³, respectivamente (Ngarambe, Joen, Han, & Yun, 2021).

Riesgos para la salud de los ciudadanos

Además de los riesgos derivados del aumento de contaminantes químicos en el aire, las altas temperaturas pueden incrementar el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor, como golpes de calor y deshidratación. Se han encontrado evidencias de que las ICU pueden intensificar los efectos adversos de las altas temperaturas en la salud, aumentando así los riesgos para la salud en poblaciones vulnerables (Cheng, Li, Liu, & Brown, 2021).

Impacto en la biodiversidad

Las ICU pueden afectar negativamente en la biodiversidad al reducir la disponibilidad de hábitats naturales y reducir la calidad de los ecosistemas urbanos, afectando por igual a la fauna y a la flora. En el primer caso, podemos encontrar que algunas especies migren a zonas más frescas, aunque otras pueden sufrir un aumento de mortalidad debido al estrés térmico. Pero, en la flora, que no puede migrar, puede provocar una pérdida de hábitat natural y reducir la diversidad y abundancia de especies, provocando que en las zonas más afectadas por las ICU algunas especies no puedan sobrevivir (Dale & Frank, 2014).

¿Pueden las SBN ayudar a reducir los impactos de las ICU?

Como se puede comprobar en el apartado Desafíos que solucionan las SBN, estas son unas herramientas que pueden servir a las ciudades para solucionar una gran cantidad de problemáticas a las que nos enfrentamos actualmente, como son, por ejemplo, la gestión del agua o el cambio climático.

Dentro del amplio abanico de soluciones que pueden ofrecer, diversos estudios y pruebas piloto han demostrado que las SBN, especialmente las de tipo 2 y 3 (ver Soluciones basadas en la naturaleza (SBN) para más información), son muy eficaces para disminuir los impactos de las ICU. En un reciente estudio (Iungman, y otros, 2023), en el que se estudiaron 93 ciudades europeas, concluyeron que aumentando

hasta el 30% de cobertura arbórea en las ciudades, se podrían disminuir 1/3 las muertes atribuibles a la temperatura (en la actualidad la cobertura arbórea en Europa es del 14,9%). Este aumento de la cobertura arbórea provocaría una disminución medible de la temperatura provocada por las ICU, enfriando los entornos urbanos.

Además de en la temperatura, las SBN también pueden influir en la turbulencia del viento, minimizando uno de los condicionantes que afectan a las ICU. Por ejemplo, se ha observado que, durante la noche, las corrientes de aire alrededor de los parques en las ciudades afectan microclimas de hasta 250 metros de distancia de estas zonas verdes.

La humedad también es un factor que las SBN pueden modificar, a través de la evapotranspiración de las plantas de las zonas verdes o de medidas que permitan un control efectivo de las aguas de lluvia y superficiales, como estanques de retención o humedales artificiales. Por ejemplo, el [proyecto RAMSES](#) concluyó que incrementando



las áreas verdes de la ciudad de Antwerp desde el 25% del uso actual hasta el 60% se produciría una disminución de casi 1°C en las zonas alrededor de los parques.

Además de los árboles, los techos y las fachadas verdes o jardines verticales también se consideran efectivos para mejorar el microclima, especialmente a nivel de edificios, lo que también puede reducir

Figura 8. Influencia de las SBN en el balance energético de un edificio.¹¹
Fuente: Elaboración propia.

drásticamente el consumo de energía, impactando considerablemente en la huella de carbono. Como se puede ver en la Figura 8, diferentes SBN afectan de manera global al microclima y a la temperatura de un edificio, a través de la evapotranspiración, el sombreado o el efecto albedo.

¹¹ Las SBN influyen enormemente en el balance energético gracias a la creación de sombras y al efecto albedo (mayor reflectancia), reduciendo la radiación solar recibida y la energía térmica emitida por las superficies. El agua evapotranspirada por las plantas contribuye a disminuir la temperatura del aire. Todos estos impactos provocan que los edificios necesiten usar menos el aire acondicionado, reduciendo el consumo energético y las emisiones de CO2 y proporcionando un ahorro económico.



Identificación de las ciudades españolas más afectadas por las islas de calor

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Identificación de las ciudades españolas más afectadas por las islas de calor

El cambio climático y la progresiva masificación de las ciudades harán que las olas de calor extremas aumenten, así como el efecto ICU, lo que, sin duda, ocasionará una gran cantidad de impactos para los ciudadanos, tal y como se ha descrito previamente. En la Figura 9 se puede observar cómo aumentará la ICU en diferentes ciudades europeas durante el verano, así como el número de olas de calor extremas en los próximos 30 años, en el peor escenario posible respecto al cambio climático, en el que no se alcancen los objetivos del Acuerdo de París y no se realicen acciones de mitigación y adaptación. El sur europeo sería el que mayor número de olas de calor extremo sufriría.

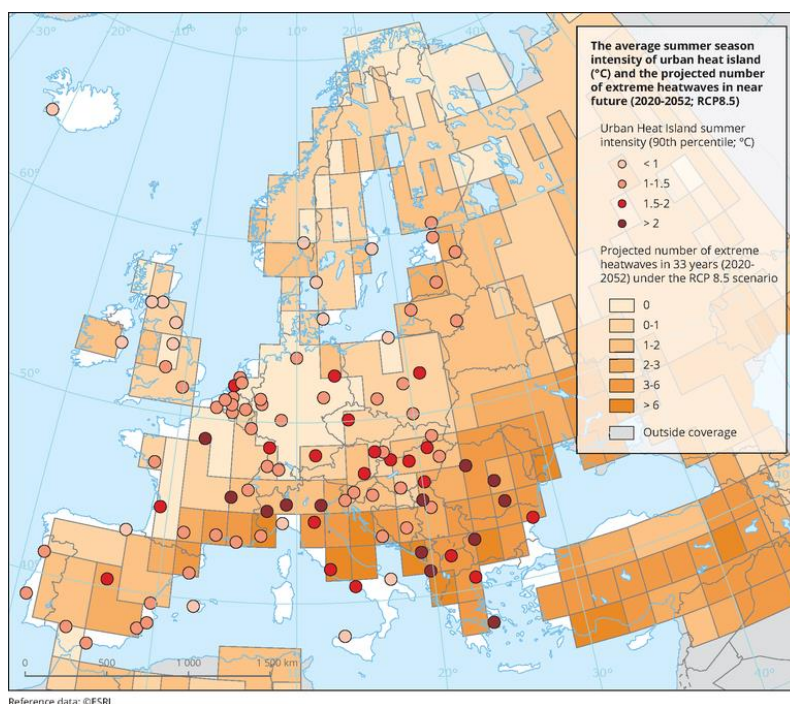


Figura 9. Intensidad media de la ICU durante la temporada de verano (en grados Celsius) y el número proyectado de olas de calor extremas en un futuro cercano (2020-2052; RCP8.5) para diferentes ciudades y territorios europeos. Fuente: [European Environment Agency](#).

En el caso de las ciudades españolas, aunque es cierto que todas estarán afectadas en mayor o menor medida por las ICU, nos centraremos en las cuatro más pobladas ya que serán las más antropizadas y las que sufrirán peores efectos de ICU:



Barcelona

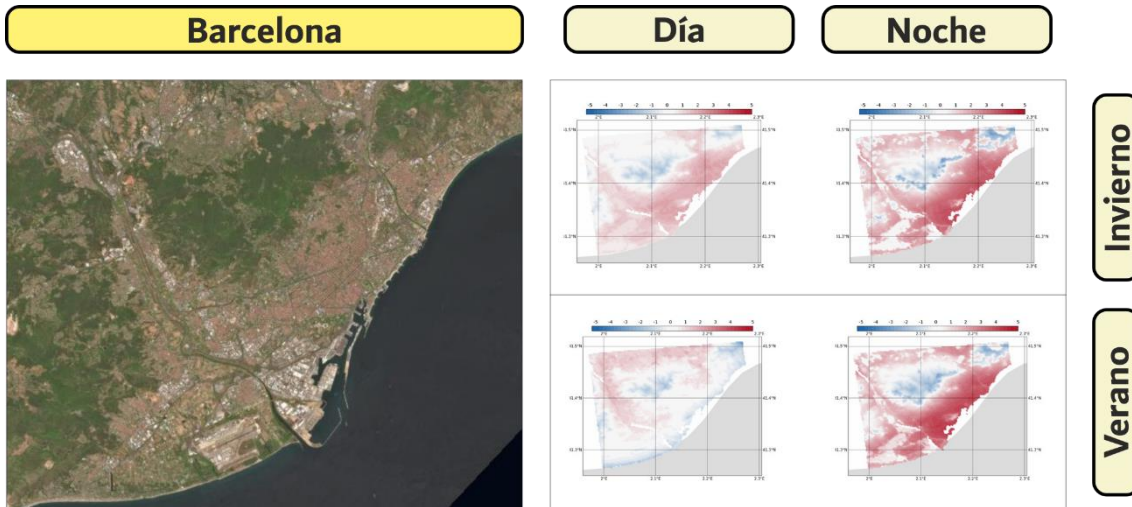


Figura 10. Efecto ICU en Barcelona en 2017, verano e invierno, durante el día y la noche.

Fuente: [Climate Data Story](#).

A pesar de que durante el día se aprecie una ola de calor de entre 1 y 2°C en la ciudad de Barcelona, es durante la noche cuando más acusado es este efecto, llegando a encontrarse zonas con hasta 5°C de ICU y no apreciándose una diferencia significativa entre la estación estival o la invernal. Es destacable cómo el Parque Natural de la Sierra de Collserola presenta una ICU de hasta 2°C menos que la zona circundante.

Como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, (METROBS, 2015), la ICU muestra formas concéntricas, con núcleo en el Eixample, y se va distribuyendo alrededor de toda el área urbana. La ICU es especialmente destacable este día, alcanzando los 7,5°C. En este estudio también concluyen que más del 90% de las noches, el centro de Barcelona es más cálido que su aeropuerto.

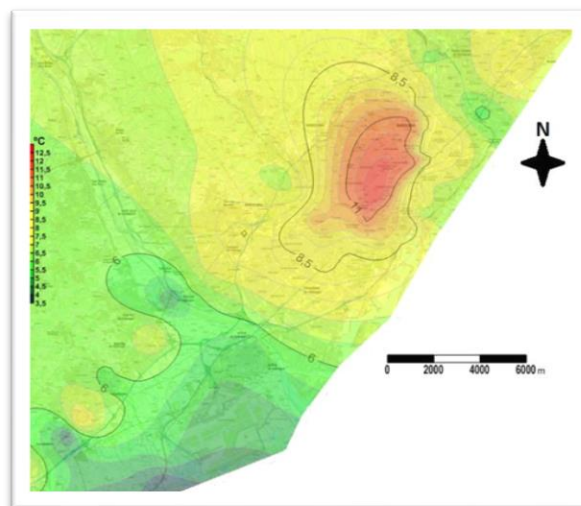


Figura 11. Configuración de la ICU en Barcelona y su área metropolitana (17/01/2015).

Fuente: (METROBS, 2015).



Madrid

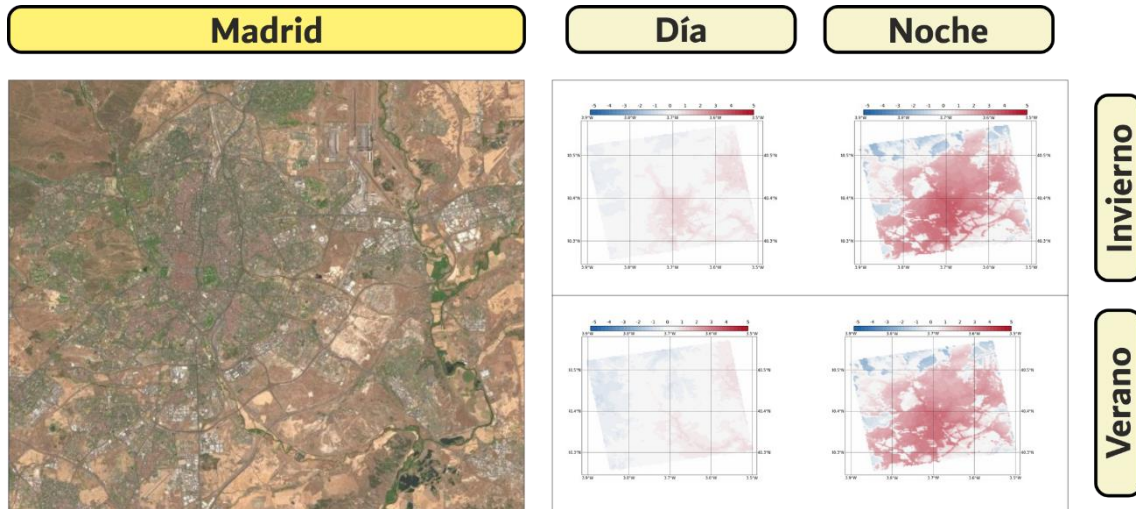


Figura 12. Efecto ICU en Madrid en 2017, verano e invierno, durante el día y la noche.

Fuente: [Climate Data Story](#).

Durante el día, el efecto de la ICU no es apreciable ($0-1^{\circ}\text{C}$), pero, durante la noche se distinguen claramente las zonas donde la ICU llega a alcanzar los 5°C . No hay una diferencia apreciable entre invierno y verano. Las zonas blancas corresponden a zonas con arbolado (parques) y a la zona conocida como “Monte de El Pardo”. En la Figura 13 se puede observar más en detalle cómo existen diferentes zonas en la ciudad de Madrid, llegándose a encontrar zonas con 33°C y zonas con menos de 29° . Las zonas más frescas se encuentran en las afueras de Madrid, con excepción de las zonas circundantes al Parque de El Retiro. Este parque, por su amplia extensión, tiene la capacidad de producir un efecto conocido como “Isla de frío de los parques urbanos”, efecto que se traduce en la reducción de temperatura que presentan los parques y sus alrededores en relación con el tejido urbano continuo dentro del que se encuentran.

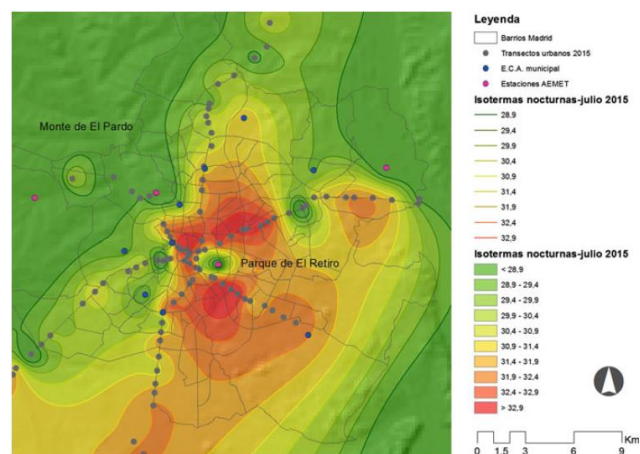


Figura 13. Isotermas nocturnas en Madrid, 15 de julio de 2015 ($^{\circ}\text{C}$).

Fuente: (Román López, 2017).



Sevilla

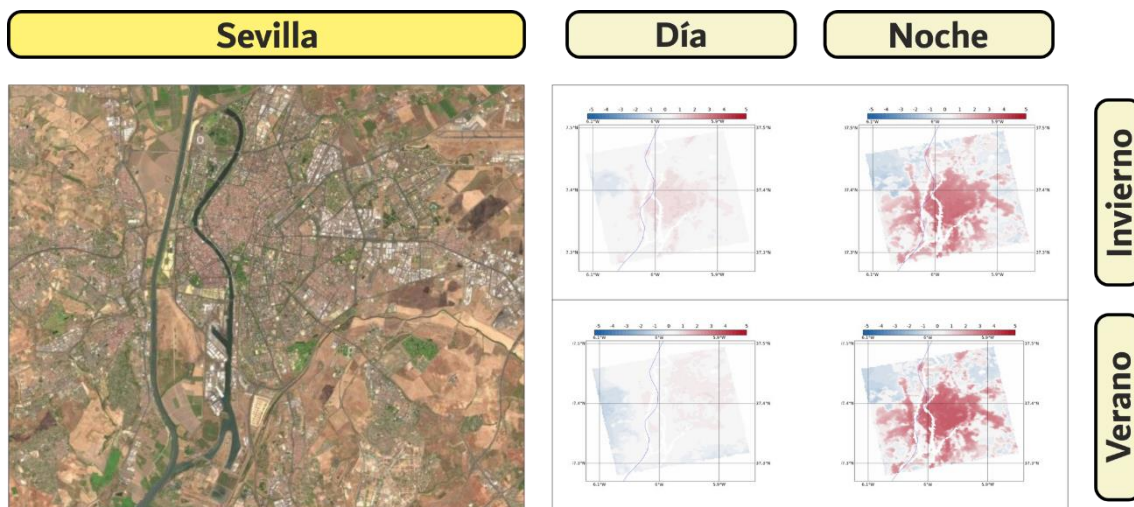


Figura 14. Efecto ICU en Sevilla en 2017, verano e invierno, durante el día y la noche.

Fuente: [Climate Data Story](#).

En la ciudad de Sevilla se aprecian diferencias en las ICU, tanto intradiarias como estacionales. Durante el día, la ICU está más distribuida en el centro de la ciudad, con una IICU de entre 1 y 2°C. Por la noche es cuando se producen las máximas intensidades, con una forma concéntrica, siendo ligeramente mayores en verano que en invierno y disminuyendo conforme nos alejamos del centro de la ciudad.

En un informe técnico realizado por CONAMA (De La Morena Carretero, y otros), que desarrolla un estudio sobre las diferentes IICU presentes en Sevilla, se determina que las IICU fuertes (de 4 a 6 °C) se pueden desarrollar a lo largo de todo el año, pero durante los meses cálidos la frecuencia se triplica con respecto a los meses fríos. En cuanto a las IICU más intensas (>6°C), las mayores frecuencias se encuentran entre julio y agosto.



Zaragoza

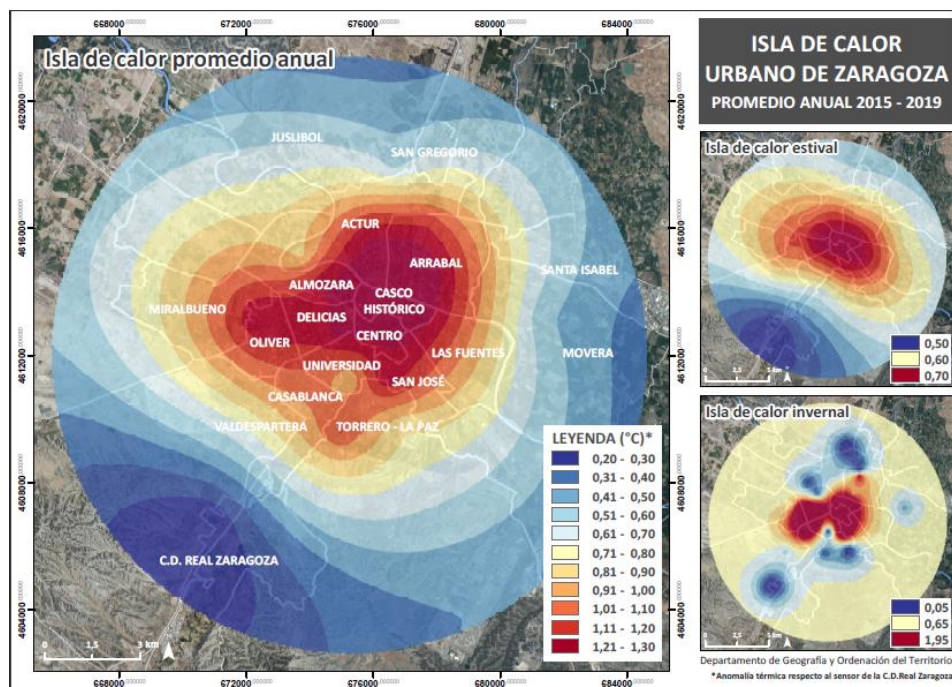


Figura 15. ICU promedio anual (izquierda) y estival e invernal (derecha) en la ciudad de Zaragoza entre 2015 y 2019.

Fuente: Zaragoza.es.

La isla de calor promedio anual en Zaragoza se caracteriza por ser concéntrica, disminuyendo su intensidad conforme se aleja del centro. Durante la época estival presenta una forma más alargada, siguiendo el curso del río Ebro, mientras que durante el invierno las islas de calor se encuentran localizadas en diversos puntos, encontrando incluso zonas que presentan diferencias térmicas notables dentro de la propia ciudad. En la Figura 16 se puede apreciar claramente el efecto que el río Ebro tiene sobre la ICU, ejerciendo de barrera natural de este efecto.



Figura 16. ICU de Zaragoza, con isotermas indicando las diferencias de temperaturas dentro de la zona urbana.

Fuente: [Atlas Climático de Aragón](#).



Análisis de la afección de las SBN en las ICU

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Análisis de la afección de las SBN en las ICU

Como se ha podido ir comprobando a través de los capítulos previos, la **renaturalización urbana se ha convertido en una estrategia clave en la búsqueda de soluciones sostenibles para los desafíos que enfrentan las ciudades modernas ante el cambio climático**. Esta estrategia implica la utilización y el desarrollo de SBN para la restauración y protección de los ecosistemas urbanos a través de la reintroducción de especies nativas, la creación de espacios verdes y el fomento de la biodiversidad en áreas urbanas, entre otros.

A nivel mundial, se han llevado a cabo diversos proyectos de renaturalización urbana con SBN que han sido considerados exitosos en términos de recuperación y protección de la biodiversidad, mejora de la calidad del aire y del agua, reducción de la huella de carbono y creación de espacios verdes para la recreación y el esparcimiento de los ciudadanos.

El análisis de los factores que componen estos proyectos exitosos nos permitirá identificar las mejores prácticas y las lecciones aprendidas en la implementación de SBN en diferentes contextos y a escalas reales. Además, el análisis de estos proyectos puede proporcionar información valiosa para el diseño de nuevas políticas públicas y programáticas que fomenten e incrementen la sostenibilidad y la calidad de vida en las ciudades del futuro.

A continuación, se presenta una descripción de cada una de las SBN que pueden influenciar en la reducción y mitigación de las ICU en las ciudades, con ejemplos de implementaciones exitosas alrededor del globo, además de otros aspectos en los que este tipo de soluciones también ayudan.



SBN basadas en unidades tecnológicas (Tipo 3)

Paredes verdes



Las paredes verdes, también conocidas como muros o fachadas verdes, son sistemas de vegetación instalados en la superficie de edificios y estructuras urbanas. Estos sistemas pueden estar compuestos de plantas trepadoras o cubiertas vegetales que crecen en la superficie del edificio y lo cubren con vegetación.

Las paredes verdes se pueden clasificar en 'fachadas verdes', en las que plantas trepadoras crecen hacia arriba o cuelgan desde la parte superior o inferior de un edificio, y 'paredes vivas' donde la vegetación se planta realmente en la pared utilizando una estructura modular o en forma de tapete. En el Anexo se puede encontrar una descripción más desarrollada, en el apartado de Paredes verdes.

A continuación, se muestra el efecto que estas SBN tienen sobre la temperatura de las ciudades y el consumo de energía, además de otros aspectos en los que también influyen.

Disminución de la temperatura

Las paredes verdes son una SBN que puede tener una gran influencia en la temperatura interna de los edificios donde se implanta, así como en los terrenos más próximos, debido al elevado albedo que proporciona, a la evapotranspiración de la vegetación y a la sombra que proyectan esas plantas en los materiales y superficies.

A continuación, se presentan diferentes estudios en los que se determina el efecto que tienen las paredes verdes en la temperatura interior de los muros y edificios, en la temperatura exterior y en la capacidad que tienen de amortiguar la temperatura de las zonas circundantes:

- En cuanto a la temperatura interior de los muros, y por lo tanto la temperatura interior del edificio, en Berlín, Alemania (Hoelscher, Nehls, Jänicke, & Wessolek, 2016) se pudo constatar **una reducción de 1,7°C en la temperatura media**



interior de los muros, en un clima oceánico según Köppen¹² (norte de la Península ibérica). En el mismo clima, pero en Reino Unido, se midió **una reducción de hasta 2,5°C de la temperatura** interior de los muros (Cuce, 2017). Usando paredes vivas, en un clima mediterráneo (L. Pérez-Urrestarazu, 2016), se consiguieron de **media 4,8°C de disminución de la temperatura** en el interior de los edificios.

- La reducción de la temperatura en las paredes exteriores de los edificios es mucho más notoria, encontrándonos, por ejemplo, **reducciones de 6,1°C** en climas oceánicos en Reino Unido, en días soleados, y 4,0° en días nublados (Cuce, 2017), o **5,5°C de reducción media en climas mediterráneos**, siendo esa diferencia mayor en los meses de julio y agosto (Gabriel Pérez, 2014). Si nos fijamos en las temperaturas máximas de reducción que se consiguen con las paredes verdes, podemos llegar a casos de **15,5°C de reducción** en climas oceánicos (Hoelscher, Nehls, Jänicke, & Wessolek, 2016).
- Las paredes verdes también tienen un efecto positivo en la reducción de la temperatura ambiente. Por ejemplo, estas pueden **reducir la temperatura de media entre 1,7 - 2,1°C** durante los días de verano en los cañones urbanos, llegando a máximos de 2,6 - 3,2°C en ciudades como Londres o Moscú (Eleftheria Alexandri, 2008). A una distancia de unos 2 metros desde la pared, se pueden encontrar **disminuciones desde 0,5 a 4,1°C** en climas oceánicos (Jiménez, 2018).
- En las ICU españolas, el periodo nocturno es, sin duda, el más relevante y sobre el que más debemos actuar, pues es cuando los materiales liberan el calor que han estado absorbiendo durante el día. A pesar de que la falta de estudios en este sentido es destacable, podemos encontrar algunos ejemplos, como el llevado a cabo en Italia (Giuliano Vox, 2018), que comprobó que la temperatura de los muros exteriores durante la noche era hasta **3,5°C inferior** en invierno, o en Reino Unido, donde se estudió que el efecto de la hiedra en las paredes podía **disminuir de media un 15% la temperatura de las paredes durante la noche** (Troy Sternberg, 2011).

Uso de energía

La amortiguación de la temperatura que proporcionan las paredes verdes tiene un efecto directo en el consumo energético, tanto del edificio donde se instala esta SBN

¹² La clasificación climática de Köppen consiste en una clasificación climática natural mundial que identifica cinco tipos de clima principales que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan cada clima y con ello el tipo de vegetación existente en ellas (Beck, 2018).



como en el entorno próximo. A continuación, se muestran algunos ejemplos de estudios y proyectos que han cuantificado este efecto:

- En los climas mediterráneos, el consumo de energía durante el periodo estival aumenta debido a los requerimientos de climatización, especialmente en las ciudades que presentan unas IICU elevadas. En Cataluña, clima mediterráneo, se comprobó que las paredes verdes podían lograr **reducir hasta un máximo del 58,9% las necesidades energéticas para climatización**, mientras que durante el periodo de calefacción los requerimientos energéticos no aumentaron (Julià Coma, 2017). En Grecia, también de clima mediterráneo, se constató una **reducción media del 13% en el consumo energético para climatización** (K.J. Kontoleon, 2010).
- En cuanto al consumo energético total, en el edificio de Ciencias de la Tierra de Toronto, en Canadá, se observó que la influencia que la pared verde tenía sobre el consumo energético total del edificio suponía una disminución del 8,0% de media (Bass, Liu, & Baskaran, 2003). El mismo dato se encontró al analizar un edificio comercial en Londres, con un 8,0% de reducción de consumo energético medio tras la instalación de esta SBN (ARUP, 2016).

Otras características

Las paredes verdes también pueden influir positivamente en la concentración de contaminantes químicos atmosféricos, logrando reducir la concentración de NO₂ un 26,5% o el PM10 un 36%, de media, en los cañones urbanos (IGNITION PROJECT, 2020).

También son una buena herramienta para la absorción de CO₂ del aire. Así, según el tipo de vegetación que se utilice, una pared verde es capaz de secuestrar desde 0,14 hasta 0,99 kg de C por m² al año (Michela Marchi, 2015).

Tejados verdes

Los tejados verdes, también conocidos como techos verdes o cubiertas vegetales, son una SBN con la que se cubre el techo de un edificio con una capa de vegetación.

Normalmente se diferencian dos tipos de tejados verdes:

- Extensivos: de una profundidad de 0 a 150 mm, brindan comodidades y normalmente son accesibles para uso recreativo. A menudo se les llama jardines o terrazas en el techo.



- Intensivos: con una profundidad de más de 150 mm, ofrecen un mayor interés en biodiversidad, pero se considera que son menos apropiados para proporcionar comodidades y beneficios recreativos que los extensivos.



Figura 17. Tejado con instalación fotovoltaica en el centro de Sídney, cubierto de hierbas y plantas autóctonas.
Fuente: Clean Energy Council.

Al igual que las paredes verdes, los tejados verdes también proporcionan beneficios a nivel energético y de confort térmico en los edificios, minimizando el efecto ICU:

Disminución de la temperatura

Al estar situados en las partes altas de los edificios, los tejados verdes tienen menos influencia que las paredes verdes en la temperatura ambiente de los cañones urbanos, pero tienen una influencia mayor para reflejar los rayos solares, por lo que su uso puede ser complementario junto a otras SBN. Además, aprovecha un espacio que muchas veces se encuentra infrautilizado, el techo, para proporcionar beneficios tanto a los residentes como a los ciudadanos.

- La temperatura ambiental alrededor de los tejados verdes disminuye, aunque en pequeña escala. En climas templados, los tejados verdes extensivos son capaces de **reducir la temperatura alrededor del tejado una media de 1,5°C** (J. Scott MacIvor, 2016), mientras que un tejado verde intensivo en clima oceánico redujo en 1,06°C la temperatura alrededor del tejado (A.F. Speak, 2013), llegando a 1,58°C por la noche, cuando las ICU son más intensas.
- Es en la temperatura del tejado donde los tejados verdes consiguen el máximo efecto, llegando a disminuir la temperatura de la superficie hasta en 30°C en ambientes tropicales (Nyuk Hien Wong, 2003). En climas más parecidos a los de la Península Ibérica, encontramos también grandes disminuciones de la



temperatura de la superficie, como en Atenas, que se pueden alcanzar máximos de 21,9°C (M. Foustalieraki, 2017). En un estudio experimental realizado en Francia, se comprobó **una reducción media de entre 5 y 10°C en la superficie del tejado, con máximos de 20°C** (Salah-Eddine Ouldboukhitine, 2014).

- **Dentro de los edificios, encontramos unas reducciones de entre 2 y 4°C para climas templados** (Issa Jaffal, 2012; Callaghan, Peck, Kuhn, & Arch, 1999), resultados parecidos a los que encontramos para otros climas.
- Aunque es un efecto limitado, los tejados verdes también producen un enfriamiento de los cañones urbanos, pudiendo lograr una disminución de 0,8°C en climas mediterráneos (Salah-Eddine Ouldboukhitine, 2014).

Uso de energía

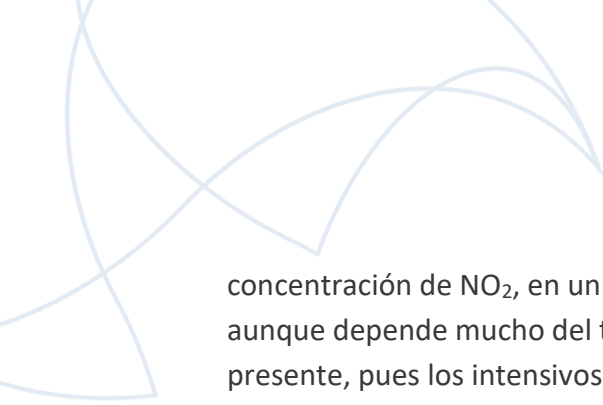
La influencia que los tejados verdes pueden tener sobre el consumo energético de un edificio varía mucho dependiendo de si es un edificio unifamiliar o multifamiliar, y de la relación superficie del techo / área del edificio. Una vivienda unifamiliar tendrá una relación alta, mientras que un edificio de viviendas tendrá una relación mucho menor.

- En cuanto al consumo de energía total, podemos encontrar que un tejado verde disminuye un 1% de media el consumo total de energía de un edificio multifamiliar en Madrid (Alcazar, 2005), mientras que puede suponer un ahorro de entre el 6% y el 15% de toda la energía consumida en edificios unifamiliares en todo el año (M. Foustalieraki, 2017; Issa Jaffal, 2012).
- Fijándonos solo en la reducción del consumo energético ligado a la climatización, en el estudio realizado por Jaffal (Issa Jaffal, 2012) se puede ver cómo afecta esta SBN cuando hay otras medidas de rehabilitación energética en los edificios unifamiliares. Para viviendas sin aislamiento, los tejados verdes pueden ahorrar entre un 15% y un 49% del consumo energético en climatización, mientras que para una vivienda completamente aislada puede suponer desde un 6% hasta un 33%. Si aislamos la última planta, podemos encontrar hasta un 76% de ahorro si se combina con un tejado verde. Según otro estudio que analiza la influencia de estas SBN en un edificio de oficinas en Atenas, puede conseguirse una reducción de un 40% de media de las necesidades de climatización (Spala & Bagiorgas, 2008).

Otras características

Al igual que las paredes verdes, los tejados verdes también influyen en la concentración de contaminantes químicos del aire, pudiendo reducir en un 24% la





concentración de NO₂, en un 14% el PM10 y, en general, una media de 77 kg/ha al año, aunque depende mucho del tipo de vegetación que se plante y del tejado verde presente, pues los intensivos, que pueden contar con ejemplares arbóreos o arbustivos, son mejores para la eliminación de contaminantes y la absorción de CO₂ (IGNITION PROJECT, 2020).

Además, este tipo de SBN permite reducir el riesgo de inundaciones en las ciudades, al amortiguar el efecto de las lluvias torrenciales, cada vez más propensas a ocurrir por los efectos del calentamiento global y el cambio climático. El suelo y las plantas consiguen retener la escorrentía enormemente, facilitando un flujo más lento de agua en las ciudades y evitando que los alcantarillados y las depuradoras colapsen (Conger, y otros, 2019).

Algo destacable es que los tejados verdes no solo disminuyen la temperatura del edificio o de las zonas circundantes o reducen el consumo energético, **sino que también presentan una simbiosis con otro de los usos que tienen los tejados, como es el autoconsumo fotovoltaico**. Además de todos los beneficios descritos, se realizó un estudio en Sydney (*Figura 17*) en el que se compararon dos tejados con una instalación fotovoltaica con características similares, pero uno con suelo desnudo debajo y otro con un tejado verde. Durante los 8 meses que duró el estudio, el tejado convencional produjo 59,5 MWh, mientras que el que tenía la cubierta verde produjo 69 MWh. Este aumento de la eficiencia se debió a que el tejado verde mantenía las placas a menor temperatura, sobre todo durante las horas de más irradiación (Irga, y otros, 2021).

SBN basadas en unidades espaciales (Tipo 3)

Unidades de vegetación mixta (espacios verdes)

Estas SBN son áreas abiertas en las ciudades, natural o artificialmente cubiertas de vegetación (por ejemplo, césped, arbustos o árboles), donde el agua puede filtrarse a través del suelo y la vegetación. Pueden ser desde campos de juego, ambientes altamente mantenidos o paisajes relativamente naturales.

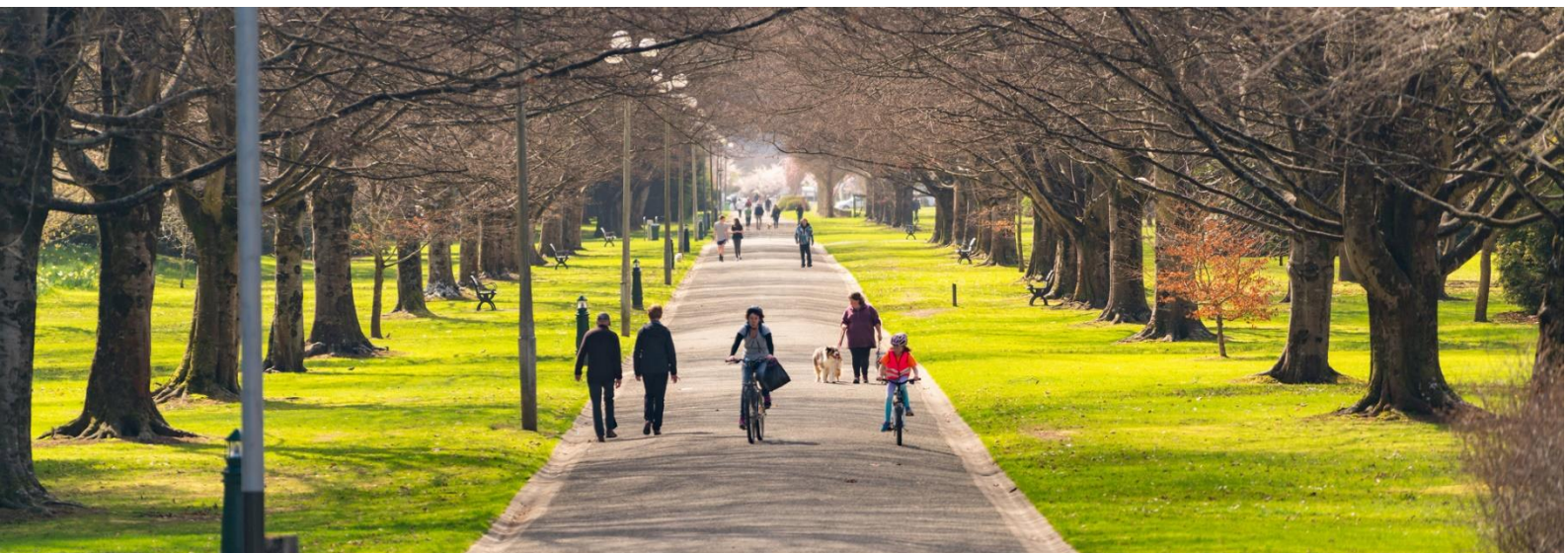
Las capacidades de estas soluciones para tratar con los problemas de las ICU varían enormemente, principalmente teniendo en cuenta de cómo se encuentran integradas dentro de la ciudad, es decir, si es a través de corredores verdes o unidades aisladas, de su tamaño y de la vegetación utilizada.

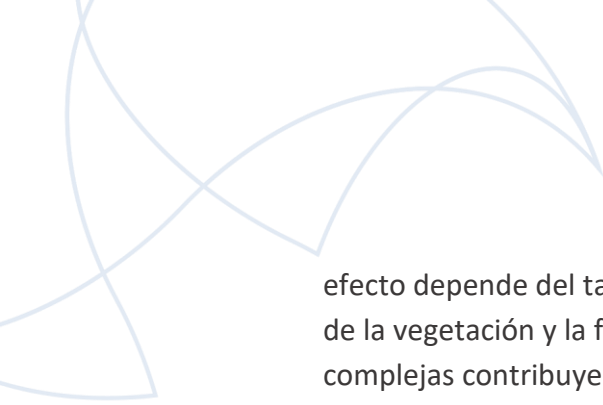


Disminución de la temperatura

Las áreas verdes, al igual que las previas SBN, son capaces de amortiguar la temperatura de las ICU gracias al efecto albedo, la evapotranspiración y la sombra que ocasionan. Estas SBN tienen una capacidad mayor de influir en los microclimas urbanos:

- Las áreas verdes son capaces de reducir la temperatura media del aire de la zona durante el día. Por ejemplo, en un clima oceánico, **un parque de unas 100 ha tiene unos 2°C menos de media todo el año**, con una reducción de 1,1°C durante un día de verano, con un aumento de un 5% de los árboles caducifolios maduros (Kieron J. Doick, 2014). Parques más pequeños tienen una capacidad menor de refrigeración del ambiente; por ejemplo, un parque con 50 ha puede tener unos 0,6°C de temperatura media inferior (Watkins, 2002). Por otro lado, un área verde más grande es capaz de amortiguar mucho más la temperatura, como por ejemplo en Eslovenia, donde **un parque de casi 200 ha puede reducir la temperatura de media 4,8°C** en un clima más continental (Vidrih & Medved, 2013). En un estudio que realizaba un metaanálisis sobre la capacidad de disminuir la temperatura de las áreas verdes con respecto a las áreas no verdes (Knight, Price, Bowler, & King, 2016), se concluyó que **las áreas verdes tienen alrededor de 1°C menos que las áreas no verdes**.
- Por la noche, las áreas verdes siguen reduciendo la temperatura de las ICU. Este último metaanálisis mencionado, indica que las áreas verdes tienen 1,15°C menos que las áreas no verdes. Y si nos fijamos en el mismo parque de 100 ha, durante la noche tiene 4°C menos que las áreas circundantes.
- Pero, lo más interesante de los parques es la capacidad que tienen de influir en las áreas de alrededor. El parque de 50 ha mencionado anteriormente puede disminuir la temperatura de un área de hasta 400 metros alrededor suyo, en lo que se denomina **isla de frío de los parques (IFP)**. En un estudio que analizaba 21 **parques urbanos de climas templados y secos, se comprobó que el efecto IFP era de hasta 224 m**, mientras que **en templados y húmedos (norte de la Península), podían llegar hasta los 500 m** tras un análisis de 92 parques. Este





efecto depende del tamaño del parque, la temperatura estacional, la densidad de la vegetación y la forma del parque. Un mayor tamaño, densidad y formas complejas contribuyen a mayores distancias de enfriamiento.

Uso de energía

A pesar de existir literatura y estudios sobre cómo las áreas verdes pueden reducir nuestro consumo energético, hay muy pocas referencias realizadas en climas mediterráneos u oceánicos. Por lo tanto, y a falta de datos cuantificables en posteriores estudios, la mejor aproximación que podemos usar para cuantificar cuanto ahorran las áreas verdes, es que habrá una disminución de electricidad por grado de disminución de temperatura y por persona de 21 ($\pm 10,4$) W/°C/persona. Esta aproximación se extrae de (Ulpiane, 2021).

A modo de ejemplo, tal y como se puede ver en la Figura 13, el parque de El Retiro, un parque de unas 125 ha, tiene un efecto IFP bastante acusado en la ciudad de Madrid, llegando en 500 metros a pasar desde menos de 28,9°C hasta 30,4°C, es decir, tiene un gradiente de 3°C/km. La población que vive en un radio de 1 kilómetro desde el parque de El Retiro se estima en 27.000 personas ([Enlace al mapa](#)). En ese km, habrá un área más próxima al parque que tenga 3°C menos que la zona más alejada, así que para facilitar el ejemplo supondremos que toda la zona tiene 1,5°C menos, y usaremos 8 horas para simular la noche de verano. Usando la equivalencia de Ulpiane, el Retiro supone un ahorro para la ciudad de Madrid de 3.024 kWh por noche.

Otras características

Como ocurre con la inmensa mayoría de SBN, las áreas verdes pueden proporcionar otros beneficios al entorno. En un análisis en seis parques distintos, en los que se midieron las concentraciones de NO₂, SO₂ y PM₁₀, se concluyó que las áreas verdes contribuían a eliminar el 2,6%, el 5,3% y el 9,1% de los contaminantes, respectivamente (Shan Yin, 2011).

Además, también ayudan a evitar las inundaciones y a facilitar la infiltración de las aguas de lluvia, disminuyendo la escorrentía más de un 90% para un evento de tormenta de 40 mm/hora (lluvia muy fuerte), desde los 34,3 L/m² (en una zona sin áreas verdes) hasta los 3,36 L/m² (Pauleit & Duhme, 2000).



Unidades arbóreas (árboles)

Los árboles suelen presentarse como individuos aislados, pero, en conjunto, proporcionan unas externalidades positivas para las ciudades lo suficientemente importantes para ser consideradas en la categoría de SBN. Normalmente, se utilizan en aquellos lugares que se encuentran muy antropizados y donde la posibilidad de realizar actuaciones de mayor envergadura (como áreas verdes) sería muy costoso. En ocasiones, también se pueden utilizar para conectar espacios verdes, favoreciendo la creación de corredores verdes.

A pesar de que su contribución pueda parecer menos importante que otras SBN aquí descritas, no es ni mucho menos el caso.



Disminución de la temperatura

Los árboles pueden proporcionar sombra, aumentar la humedad en las zonas próximas a ellos, a través de la evapotranspiración, y reflejar los rayos de sol, evitando que estos lleguen a otros materiales que absorban el calor.

- Las copas de los árboles absorben y reflejan la radiación solar recibida por los materiales urbanos impermeables, reduciendo así la temperatura del aire entre 1 y 2°C en climas oceánicos (Armson, 2012). En Australia se comprobó que el aire más próximo a los árboles tenía hasta 1°C menos. Según un reciente estudio, **aumentar hasta el 30% la cobertura arbórea de las ciudades europeas podría disminuir una media de 0,4°C** (lungman, y otros, 2023). Por ejemplo, según este estudio, **la ciudad de Barcelona podría disminuir 0,7°C y la de Murcia 0,66°C de media**.
- En Alemania, tras analizar la influencia de la sombra de los árboles en la temperatura de las superficies, se comprobó que **los árboles podían hacer que una zona de asfalto con sombra tuviera hasta 15°C menos que una zona de asfalto sin sombra** (Gilner, 2015). Resultados parecidos se obtuvieron en Reino Unido, Suiza y Australia, encontrando reducciones de 12, 10 y 9°C, respectivamente (Armson, 2012; Leuzinger, Vogt, & Körner, 2009; Rowan Berry, 2013).



Uso de energía

En este caso, y al contrario de lo que ocurría con las áreas verdes, sí que podemos encontrar una gran cantidad de estudios que cuantifican los efectos de los árboles en el consumo de energía de las viviendas.

- En cuanto a los ahorros de energía para climatización, en un metaanálisis de 34 estudios, con una amplia mayoría de climas mediterráneos y semi-áridos, se extrajo un rango de que **cada árbol suponía un ahorro energético de entre 23 y 288 kWh de climatización** (Xiao Ping Song, 2018).
- Atendiendo a las modificaciones en el consumo energético debido a calefacción, **cada árbol puede suponer un ahorro desde -3 hasta 842 kWh** (Xiao Ping Song, 2018). La elevada variabilidad se debe a la influencia del lugar de implantación del árbol, el tipo de árbol, el clima, etc. En Escocia se comprobó que, con una buena plantación de una hilera de 10 árboles, un edificio de oficinas podía ahorrar hasta el 18% de su consumo energético en calefacción (Liu & Harris, 2008).

Otras características

Multitud de estudios y proyectos han permitido determinar los servicios ecosistémicos que los árboles proveen para los ciudadanos y la biodiversidad en las ciudades. Además de eliminar la polución del aire, a razón de 0,17 kg/año/árbol de NO₂ y 0,11 kg/año/árbol de PM10, también secuestran una gran cantidad de carbono de la atmósfera, eliminando parte del CO₂ (IGNITION PROJECT, 2020). Por ejemplo, en un estudio en el que se analizaba el flujo de CO₂ de la ciudad de Nueva York durante el verano, se comprobó que, gracias a la fotosíntesis de los árboles y a los ecosistemas vegetales, eran capaces de absorber el doble de las emisiones que producían todos los vehículos de la ciudad, llegando casi hasta el 40% de las emisiones totales (Dandan Wei, 2022). Este estudio concluye que aumentando un 20% más de árboles en las megaciudades se duplicarían los beneficios de los bosques urbanos, como la disminución de la contaminación, el secuestro de carbono y la reducción de energía.

Además, los árboles también nos ayudan enormemente en nuestra salud y bienestar mental. Un estudio realizado en Londres descubrió una relación entre el número de prescripciones de antidepresivos y la cantidad de árboles en la calle. Por cada árbol por kilómetro de calle, había 1,38 prescripciones menos de antidepresivos por cada 1.000 habitantes (Mark S. Taylor, 2015).



SBN basadas en intervenciones (Tipo 2)

Este tipo de soluciones se basan en la implementación de acciones concretas en el terreno para mejorar el estado y la capacidad de los ecosistemas naturales. Estas intervenciones se sustentan en procesos naturales y utilizan la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales con el objetivo de mejorar la calidad del medio ambiente y los servicios ecosistémicos que proporcionan tanto a la biodiversidad como a la salud humana.

Algunos ejemplos de SBN tipo 2 son:

- Restauración de hábitats naturales, como bosques, humedales y arrecifes de coral, para mejorar la calidad del agua, proteger contra la erosión del suelo y proporcionar refugio para la biodiversidad.
- Implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la agroforestería y la rotación de cultivos, para mejorar la calidad del suelo, reducir la erosión y aumentar la productividad.
- Implementación de técnicas de gestión de agua sostenible, como la restauración de ríos y la construcción de infraestructura verde, para mejorar la calidad del agua y reducir el riesgo de inundaciones.
- Creación de corredores ecológicos para conectar áreas protegidas y permitir el movimiento de especies de la fauna silvestre.

Al contrario de lo que sucede con las acciones de tipo 3, este tipo de SBN requieren de características específicas del entorno, como la presencia de ríos o humedales, terrenos agrícolas, bosques naturales o arrecifes de coral, por lo que los proyectos que se implementan en las ciudades son más difíciles de replicar y el análisis de estos más complejo. A pesar de ello, este tipo de proyectos suele tener un impacto mucho mayor en extensión y beneficios ecosistémicos para la ciudad, porque buscan restaurar ecosistemas que se ya encontraban en el territorio antes de su degradación.

A continuación, se muestra un análisis de tres proyectos de SBN tipo 2 realizados en Brasil, Corea del Sur y Singapur (Figura 18):



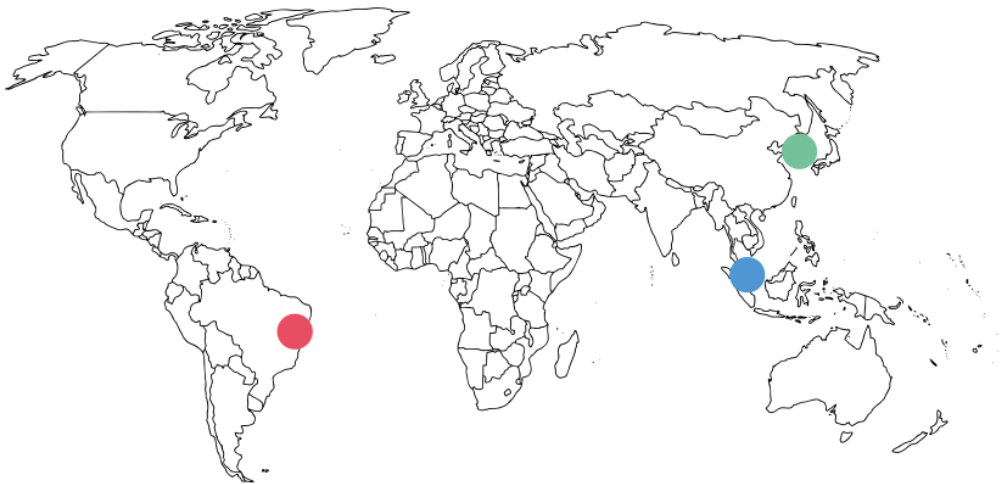


Figura 18. Mapa del mundo representando los tres proyectos de SBN tipo 2. En rojo el presente en Salvador de Bahía, Brasil. En verde el presente en Seúl, Corea del Sur. En azul el presente en Singapur.
Fuente: Elaboración propia.

Proyecto 1: Salvador de Bahía, Brasil. La recuperación de la selva tropical aumenta la resiliencia climática

Salvador de Bahía, Brasil, es una ciudad costera ubicada en el noreste de Brasil, que está experimentando efectos del cambio climático como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra. Para abordar estos desafíos ambientales, se ha



implementado un proyecto de recuperación de la selva tropical en la región.

El proyecto tiene como objetivo principal restaurar la biodiversidad de la selva tropical y mejorar la calidad del agua en la región, lo que aumentaría la resiliencia climática de la ciudad frente a los impactos del cambio climático. La selva tropical tiene un papel importante en la regulación del clima, ya que actúa como un sumidero de carbono y ayuda a mantener un equilibrio en el clima regional.

La iniciativa de recuperación de la selva tropical implica la reforestación de áreas degradadas y la creación de corredores ecológicos que conecten

las áreas restauradas, para permitir el flujo de la biodiversidad y mejorar la conectividad del ecosistema. Además, se están implementando prácticas de gestión sostenible de los recursos naturales, como la protección de los ríos y la conservación del suelo.





Figura 19. Ciudadanos de Salvador de Bahía plantando árboles, como parte del proyecto para recuperar la selva tropical.

Fuente: [C40knowledge](#).

En total, se han plantado más de 30.000 árboles de diferentes especies, todas especies adaptadas y pertenecientes a la selva tropical. Además, se han creado 39 zonas de conservación, cubriendo 19 km², lo que ha permitido restaurar, en gran medida, un ecosistema degradado. En datos cuantitativos, este proyecto proporciona 13,3 m² de espacios verdes por persona en la ciudad, además de suponer un sumidero de carbono de 200.000 toneladas de CO_{2e} en 20 años.

Pero, si además tenemos en cuenta los efectos de regulación de los microclimas que poseen las áreas verdes, podemos asegurar que con este proyecto se ha reducido la IICU de Salvador de Bahía y se ha producido una disminución en el consumo energético de la ciudad. Usando estimaciones, esos 30.000 árboles podrían suponer hasta 25 GWh/año de ahorro energético para climatización en la ciudad de Salvador de Bahía (Xiao Ping Song, 2018).

Proyecto 2: Seúl, Corea del Sur. Revitalización del arroyo Cheonggyecheon

El arroyo Cheonggyecheon es un río histórico que atraviesa el centro de Seúl, la capital de Corea del Sur. Durante décadas, este arroyo había estado enterrado bajo una carretera elevada que se construyó en la década de 1960 para hacer frente al aumento



del tráfico (Figura 20). Sin embargo, esta estructura resultó ser un fracaso, generando un aumento de la congestión del tráfico y de la contaminación ambiental, no cumpliendo con su propósito original. En 2003, el gobierno de la ciudad de Seúl decidió realizar un ambicioso proyecto de revitalización del arroyo, que incluía la demolición de la carretera elevada y la recuperación del cauce del río.



El proyecto de renaturalización se completó en 2005 y fue uno de los mayores proyectos de construcción en la historia de Seúl. La carretera elevada de seis carriles fue demolida y se excavó una zona de 5,8 km a lo largo del cauce del río, creando un canal de agua fresca y transparente en medio de la ciudad. Además, se construyeron puentes y senderos para peatones, árboles, bancos y áreas verdes a lo largo del río, lo que ha mejorado significativamente la calidad del espacio público y la calidad de vida de los residentes (Figura 21).



Figura 20. Antes (izquierda) y después (derecha) de la renaturalización del arroyo Cheonggyecheon.
Fuente: [Landscape Performance Series](#).

Esta SBN ha tenido efectos significativos en los aspectos ambientales, sociales y económicos. En términos ambientales, el proyecto ha proporcionado protección contra inundaciones y aumentado la biodiversidad en la zona. Además, ha disminuido la contaminación del aire, reduciendo la concentración de PM10 un 35% en la zona, y el efecto de ICU alrededor del arroyo, bajando la temperatura ambiente entre 3,3 y 5,9°C.





Figura 21. Ejemplo de un tramo del arroyo renaturalizado en Seúl.
Fuente: [Landscape Performance Series](#).

En el aspecto social, el proyecto ha aumentado el uso del transporte público en la zona, atrayendo a un gran número de visitantes y turistas extranjeros. Por otro lado, en el ámbito económico, se ha observado un aumento en el valor del suelo y en el número de negocios en la zona restaurada, lo que ha llevado a una mayor actividad económica.

En general, los efectos del proyecto de restauración del arroyo Cheonggyecheon han sido positivos y multidimensionales. Estos resultados son un ejemplo de los beneficios potenciales de la restauración de zonas urbanas degradadas y del impacto que puede tener en la calidad de vida de las personas que habitan en ellas.

Proyecto 3: Singapur. Renaturalización del parque Bishan-Ang Mo Kio

En 2009, el parque Bishan-Ang Mo Kio, en Singapur, abarcaba 52 hectáreas de terreno, principalmente compuestas de áreas verdes. A su lado, había un pequeño río que corría por un gran canal de hormigón, utilizado para controlar las inundaciones provocadas por las lluvias, que necesitaba una actualización (Figura 22).





Inicialmente, se planeó renovar tanto el parque como el canal de hormigón para aumentar su capacidad y poder manejar eventos de lluvia más intensos. Sin embargo, las dos instituciones gubernamentales encargadas del agua, la Junta de Servicios Públicos y la Junta de Parques y Naturaleza, decidieron colaborar con un consorcio de arquitectos paisajistas y empresas de ingeniería con el fin de desarrollar un nuevo enfoque para la planificación de parques y ríos en Singapur.

De esta manera, el parque Bishan-Ang Mo Kio se convirtió en el primer parque en Singapur en integrar un elemento azul, un río renaturalizado serpenteando a través del parque en bancos verdes.

En 2015 se realizó un análisis del costo-beneficio de este parque (National University of Singapur, 2015), que concluyó que la integración de infraestructuras verdes y azules, como se hizo en el parque Bishan-Ang Mo Kio, puede proporcionar beneficios significativos tanto para el medio ambiente como para las personas.

Si analizamos los beneficios ambientales, el estudio identifica una mejora en la biodiversidad, como la presencia de más de 100 especies de aves y 40 especies de libélulas, así como la identificación de más de 50 especies de mariposas y polillas. También se observó una mejora en la gestión de riesgos climáticos, como la mitigación de inundaciones y la adaptación al cambio climático, incluyendo la disminución de las temperaturas y el efecto ICU, la sequía y la erosión. En cuanto a los beneficios socioeconómicos, se observó un aumento significativo en el valor socioeconómico del parque y de la zona, un ahorro de costes de capital y un aumento en la cantidad de visitantes.

El proyecto de infraestructura azul-verde tuvo un coste de 75 millones de dólares y actualmente tiene gastos de funcionamiento anuales de 4,45 millones de dólares. Sin embargo, según una estimación conservadora, los beneficios socioeconómicos del proyecto, en términos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ascienden a 105 millones de dólares al año. Estos resultados destacan la importancia de considerar no solo los costes directos del proyecto, sino también los beneficios sociales y económicos a largo plazo al evaluar la viabilidad de una SBN.





Figura 22. Cauce del río Kallang en el parque Bishan-Ang Mo Kio, Singapur, antes (arriba) y después (abajo) de ser renaturalizado.
Fuente:.....



Fichas de implementación de SBN en ciudades

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**



Fichas de implementación de SBN en ciudades

Para facilitar la implementación de estas herramientas en las ciudades, se han creado una serie de fichas informativas que resumen, de forma visual, los principales beneficios que la implementación de SBN proporcionan a las ciudades.



Árboles

Individuos aislados que, junto con otros, proporcionan externalidades muy positivas para la ciudad. Normalmente, se utilizan en aquellos lugares que se encuentran muy antropizados y donde la posibilidad de realizar actuaciones de mayor envergadura (como áreas verdes) sería muy costoso.



Temperatura del aire: 1-2°C
Temperatura de superficies: 9-15 °C



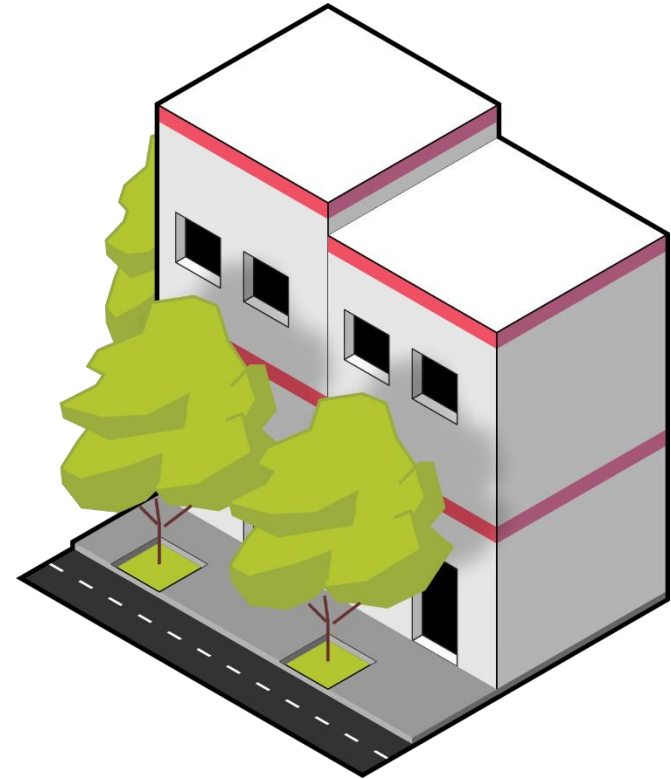
Ahorro en refrigeración: hasta 288 kWh/árbol
Ahorro en calefacción: hasta 842 kWh/árbol



Eliminación de NO₂: 0,17 kg/año/árbol
Eliminación de PM10: 0,11 kg/año/árbol



Reducción de ruido: 4 dB/árbol



21,0 €/m²/año

Árboles

Plan Director del Arbolado - Barcelona

Publicado en 2017 con el objetivo de disponer de un arbolado que sea una verdadera infraestructura verde y que alcance la máxima dotación y conectividad con el entorno (urbano y natural).

El Plan se fija, entre otros, los siguientes retos para 2037:

1. Aumentar un 5% la cobertura arbolada en la ciudad, alcanzando un 30% de la superficie urbana cubierta por arbolado.
2. Garantizar que, dentro de la trama urbana, un 40% de las especies de árboles sean adaptadas al cambio global, en lugar del 30% actual.

Con una inversión de casi 9 millones de €, los árboles permitirán disminuir el efecto ICU, además de los consumos energéticos de los habitantes, tanto en verano como en invierno.



PLAN FORESTA

2030

Plan Foresta – Murcia

El 'Plan Foresta 2030' nació en 2020 con el objetivo de duplicar la masa verde de las zonas urbanas del municipio de Murcia para 2024 con la plantación de 100.000 nuevos árboles, alcanzando los 200.000 ejemplares.

El aumento en el número de ejemplares que se plantarán ayudará a luchar contra el cambio climático, a disminuir los efectos de las ICU y, además, tendrá beneficios directos en la ciudad y en los ciudadanos, como la disminución de las necesidades de aire acondicionado en un 30% y entre un 20% y un 50% de las de calefacción, además de aumentar el valor de los inmuebles hasta un 20%.

Fachadas verdes

Sistemas de vegetación instalados en la superficie de edificios y estructuras urbanas. Estos sistemas pueden estar compuestos de plantas trepadoras o cubiertas vegetales que crecen en la superficie del edificio y lo cubren con vegetación.



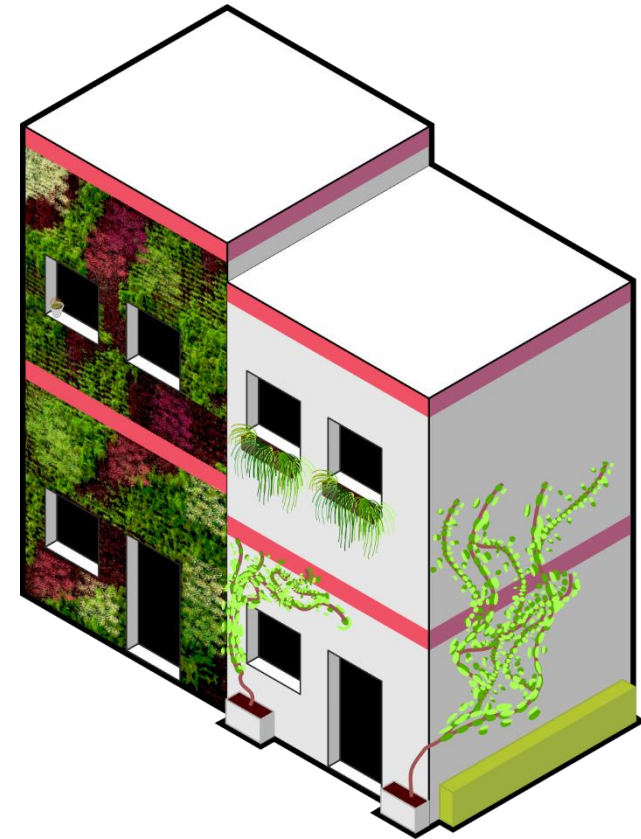
Temperatura del interior: hasta 4,8°C
Temperatura de superficies: 5,5 °C de media,
hasta 15,5°C
Temperatura del aire: 0,5-4,1 °C



Ahorro en refrigeración: hasta 58,9%
Ahorro en consumo energético total: 8,0%



Eliminación de NO₂: 26,5% de media
Eliminación de PM10: 36% de media



78,9 €/m²/año

Fachadas verdes

Jardín Vertical del Palacio de Congresos – Vitoria-Gasteiz

Realizado en 2013, este jardín vertical tiene una superficie de casi 1.500 m², de los cuales 1.000 m² son jardín vertical hidropónico y 500 m² son de plantas trepadoras que cubren los ventanales. Para su plantación se han utilizado más de 33.000 plantas autóctonas de la zona, siendo el primer jardín vertical en recrear ecosistemas autóctonos de la zona donde se ubica, minimizando los gastos de mantenimiento que supondrían especies no adaptadas.

El motivo principal por el que surgió el proyecto fue mejorar el consumo energético del Palacio de Congresos. Esta SBN supone un 270% más de aislamiento sobre la fachada existente, consiguiendo unos ahorros de hasta el 70% con respecto a los consumos iniciales.



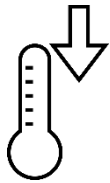
Jardín vertical en el Hotel Santo Domingo - Madrid

Con casi 850 m² de superficie, entró en 2011 en el Libro Guinness de los récords como el jardín vertical más grande del mundo. Entre sus características, se pueden destacar:

- Favorece la biodiversidad. Algunas aves también han encontrado su hogar en este ecosistema.
- Disminuye la contaminación al absorber 25.000 kg de CO₂ al año.
- Proporciona un aislamiento termo acústico.
- Reduce la temperatura entre 6 y 8 °C (efecto de 50 aparatos de aire acondicionado).
- Produce una cantidad de oxígeno igual al consumido por 200 personas al día.

Cubiertas verdes

Sistemas de vegetación instalados en la cubierta de los edificios. Se diferencian dos tipos: extensivos (hasta 15 cm de profundidad), que permiten un uso recreativo, e intensivos (>15 cm de profundidad), que proporcionan mayores ventajas en cuanto a biodiversidad.



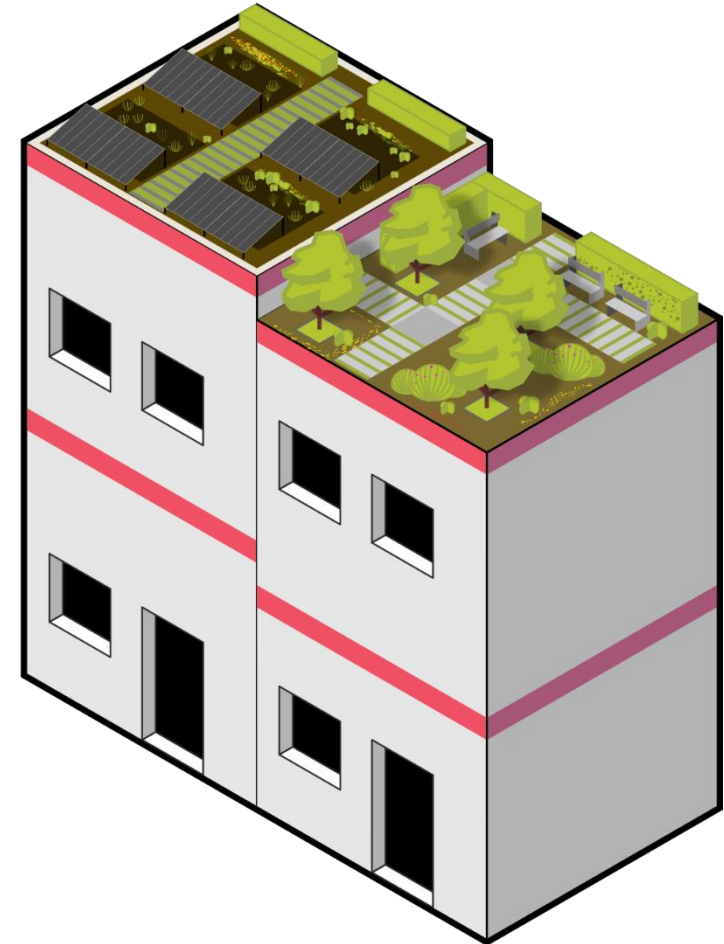
Temperatura del interior: 2-4°C
Temperatura del aire: 1,5°C
Temperatura de superficies: hasta 30 °C
Temperatura en cañones urbanos: 0,8°C



Ahorro energético: ausencia de datos cuantificables, aproximación 21 (±10,4) W/°C/persona



Eliminación de NO₂: 2,6% de media
Eliminación de SO₂: 5,3% de media



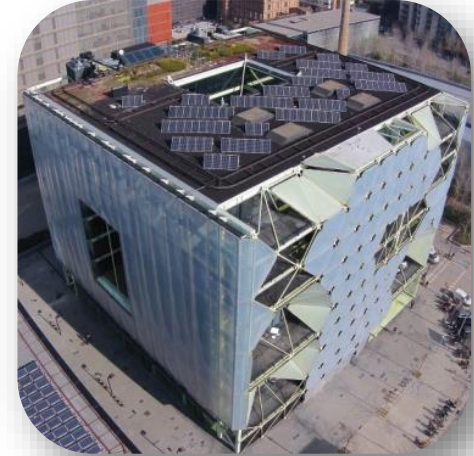
Extensivo: 18,5 €/m²/año

Cubiertas verdes

Edificio Mediativ – Barcelona

Este edificio, inaugurado en 2010, presenta una cubierta verde generadora de energía. Gracias a la combinación de los paneles solares montados sobre una cubierta verde, estos pueden producir hasta un 16% más de energía, ya que las plantas actúan como sistema natural de enfriamiento para los paneles.

La vegetación del techo, a través de la evaporación, reduce la temperatura del aire de los alrededores y eso beneficia a los paneles solares y evita que su rendimiento disminuya si la temperatura ambiental supera los 25 °C. Esta medida y una novedosa fachada, que es capaz de oscurecerse cuando hace demasiado sol y aclararse cuando las necesidades lumínicas interiores lo requieren, permiten una reducción del 20% del gasto energético total en el edificio.



Cubierta verde – Bilbao

Con un coste superior a 4 M€ para una reforma bioclimática del edificio, la cubierta vegetal del edificio IDOM ofrece una serie de ventajas que repercuten en el entorno urbano circundante. Así, reduce el efecto isla de calor, actúa como elemento de absorción de ruido y de CO₂ y favorece la biodiversidad urbana. Al mismo tiempo, sirve para retardar la escorrentía en casos de precipitaciones intensas.

Además, la manta verde de césped “oculta” los equipos de aire acondicionado del edificio, reduciendo los impactos visuales. De igual forma, la cubierta vegetal es utilizada junto a la terraza exterior como área de descanso y esparcimiento para los trabajadores.

Espacios verdes

Áreas abiertas en las ciudades, natural o artificialmente cubiertas de vegetación (por ejemplo, césped, arbustos o árboles), donde el agua puede filtrarse a través del suelo y la vegetación. Pueden ser campos de juego, ambientes altamente mantenidos o paisajes relativamente naturales.



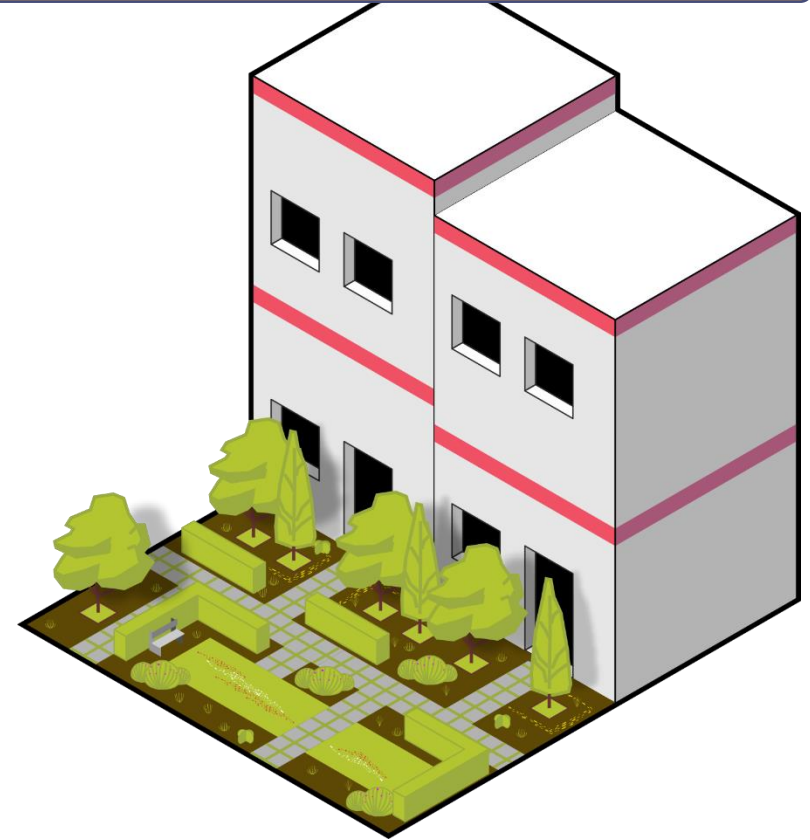
Temperatura interior (día): hasta 5°C menos
Temperatura interior (noche): hasta 4°C menos
Efecto Isla frío (mediterráneo): hasta 225 metros



Ahorro en refrigeración (unifamiliar): hasta 50%
Ahorro en energía (edificio multifamiliar): 1%
Ahorro en energía (edificio unifamiliar): 6-15 %



Eliminación de NO₂: 26,5% de media



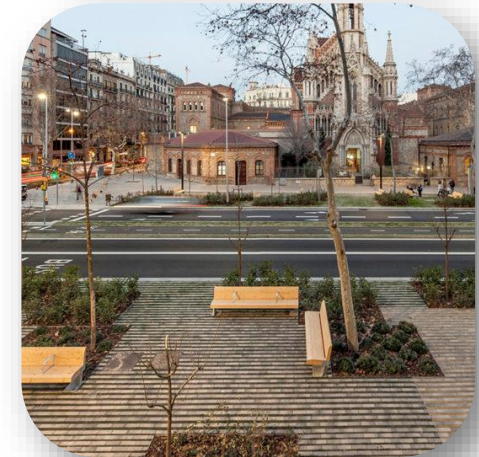
38,6 €/m²/año

Espacios verdes

Remodelación Passeig de Sant Joan– Barcelona

Utilizando diversas SBN en conjunto, este tipo de remodelaciones permite atenuar enormemente la ICU en la ciudad de Barcelona, además de proporcionar otras ventajas a la ciudadanía y a la biodiversidad urbana.

La remodelación consistió en pasar de cuatro carriles por cada lado dedicados al vehículo privado (tres de circulación y uno para aparcamiento) a dos carriles, siendo uno de ellos de uso exclusivo para vehículos públicos. En el espacio ganado para la ciudadanía se instalaron zonas verdes junto con pavimento con vegetación. Este proyecto crea un espacio más humano que provee numerosas externalidades positivas, a la vez que elimina materiales de la ciudad que propician la aparición de islas de calor, como es el asfalto de las carreteras.



LIFE Vía de la Plata - Salamanca

Es un proyecto piloto que convertirá los 6,9 km de la Vía de la Plata en un corredor verde en Salamanca. 41 actuaciones tipo que se desarrollan en seis zonas de la ciudad, donde se aplicarán SBN. Empezó en 2020 y espera que termine a finales de 2023, con un presupuesto total de 2,8 M€.

Entre las SBN que se desarrollarán se encuentra la reforestación de zonas degradadas, plantaciones con especies propicias para la adaptación de la ciudad, fachadas y muros verdes, alcorques vivos o refugios para la biodiversidad (insectos, aves, etc.). Además de la creación de espacios verdes, los impactos que se esperan conseguir con este proyecto son: la mejora de la calidad del aire, la reducción del efecto isla de calor y del riesgo de inundaciones, la amortiguación del ruido y la mejora de la salud (recreo/ocio/ efecto antiestrés, etc.).

Anexos

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

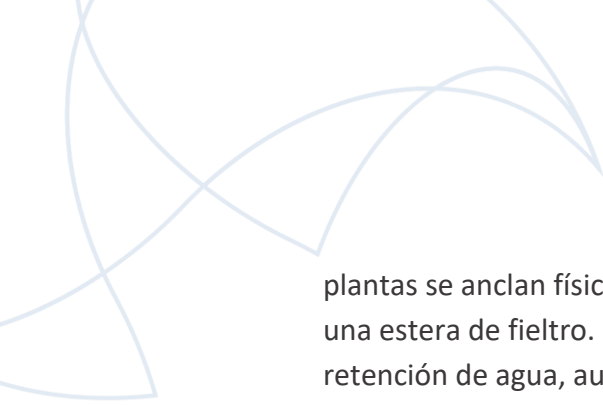
Anexo I: Descripción de las diferentes SBN que pueden afectar a las ICU

Paredes verdes

Dentro de las SBN denominadas “pared verde” podemos encontrar diferentes unidades de SBN, dependiendo de la estructura sobre la que se asiente, el tipo de vegetación que se utilice, etc. A continuación, se desarrollan algunas de estas unidades:

- **Fachadas verdes:** hiedra tradicional u otras plantas trepadoras y enredaderas. Puede incluir una celosía, marcos, cables, cuerdas y mallas para soportar a los escaladores. El escalador autoadhesivo utiliza el sustrato de la fachada para soporte y, a veces, la nutrición.
- **Fachada bio-responsiva/biorreactor:** paneles de vidrio con fotobiorreactores que contienen un medio de crecimiento de microalgas. Sistema de circuito cerrado totalmente integrado con los servicios del edificio. Genera energía renovable a partir de la biomasa de algas y el calor térmico solar.
- **Pared viva:** las paredes vivas se crean mediante la fijación de un medio de crecimiento a la pared vertical y esta técnica, relativamente nueva, se clasifica como "paredes vivas continuas" o "paredes vivas modulares". Construidas con cajas de plantas o fieltro no requieren que las plantas sean trepadoras y a menudo necesitan ser irrigadas. Las plantas para techos verdes intensivos son frecuentemente adecuadas para estos sistemas. La vegetación, a menudo, se planta en un medio de crecimiento compuesto por tierra, piedra o agua. Las paredes tienen plantas vivas, por lo que suelen contar con sistemas de riego incorporados.
 - **Paredes vivas, sistemas de fieltro y esteras vegetadas.** Un subconjunto de paredes vivas, construidas con sistemas de estera o fieltro, que proporcionan bolsillos para que crezcan las plantas a través de ellas. Sistema de pared verde con bolsillos de tela de fieltro.
 - **Paredes vivas modulares.** Un subconjunto de paredes vivas. A menudo consisten en módulos fijados contra una pared que contienen tierra o medios para que las plantas crezcan en ellos. Requieren sistemas de riego y pueden necesitar instalación y mantenimiento profesional.
- **Sistema de vegetación vertical:** estructuras que permiten que la vegetación se extienda sobre la fachada de un edificio o pared interior.
- **Paredes verdes hidropónicas:** otra forma de denominar a una pared viva. En un sistema hidropónico se proporciona un medio de cultivo inerte al que las





plantas se anclan físicamente, como una espuma hortícola, una fibra mineral o una estera de fieltro. Estos materiales pueden actuar como una esponja de retención de agua, aunque cuanto más se empapan, más pesado se vuelve el sistema. En un sistema hidropónico no hay descomposición estructural del medio de crecimiento, no hay acumulación de sal de fertilizantes y los nutrientes se suministran de manera precisa y controlada.

- **Pantalla verde:** rejilla o malla delgada generalmente cubierta con una trepadora densamente tejida, como la hiedra. También se llaman cerramientos verdes.
- **Setos:** una fila de arbustos o árboles pequeños, generalmente, a lo largo del borde de un jardín, campo o camino.



Bibliografía

**De cemento a oasis:
renaturalización, la clave para
disipar las islas de calor**



**FUNDACIÓN
RENOVABLES**

Bibliografía

- A.F. Speak, J. R. (2013). Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage,. *Urban Climate*, 40-55.
- Afifa, M., Pignatta, G., Topriska, E., & Santamouris, M. (2020). Canopy Urban Heat Island and Its Association with Climate Conditions in Dubai, UAE. *Climate*. doi:10.3390/cli8060081
- Alcazar, S. S. (2005). *Energy performance of green roofs in a multi-storey residential building in Madrid*. Retrieved from <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20861938>
- Amfield, J. (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, 23(1). doi:doi: 10.1002/joc.859.
- Armson. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry and Urban Greening*, 245-255.
- ARUP. (2016). *Cities Alive Green Building Envelope*. Berlín: Arup Berlin Office. Retrieved from https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/g/green-building-envelope-report_gesamt_170109.pdf
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., . . . al., e. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*(19), 711-719. doi:10.1097/EDE.0b013e318176bfcd
- Bass, B., Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. doi:10.4224/20386110
- Beck, H. Z. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Nature Scientific Data*. doi:<https://www.nature.com/articles/sdata2018214>
- Bell, M. D. (2004). A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: The role of influenza and pollution. *Environmental Health Perspectives*, 1(112), 6-8. doi:<https://doi.org/10.1289/ehp.6539>



Better Growth Better Climate. (n.d.). *New Climate Economy 2014 Report*. Retrieved 15/03/2023, from <http://newclimateeconomy.report/2014/>

BOE. (2007, 11 17). *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744&tn=1&p=20171223>

Callaghan, C., Peck, S., Kuhn, M., & Arch, B. (1999). Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada.

Castellar, J. A., Popartan, L. A., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., . . . Acuña, V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. 779. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>

Cheng, W., Li, D., Liu, Z., & Brown, R. (2021). Approaches for identifying heat-vulnerable populations and locations: a systematic review. *Sci Total Environment*, 799.

Comisión Europea. (2013, 5 6). *COM(2013) 249 final: COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES*. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF


Comisión Europea. (2021). *Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners*. Luxembourg: Office of the European Union.

Comisión Europea. (n.d.). *CORDIS EU Research results*. Retrieved 03 13, 2023, from <https://cordis.europa.eu/article/id/421771-nbs-benefits-and-opportunities-wild-et-al-2020>

Conger, T., Couillard, A., de Hoog, W., Despins, C., Douglas, T., Gram, Y., . . . Owen, C. (2019). *Rain City Strategy: A green rainwater infrastructure and rainwater management initiative*. Vancouver: City of Vancouver.

Cox, D. T., Shanahan, D. F., Hudson, H. L., Plummer, K. E., Siriwardena, G. M., Fuller, R. A., . . . Gaston, K. J. (2017). Doses of Neighborhood Nature: The Benefits for





Mental Health of Living with Nature. *BioScience*, 67(2), 147-155.
doi:<https://doi.org/10.1093/biosci/biw173>

Cuce, E. (2017). Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, 247-254. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916313824>

Dale, A., & Frank, S. (2014). The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. 9.
doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102996>

Dandan Wei, e. a. (2022). High resolution modeling of vegetation reveals large summertime biogenic CO₂ fluxes in New York City. *Environmental Research*.

De La Morena Carretero, B. A., Adame, J. A., Carrillo, C., Corzo, M., Guerrero, J. J., & Cáceres, F. (n.d.). *Estudio de la isla de calor urbana en el área metropolitana de Sevilla*. Sevilla: CONAMA.


Di Pirro, E., Roebeling, P., Sallustio, L., Marchetti, M., & Lassarre, B. (2023). Cost-Effectiveness of Nature-Based Solutions under Different Implementation Scenarios: A National Perspective for Italian Urban Areas. *Land*.
doi:<https://doi.org/10.3390/land12030603>

Eggermont, H., Balian, E., N. Azevedo, J. M., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., . . . Grube, M. (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA*, 24(4), 243-248.
doi:10.14512/gaia.24.4.9

Eleftheria Alexandri, P. J. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 480-493.

Gabriel Pérez, J. C. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139-165.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055>.

García, A. (2017). *ISLA DE FRÍO DE LOS PARQUES URBANOS: Una aproximación desde el estudio de la influencia climática de los parques urbanos en Barcelona*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.



Gartland, L. (n.d.). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. London: Earthscan.

Gilner. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 33-42.

Giuliano Vox, I. B. (2018). Green façades to control wall surface temperature in buildings. *Building and Environment*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002>

GRRRA. (2018). *Greenroofsny.com*. Retrieved from <https://es.greenroofsny.com/>

Hanjra, M. a. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*.

Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, 283-290.


IGNITION PROJECT. (2020). *Nature-Based Solutions Evidence Base Headline Findings Report*.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the*. NY, USA: Cambridge University Press. doi:[doi:10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844)

Irga, P., Fleck, R., Wooster, E., Torpy, F., Alameddine, H., & Sharman, L. (2021). *Green Roof & Solar Array – Comparative Research Project*. Sidney. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10453/150142>

Issa Jaffal, S.-E. O. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, 157-164.

lungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira-Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., . . . Nieuwenhuijsen, M. (2023). Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *The Lancet*.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)



J. Scott MacIvor, L. M. (2016). Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. *Ecological Engineering*, 36-42.

Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., & Honda, Y. (2021). Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. *Lancet*, 398, 709-724.

Jiménez, M. (2018). Green walls: a sustainable approach to climate change, a case study of London. *Architectural Science Review*.
doi:<https://doi.org/10.1080/00038628.2017.1405789>

Julià Coma, G. P. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 228-237.

K.J. Kontoleon, E. E. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*, 1287-1303.

Kieron J. Doick, A. P. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of The Total Environment*, 662-671.

Knight, K., Price, S., Bowler, D., & King, S. (2016). How effective is 'greening' of urban areas in reducing human exposure to ground-level ozone concentrations, UV exposure and the 'urban heat island effect'? A protocol to update a systematic review. *Environmental Evidence*.

Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 80(4).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.03.010>.

L. Pérez-Urrestarazu, R. F.-C. (2016). Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions. *Ecological Engineering*, 120-124.

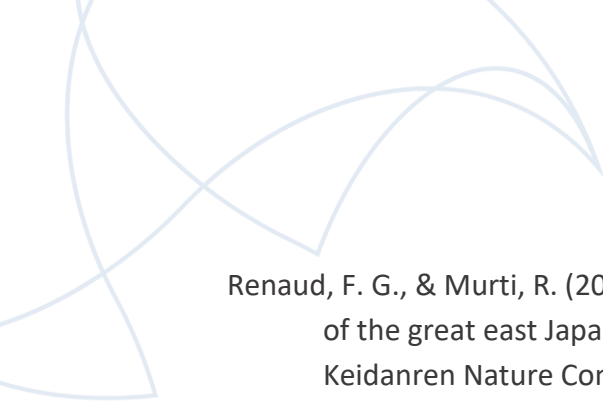
Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2009). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*.

- Li, X. e. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of The Total Environment*(605), 426-435.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: a review of approaches and findings. *Energy*. doi:doi: 10.1016/j.energy.2019.02.183
- Liu, Y., & Harris, D. J. (2008). Effects of shelterbelt trees on reducing heating-energy consumption of office buildings in Scotland. *Applied Energy*.
- M. Foustalieraki, M. A. (2017). Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. *Energy and Buildings*, 33-38.
- Macleod, A. J. (2016). Plant health and food security, linking science, economics, policy and industry. *Food Security*.
- Mark S. Taylor, B. W. (2015). Research note: Urban street tree density and antidepressant prescription rates—A cross-sectional study in London, UK. *Landscape and Urban Planning*, 174-179.
- METROBS. (2015). *LA ISLA DE CALOR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO*. Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona.
- Michela Marchi, R. M. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 46-56.
- Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre: nuevos datos de la OMS.* (2022, abril 4). Retrieved from <https://www.who.int/es/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>
- MITERD. (n.d.). *MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO*. Retrieved 03 12, 2023, from <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/soluciones-abe.aspx>



- Mokhtari, Z., Barghjelveh, S., Sayahnia, R., Karami, P., Qureshi, S., & Russo, A. (2022). Spatial pattern of the green heat sink using patch- and network-based analysis: Implication for urban temperature alleviation. *Sustainable Cities and Society*, 83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103964>
- Morris, N., Piil, J., Morabito, M., Messeri, A., Levi, M., Ioannou, L., . . . al., e. (2021). The HEAT-SHIELD project—Perspectives from an inter-sectoral approach to occupational heat stress. *J. Sci. Med. Sport*(24), 747-755. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.001>
- National University of Singapur. (2015). *COST-BENEFIT ANALYSIS OF BISHAN-ANG MO KIO PARK*. Singapur. Retrieved from https://ramboll.com/-/media/files/rnewmarkets/herbert-dreiseitl_part-1_final-report_22052015.pdf?la=en
- Ngarambe, J., Joen, S. J., Han, C.-H., & Yun, G. Y. (2021). Exploring the relationship between particulate matter, CO, SO₂, NO₂, O₃ and urban heat island in Seoul, Korea. *Journal of Hazardous Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123615>
- Nyuk Hien Wong, Y. C. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, Pages 261-270. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *La crisis climática - una carrera que podemos ganar*. Retrieved 01 22, 2023, from <https://www.un.org/es/un75/climate-crisis-race-we-can-win>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (n.d.). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Retrieved 01 2022, 21, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Pauleit, & Duhme. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*.
- Querol, X., Viana, M., Moreno, T., Alastuey, A., Jorge, P., Amato, F., . . . Pérez, N. (2012). *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire*. Informes CSIC.





Renaud, F. G., & Murti, R. (2013). Ecosystems and disaster risk reduction in the context of the great east Japan earthquake and tsunami : a scoping study : report to the Keidanren Nature Conservation Fund. *Environmental Science*.

Rodríguez, P. (2022, 12 23). *Las Zonas de Bajas Emisiones Llegan con retraso y discrepancias*. Retrieved from https://www.coheglobal.com/tendencias/zonas-bajas-emisiones-zbe-guia-cambios-efectos-vehiculos_754811_102.html

Rodríguez, P. (2023, Marzo 21). *Climática*. Retrieved from <https://www.climatica.lamarea.com/oceano-ipcc-informe-de-sintesis/>

Román López, E. G. (2017). Urban heat island of Madrid and its influence over urban thermal comfort. *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering*. doi:DOI: 10.1007/978-3-319-51442-0_34

Rowan Berry, S. J. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and Environment*, 91-100.

Salah-Eddine Ouldboukhitine, R. B. (2014). Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. *Applied Energy*, 273-282.

Salvati, A., Roura, H. C., & Cecere, C. (2017). Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study. *Energy and Buildings*.


Sangiorgio, V., Bruno, S., & Fiorito, F. (2022). Comparative Analysis and Mitigation Strategy for the Urban Heat Island Intensity in Bari (Italy) and in Other Six European Cities. *Climate*, 10(177). doi:<https://doi.org/10.3390/cli10110177>

Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and buildings*, 82. doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.022

Santamouris, M. (2016). COOLING THE BUILDINGS – PAST, PRESENT AND FUTURE. *Energy and buildings*. doi:<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2016.07.034>



- Shan Yin, Z. S. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 2155-2163.
- Shishegar, N. (2014). The impact of green areas on mitigating urban heat island effect: A review. *International Journal of Environmental Sustainability*, 9(1), 119-130. doi:10.18848/2325-1077/CGP/v09i01/55081
- Spala, A., & Bagiorgas, H. S. (2008). On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. *Renewable Energy*, 173-177.
- Taha, H. (2008). Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. 42(38). doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.06.036.
- Tewari, M. e. (2017). Impacts of projected urban expansion and global warming on cooling energy demand over a semiarid region. *Atmospheric Science Letters*(18), 419-426.
- Troy Sternberg, H. V. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, 293-297.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2012). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- UICN. (2016). *Resolución de la UICN WCC-2016-Res-069*. Retrieved 03 15, 2023, from https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_ES.pdf
- Ulpiane, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *Sci Total Environ.*, 751. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141727
- Vidrih, B., & Medved, S. (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. *Multiparametric model of urban park cooling island*, 220-229.



von Hinke, S. &. (2022). The Long-Term Effects of Early-Life Pollution Exposure: Evidence from the London Smog.
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.11785>

Watkins, R. (2002). The London Heat Island: results from summertime monitoring.
doi:<https://doi.org/10.1191/0143624402bt031oa>

Xiao Ping Song, P. Y. (2018). The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. *Urban forestry and urban greening journal*.



FUNDACIÓN
RENOVABLES

Santa Engracia, 108. 5º Int. Izda.
28003 Madrid

www.fundacionrenovables.org

