

University of Cantabria / University of Oviedo

Organizers:

UC



Universidad de Oviedo

# REHABEND 2024

## Euro-American Congress

CONSTRUCTION  
PATHOLOGY,  
REHABILITATION  
TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT

Gijón (Spain) - May 7<sup>th</sup> - 10<sup>th</sup>, 2024

Sponsor entities:



Principado de  
Asturias



Ayuntamiento  
de Gijón

laboral  
ciudad de la cultura

visita gijón  
Convention  
Bureau



tecnal:a  
MEMBER OF RASQUE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

# ***REHABEND 2024***

***CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT***

*(10<sup>th</sup> REHABEND Congress)*

**Gijón (Spain), May 7<sup>th</sup>-10<sup>th</sup>, 2024**

PERMANENT SECRETARIAT:

**UNIVERSITY OF CANTABRIA**

Civil Engineering School

Department of Structural Engineering and Mechanics

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros 44, 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 761 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: [rehabend@unican.es](mailto:rehabend@unican.es)

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

**10<sup>TH</sup> EURO-AMERICAN CONGRESS ON CONSTRUCTION PATHOLOGY,  
REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT  
REHABEND 2024**

ORGANIZED BY:



UNIVERSITY OF CANTABRIA (SPAIN)  
[www.unican.es](http://www.unican.es)



Universidad de Oviedo  
UNIVERSITY OF OVIEDO (SPAIN)  
[www.uniovi.es](http://www.uniovi.es)

CONGRESS CHAIRMEN:  
**IGNACIO LOMBILLO**  
**ALFONSO LOZANO**

CONGRESS COORDINATORS:  
**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**

EDITORS:  
**YOSBEL BOFFILL**  
**IGNACIO LOMBILLO**  
**HAYDEE BLANCO**

GUEST EDITOR:  
**ALFONSO LOZANO**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE:  
**HUMBERTO VARUM – UNIVERSITY OF PORTO (PORTUGAL)**  
**PERE ROCA – TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA (SPAIN)**  
**ANTONIO NANNI – UNIVERSITY OF MIAMI (USA)**

The editors does not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published. The information and opinion contained in the publications are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete.

The appearance of advertisements in these Scientific Publications (Printed Book of Abstracts & Digital Book of Articles - REHABEND 2024) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors does not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements.

The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and REHABEND 2024 Congress can not be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by REHABEND 2024 Congress is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic or printed publications is explicitly subjected to prior approval by REHABEND 2024 Congress.

ISSN: 2386-8198 (printed)

ISBN: 978-84-09-58990-6 (Printed Book of Abstracts)

ISBN: 978-84-09-58989-0 (Digital Book of Articles)

Legal deposit: SA - 132 - 2014

Printed in Spain by Círculo Rojo

## CODE 202

### ECOSYSTEM SERVICES AND GREEN COVER FOR URBAN REGENERATION

#### *SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA COBERTURA VERDE PARA LA REGENERACIÓN URBANA*

**Gordo, Joseba<sup>1</sup>; Garmendia, Leire<sup>1</sup>; Cuadrado, Jesús<sup>1</sup>;  
Olazabal, Marta<sup>2</sup>; Gaztelu, Ugaitz<sup>3</sup>**

1: Mechanical Engineering Department, School of Engineering in Bilbao.  
University of the Basque Country UPV/EHU.  
e-mail: [joseba.gordo@ehu.eus](mailto:joseba.gordo@ehu.eus); [leire.garmendia@ehu.eus](mailto:leire.garmendia@ehu.eus); [jesus.cuadrado@ehu.eus](mailto:jesus.cuadrado@ehu.eus)

2: Basque Centre for Climate Change; Ikerbasque  
e-mail: [marta.olazabal@bc3research.org](mailto:marta.olazabal@bc3research.org)

3: University of the Basque Country UPV/EHU.  
e-mail: [ugaitz.gaztelu@ehu.eus](mailto:ugaitz.gaztelu@ehu.eus)

#### **RESUMEN**

El aumento de peligros asociados al cambio climático como las olas de calor, sequías e inundaciones, son exacerbadas en los entornos urbanos debido a las alteraciones que estos han sufrido a lo largo de su desarrollo y expansión, lo que se traduce en una Isla de Calor Urbana (ICU). Estos cambios se resumen esencialmente en la impermeabilización de los suelos, la pérdida de biodiversidad, así como en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), reduciendo el confort térmico y poniendo en riesgo la salud humana. El nivel de vulnerabilidad de un determinado entorno urbano, o por el contrario, la capacidad de éste para combatir dichos aspectos, depende en gran medida de la vegetación presente, tanto espontánea como de soluciones implementadas, gracias a los Servicios Ecosistémicos (SE) de regulación climática e hidrológica. Para la evaluación de vulnerabilidad de un área urbana determinada frente a las ICU es fundamental el conocimiento de variables en las distintas tipologías urbanas que dan lugar a un valor cuantitativo como cualitativo de la vegetación, y que simultáneamente definen un medio más apto o menos para algunas especies vegetales. Considerando esto último como factor de crecimiento y soporte, sumado a las propiedades fenotípicas de la distintas especies, se pretende obtener un conocimiento integral de indicadores que permitan elaborar, por un lado, una metodología para la categorización de tipologías urbanas en base a su vulnerabilidad y el potencial de transformación o mejora mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), y por otro lado, poder estudiar la capacidad adaptación y regulación climática de las distintas SBN. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis sobre la literatura, con el fin de elaborar un conocimiento íntegro y práctico, mediante indicadores urbanos y de vegetación vinculados, por un lado, a los servicios de regulación climática y por otro a la adaptación y crecimiento de la vegetación. Los resultados muestran una concurrencia de los parámetros relacionados con la forma y superficie tanto de los materiales de construcción como de los conjuntos y estructuras de la vegetación presente.

**PALABRAS CLAVE:** Servicios ecosistémicos; Renaturalización urbana; Calentamiento global; Isla de calor urbana; Soluciones basadas en la naturaleza.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se ha observado que las islas de calor, así como todo tipo de riesgos asociados a los procesos de urbanización, tienden a incrementarse con el desarrollo y crecimiento de las ciudades, pero también por la influencia del presente y futuro calentamiento global [1]. Esto ha despertado el interés tanto del entorno científico, como de las instituciones y técnicos para la búsqueda de soluciones con el fin de paliar dichos riesgos en las ciudades. Del mismo modo, a día de hoy, es muy amplia la literatura acerca de estudios que pretenden conocer el comportamiento de estos fenómenos que ayuden a comprender, por un lado, aquellos parámetros comunes y extrapolables a todos los contextos urbano; y por otro lado, los factores determinantes en las variaciones tanto intraurbanas, como entre distintas regiones, contextos climáticos, etc.

Dos importantes consecuencias, relacionadas a esta situación, que emanan preocupación son, por un lado, los efectos directos sobre la salud humana [2], asociados al habitar espacios muy urbanizados; y por otro lado, desde una mirada más ecologista, la pérdida de un paisaje natural y reducción de la biomasa, que aparte de cubrir unas necesidades sociales y estéticas [3], estaría unido al favorecimiento de un confort térmico en las ciudades [4] y, en última instancia, también a la salud de las personas [5]. Los datos que han podido constatar esta relación entre las islas de calor y la salud de las personas, ha sido mediante la correlación estudiada entre los índices de mortalidad en las ciudades y el aumento de las temperaturas [2]. El aumento de estas está proyectado a alcanzar los 2,4-2,6 °C en las regiones templadas, así como 3,2-4 °C en las zonas áridas [6], traducándose, tanto en riesgos sobre la salud humana pero, también, en el aumento de episodios climáticos extremos, como son las olas de calor, periodos de sequía, así como tormentas e inundaciones asociadas a estas [7].

Para combatir este probable escenario en el futuro, la comunidad europea, ha fijado como objetivo limitar el calentamiento global a 1,5-2°C mediante el Acuerdo de París [8]. Para ello se han propuesto varias políticas por parte de la Agencia Europea de Medioambiente [9] destacando las SBN y renaturalización de las ciudades. Esta última, en la que se centra el estudio, tiene un respaldo científico, ya que ofrece múltiples beneficios en las ciudades, conocidos como Servicios Ecosistémicos Urbanos (SEU). Término que a pesar de estar substituido por la IPBES (*The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) por el término “*Nature’s contributions to people*”, válida y útil para el desarrollo de este estudio. En la literatura, los servicios ecosistémicos aparecen clasificados dependiendo de su contribución como regulación, aprovisionamiento o soporte [10]. En los que se refiere a la SE de regulación, El potencial de las SBN estará ligado a las propiedades fenotípicas presentes en el tipo de vegetación que las componen. Del mismo modo, que los niveles cuantitativos como cualitativos de la vegetación presente, junto con parámetros morfológicos urbanos darán lugar a unos índices de vulnerabilidad frente a las islas de calor. Por otro lado, los servicios de soporte, tienen que ver con la conservación de la biomasa, la cual dependerá de las condiciones ambientales tanto climáticas como ecológicas para el desarrollo, crecimiento, dispersión, etc. en un medio altamente modificado como es el urbano, dificultando la adaptación y crecimiento de algunas especies determinadas, así como siendo un nicho ambiental para algunas otras. Esto último actuará como factor de crecimiento y soporte de la vegetación como valor añadido poder obtener una caracterización más rigurosa sobre la vulnerabilidad urbana como del potencial de regulación climática.

## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La vulnerabilidad de una ciudad en términos medioambientales y de confort puede medirse mediante la comparativa del grado de islas de calor en una zona concreta con respecto a la presencia de cobertura verde presente, encargada ésta en ofrecer unos servicios ecosistémicos urbanos que regulan y combaten los efectos adversos. Así pues, este estudio tiene como objetivo desarrollar un conocimiento íntegro sobre los parámetros más influyentes a la hora de detectar espacios vulnerables en las ciudades con respecto a la falta de servicios ecosistémicos y presencia de islas de calor. Del mismo modo, también elaborar un listado de indicadores fundamentales para diseñar SBN y soluciones constructivas que

contribuyan a la regeneración del espacio público en las ciudades a fin de mejorar su confort térmico y contribuir a un mayor nivel de servicios ecosistémicos.

Para ello, se ha elaborado un estado del arte mediante la revisión de artículos en la base de datos de Web of Science. Para el primer objetivo, se han revisado artículos sobre análisis geográfico en relación a las islas de calor mediante las siguientes palabras clave: *Urban heat island; global warming; green infrastructure; urban morphology*; . Y para el segundo, se han revisado artículos tanto de análisis geográfico, como experimentales, que evalúen los servicios ecosistémicos en base a las características de la infraestructura verde, así como de los materiales de construcción, para lo que las palabras clave empleadas han sido las siguientes: *Urban ecosystem services; construction materials; built up environment; vegetation traits; tree traits; water cycle; water management; cooling effect; green house gasses; adaptation; growth*.

### 3. ANÁLISIS DE INDICADORES

#### 3.1. Indicadores para la detección de zonas urbanas vulnerables

La detección de zonas vulnerables en la ciudad, en base a los niveles de temperatura reflejados en la isla de calor, es compleja debido a que ésta varía según la magnitud empleada para su medición, pero también por los cambios del flujo térmico a lo largo de la trama urbana que varía en el espacio y tiempo según el contexto. Las dos formas para medir la isla de calor en las ciudades son mediante la diferencia térmica superficial y del aire, definiendo así la Isla de Calor Superficial (ICUS) y en el Aire (ICUA) respectivamente. Estas dos magnitudes muestran una dependencia una de la otra, aunque no se correlacionan espaciotemporalmente. En el primero de los casos los materiales sobre los que incide la radiación solar tendrán un gran efecto, así como los niveles de radiación de un momento dado, dependiendo del día del año y la hora en la que se mida. Como tendencia general, las diferencias térmicas sobre la superficie dibujan una clara isla de calor tanto de día como de noche. En cambio, en base a la temperatura del aire, ICUA es generalmente perceptible, tan solo, durante la noche [11], siendo ésta última además la que más se ha visto estar relacionada con los índices de mortalidad [12]. Esta tendencia general, puede moldearse según múltiples parámetros, que pueden clasificarse como externos o territoriales, y locales. Pero, aparte de las variaciones a lo largo del día, se ha observado que los cambios de estación dibujan una isla de calor distinta sobre la ciudad [13].

Las primeras diferencias que pueden observarse a escala territorial, debido a factores externos, son las variaciones térmicas manifestadas entre ciudades de regiones climáticas distintas. Así la ICUS es percibirle dentro del límite urbano, en comparación con el entorno rural, durante la noche en regiones del trópico como subtropicales o templadas. En cambio, la isla de calor sobre la superficie tan solo se muestra perceptible en los climas tropicales, como puede observarse en un estudio de Amorin et al. (2021), entre dos ciudades con temperaturas medias y humedad relativa distintas [13]. Y haciendo hincapié en este último factor climático, las ICU en regiones húmedas son especialmente dependientes del Índice de Evapotranspiración (IE) mientras que, en las regiones áridas, lo son la convección y la conducción [14]. Otro de los factores externos determinantes es el emplazamiento de la ciudad y su proximidad a la costa, ya que esta puede influir más en la isla de calor que incluso la diferencia de latitud [15]. Así pues, es necesario a la hora de entender el comportamiento de la ICU en un determinado lugar, sus factores climáticos y geográficos, ya que estos actuarán sobre otros indicadores con efectos distintos, incluso contrarios, entre entornos urbanos distintos [16].

Adentrándonos a la escala territorial o metropolitana, se ha podido comprobar que el entorno circundante es relevante en cómo éste moldea la ICU y que los indicadores más relevantes serían el uso del suelo, por un lado, y la cobertura verde existente por otro [13]. Esto estaría relacionado con la propia dimensión de la isla de calor dentro de la ciudad, el cual sería el primer factor a tener en cuenta dentro de los cambios internos en el flujo térmico [16]. Así la vegetación sería uno de los factores locales más determinantes en combatir la isla de calor y que su presencia o inexistencia se traduce diferencias térmicas, evitando que la radiación solar recibida durante el día se almacene en superficies inertes en

forma de energía térmica y sea liberado en forma de calor durante la noche [12]; por eso es la ICUA mayor durante las horas nocturnas. El potencial que toda la superficie periférica presente a la hora de atenuar dicha ola de calor, o por el contrario de hacerla más evidente, dependerá del paisaje vegetal que lo compone. En este sentido el modelo territorial y económico, así como del dominio del suelo y parcelación, son determinantes en la distribución de un uso del suelo concreto donde la decantación por un modelo residencial de baja densidad, o agropecuario intensivo o extensivo, entre otros, pueden variar drásticamente la vegetación. Un ejemplo muy paradigmático, es el de Madrid, donde se ha podido registrar una isla de frío urbana en verano, paradójicamente, debido a un paisaje circundante dominado por el cultivo del trigo que en época estival tras su cosecha, deja expuesto un suelo sin cobertura verde, con un mayor índice de temperatura superficial diurna en comparación con la urbana, gracias a los parques y vegetación de las calles que ésta agrupa [17].

Asimismo, la emisividad de la superficie en distintos puntos también dependerá de los materiales de construcción empleados [18], los cuales se miden mediante una unidad de medición denominada *Albedo* [19], que depende de la absorvancia y radiación incidente. Junto con los materiales, la propia arquitectura y forma que definen los espacios urbanos, mediante la densidad de superficie construida y la altura de los bloques, se puede observar un agravo mayor o menor de la isla de calor [20]. Ésta será más dependiente de la morfología urbana en cuanto la escala de los bloques sea mayor [18]; y dentro de la forma urbana, un factor empleado en la literatura como *aspect ratio*, que mide la relación de altura y anchura en el cañón urbano, es también determinante en el índice de confort térmico en según qué punto del perfil del cañón [13].

Otro factor urbano, relacionado con la actividad urbana, es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales generan impactos directos sobre la salud de las personas, pero que también influye directamente sobre la isla de calor, y se ha comprobado que la vegetación es un indicador fundamental en la reducción de los GEI mediante la fijación de los mismos [21]. Se predice una mayor intensidad en las ICU en los próximos años debido al aumento de GEI [22], incluso dentro de los 1,5 °C de calentamiento global permitidos por la Comunidad Europea, sobre todo las regiones con climas de gran presencia anticiclónica y nubosidad se verán más expuestas a sufrir un incremento exponencial de las ICU a causa de los GEI [23]. Como ya se ha comentado anteriormente, las particularidades climáticas condicionan a otros ciertos indicadores locales a ser determinantes o no. Siguiendo esta línea en regiones húmedas, es importante mencionar el efecto de la "isla de humedad", denominada así por Shi y Zhang (2022), que influiría sobre la isla de calor y que, en cambio, ésta se ve aumentada con las superficies impermeables y reducida con la presencia de la vegetación y del nivel de *Albedo* [19].

Por último, la vulnerabilidad de los distintos espacios urbanos no solo queda ligada a los parámetros con una contribución directa. Es importante el factor de crecimiento y soporte de la vegetación como valor añadido a la vulnerabilidad o potencial de un área urbana determinada al mantenimiento y crecimiento de la vegetación en una escala temporal. En este sentido, se pueden diferenciar por un lado aspectos morfológicos urbanos, ya sea por la escueta superficie verde, como su fragmentación, que impide llevar a cabo unas determinadas estrategias de dispersión y reproducción de algunas especies, como aquellas que requieren de su simbiosis con insectos o aves [24]; así como, la morfología del cañón urbano y el tipo de urbanización que influirá sobre un estrés lumínico e hídrico condicionando tanto la supervivencia como crecimiento de algunas especies.

### **3.2. Indicadores para la puesta en práctica de soluciones basadas en la naturaleza mediante servicios ecosistémicos**

Como ya se ha descrito, la presencia de la vegetación ofrece varios servicios ecosistémicos, entre ellos la regulación de las temperaturas, la reducción de GEI, y reducción de la escorrentía. Como ya se ha descrito, varios factores morfológicos y constructivos en un contexto urbano concreto determinan ciertas condiciones que favorecerá a que unas especies ofrezcan un efecto mayor o menor de enfriamiento, así como de capacidad de absorción del agua. La propia arquitectura del dosel arbóreo influye en los niveles de fijación del carbono como en la reducción de la isla de calor [25], ligado a dos parámetros principales;

el primero, el tipo de sombra que ejerce y su contribución a enfriar la temperatura superficial; y el segundo, relacionado al IE y su intermediación en el ciclo del agua.

Para el primer caso, se ha observado que el índice de área foliar y la altura de la copa son determinantes en los índices de evaporación que variará según las distintas especies, lo que estaría correlacionado con la temperatura fisiológica equivalente (*Physiological Equivalent Temperature PET*) [21], contribuyendo así a unos niveles de confort térmico u otros. Los servicios ecosistémicos en relación al ciclo del agua se miden con tres magnitudes principales de intercepción, transpiración, infiltración y reducción de la escorrentía [25]. Así la superficie foliar estaría correlacionada con todos los índices, pero con especial efecto sobre la infiltración y transpiración, mientras que el perfil del dosel arbóreo condiciona los niveles de infiltración, con una reducción de la escorrentía en relación al aumento de la densidad vertical [30].

Sobre estos índices, aparte de dosel arbóreo, su estructura radicular junto con las propiedades físicas del suelo, dibujan un complejo con mayor o menor capacidad de infiltrar o retener el agua, así como de absorción por parte de las raíces. En el caso de los suelos filtrantes tanto la continuidad de éste, como su porosidad y composición afectan a los niveles de transpiración e infiltración [25]. Por otro lado, la composición, dimensiones, profundidad y capilaridad que definen todo el complejo de raíces afecta. Aunque según que parámetros influirá más en un índice u otro. Por ejemplo, se ha observado que una distribución de las raíces más somera, junto con presencia de vegetación herbácea más superficial contribuye de manera destacada a la reducción de la escorrentía [25]; en cambio, la profundidad de las mismas contribuiría a una mayor infiltración y transpiración [25].

A la captación solar y gestión hídrica se le suma, la fijación de gases de efecto invernadero, que en parte modifica los flujos térmicos [21], como se ha comentado en el subcapítulo anterior (3.1). Este proceso ocurre también de manera inversa, donde el aumento de temperatura puede aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> incluso con presencia de la vegetación, como demuestra en un estudio Moser-Reischl et al. (2019) [26]. Se ha de añadir que la mayoría de las especies vegetales tienen menos capacidad de fijar el carbono durante la fotosíntesis al aumentar las temperaturas por razones de pérdida de afinidad del encima *RubisCo* respecto a éste [21]. Por otro lado, la presencia de según qué tipo de vegetación podría tener algunos efectos negativos, en según qué contextos urbanos. Allí donde la concentración de compuestos nitrogenados (NO<sub>x</sub>) es elevada, podría ser precursora de un aumento de de concentración del ozono (O<sub>3</sub>) al entrar en contacto con compuestos orgánicos volátiles (VOC) [27].

Independientemente al fenotipo de la especie, y por tanto de sus características físicas y estructuras con una directa repercusión sobre la capacidad de regulación climática, otras propiedades ligadas a su afinidad por el sustrato, y resiliencia al estrés ambiental o estrategias de supervivencia, reproducción y dispersión ofrecerán un indicador temporal en la generación y mantenimiento de la biomasa, que junto con las propiedades específicas, darán lugar a una determinada biomasa con mayor o menor capacidad de regulación climática e hídrica. Uno de estos factores son las estrategias de reproducción y dispersión, en las cuales se ha podido constatar que las especies dependientes a agentes mecánicos, es decir a otros animales, principalmente insectos y aves, tienden a extinguirse en entornos urbanos [24]; mientras que, por el contrario, aquellas con dispersión y reproducción aérea se ven favorecidas. Además, incluso dentro de las especies con una dependencia entomófila (de insectos) puede encontrarse alguna excepción, como aquellas con dispersión mediante hormigas, que sí presenta un gran nivel de supervivencia en estos entornos [28].

El segundo parámetro relacionado, en este caso más con el crecimiento que con el soporte, será la afinidad por el sustrato. Las áreas urbanas se caracterizan por una impermeabilización del suelo mediante su urbanización, generando un cierto estrés hídrico sobre éste, además de un aporte químico con origen en los materiales de construcción empleados, así como por la emisión de gases y compuestos volátiles por parte del tráfico rodado, sobre todo. En esta línea, se ha podido constatar, que la vegetación ruderal, aquella de crecimiento espontáneo en áreas antropizadas, relacionada en éste caso a áreas urbanas, son aquellas con afinidad a sustratos muy nutridos en N, o con pH básico [28]. El primero debido a la emisión de compuestos nitrogenados en presencia de tráfico rodado; y el segundo, a los



materiales de construcción derivados del hormigón, los cuales contienen carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>).

### 3.3. Resultados de indicadores clave a considerar en la regeneración urbana

Los indicadores se han clasificado, tal y como se muestra en la tabla 1, en base a cinco ámbitos principales detectados durante la identificación de los mimos: indicadores de ámbito regional, de morfología urbana, materiales de construcción, ind. de actividad urbana y propiedades de la vegetación. Debido a que los sistemas de caracterización de las islas de calor, y por tanto, la detección de áreas vulnerables, se elabora desde información georeferenciada, los indicadores tienden a ser de una escala mayor y de una menor exactitud en comparación con el amplio abanico de indicadores estudiados para la capacidad de mejora y regulación climática, especialmente con los indicadores asociados a las propiedades de la vegetación. Esto no significa que no sean parámetros influyentes también para la primera de las fases, solo que dicha información a escala geográfica es difícil o imposible de obtener.

Tabla 1: Indicadores clave para la regeneración urbana

Ámbito	Indicador	ICU	SBN
-Indicadores regionales	-Clima: Temperatura, humedad	x	x
	-Localización respecto al mar	x	
	-Uso del suelo circundante y tipo de cobertura verde	x	
-Morfología urbana	-Fragmentación/continuidad de la infraestructura verde	x	x
	-Orientación de la calle	x	
	-Relación de altura y amplitud de la calle	x	
-Materiales de construcción y sustrato	-Impermeabilidad		x
	-Color		x
	-Porosidad		
	-Composición química del sustrato: materiales de construcción y suelo	x	
-Actividad urbana	-Emisión de gases de efecto invernadero	x	x
-Propiedades de la vegetación	-Biomasa y superficie aérea: índice de área foliar, superficie bajo la copa, volumen de la copa, altura del árbol	x	x
	-Biomasa subterránea: Profundidad y longitud de las raíces		x
	-Composición y tipo de vegetación: densidad de área foliar, grosor de la hoja, forma de la hoja, humectabilidad foliar, vellosidad foliar, perfil de la copa, pigmentación foliar, altura del árbol y altura de la base de la copa		x
	-Estrategias de supervivencia ante estrés ambiental		x
	-Estrategias de reproducción y dispersión		x

## 4. CONCLUSIONES

La identificación de zonas urbanas vulnerables en función de sus características constructivas y presencia de SBN permite la priorización de actuaciones de regeneración urbana. El estudio ha permitido definir los indicadores arquitectónicos relacionados con la morfología urbana y los materiales de construcción empleados en el espacio público e indicadores relativos a los servicios ecosistémicos que caracterizan las propiedades presentes en los distintos tipos de vegetación, de tal modo que se puedan determinar las pautas de diseño óptimas en futuras intervenciones.

Así mismo, la incorporación de indicadores relacionados con la capacidad de adaptación, crecimiento y supervivencia, lo que durante el texto ha sido denominado factor de crecimiento y soporte, ha permitido abrir una línea de estudio más exhaustiva sobre el potencial de la vegetación en la regulación climática. El próximo paso de investigación sería la ponderación de la importancia relativa de cada uno de los factores.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento del Programa Investigo dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Unión Europea (NextGenerationEU) y del grupo de investigación SAREN (IT1619-22, Gobierno Vasco). MO está financiada por la Unidad de Excelencia María de Maeztu Excellence Unit 2023-2027 Ref. CEX2021-001201-M, financiada por MCIN/AEI /10.13039/501100011033; y por el Gobierno Vasco a través del programa BERC 2022-2025.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. W. Arnell, J. A. Lowe, A. J. Challinor, and T. J. Osborn, 'Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase', *Climatic Change*, vol. 155, no. 3, pp. 377–391, Aug. 2019, doi: 10.1007/s10584-019-02464-z.
- [2] C. Hebborn *et al.*, 'Future temperature-related excess mortality under climate change and population aging scenarios in Canada', *Can J Public Health*, Jun. 2023, doi: 10.17269/s41997-023-00782-5.
- [3] R. Fish, A. Church, and M. Winter, 'Conceptualising cultural ecosystem services: A novel framework for research and critical engagement', *Ecosystem Services*, vol. 21, pp. 208–217, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.ecoser.2016.09.002.
- [4] A. P. Ribeiro *et al.*, 'The role of tree landscape to reduce effects of urban heat islands: a study in two Brazilian cities', *Trees*, vol. 37, no. 1, pp. 17–30, Feb. 2023, doi: 10.1007/s00468-021-02230-8.
- [5] T. Iungman *et al.*, 'Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities', *The Lancet*, vol. 401, no. 10376, pp. 577–589, Feb. 2023, doi: 10.1016/S0140-6736(22)02585-5.
- [6] J. Huang, H. Yu, A. Dai, Y. Wei, and L. Kang, 'Drylands face potential threat under 2 °C global warming target', *Nature Clim Change*, vol. 7, no. 6, pp. 417–422, Jun. 2017, doi: 10.1038/nclimate3275.
- [7] Y. Zhang, Q. You, G. Mao, C. Chen, and Z. Ye, 'Short-term concurrent drought and heatwave frequency with 1.5 and 2.0 °C global warming in humid subtropical basins: a case study in the Gan River Basin, China', *Clim Dyn*, vol. 52, no. 7–8, pp. 4621–4641, Apr. 2019, doi: 10.1007/s00382-018-4398-6.
- [8] *The Paris Agreement*. 2015.
- [9] 'Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction'. European Environment Agency, 2021. doi: 10.1163/9789004322714\_cclc\_2021-0190-608.
- [10] H. Kim, K. Oh, and D. Lee, 'The Contribution of Ecosystem Regulating Services Based on Their Interrelationship in the Urban Ecosystem', *Applied Sciences*, vol. 11, no. 20, p. 9610, Oct. 2021, doi: 10.3390/app11209610.
- [11] K. J. Almadrones-Reyes and N. H. A. Dagamac, 'Land-use/land cover change and land surface temperature in Metropolitan Manila, Philippines using landsat imagery', *GeoJournal*, vol. 88, no. 2, pp. 1415–1426, Jun. 2022, doi: 10.1007/s10708-022-10701-9.

- [12] L. Echevarría Icaza, F. D. Van Der Hoeven, and A. Van Den Dobbelsteen, 'The Urban Heat Island Effect in Dutch City Centres: Identifying Relevant Indicators and First Explorations', in *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities*, W. Leal Filho, K. Adamson, R. M. Dunk, U. M. Azeiteiro, S. Illingworth, and F. Alves, Eds., in *Climate Change Management*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 123–160. doi: 10.1007/978-3-319-28591-7\_7.
- [13] A. Tzavali, J. P. Paravantis, and G. Mihalakakou, 'URBAN HEAT ISLAND INTENSITY: A LITERATURE REVIEW', *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 24, no. 12, 2015.
- [14] Z. Zhang *et al.*, 'A mechanistic assessment of urban heat island intensities and drivers across climates', *Urban Climate*, vol. 44, p. 101215, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101215.
- [15] M. Nastran, M. Kobal, and K. Eler, 'Urban heat islands in relation to green land use in European cities', *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 37, pp. 33–41, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2018.01.008.
- [16] N. Schwarz, S. Lautenbach, and R. Seppelt, 'Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures', *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, no. 12, pp. 3175–3186, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.rse.2011.07.003.
- [17] D. Rasilla, F. Allende, A. Martilli, and F. Fernández, 'Heat Waves and Human Well-Being in Madrid (Spain)', *Atmosphere*, vol. 10, no. 5, p. 288, May 2019, doi: 10.3390/atmos10050288.
- [18] H. Liang, Q. Meng, Q. Qi, and P. Ren, 'Spatiotemporal interaction between urban heat island and urban-construction indicators on the block scale in autumn in a humid and hot climate', *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, p. 103638, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103638.
- [19] Y. Shi and Y. Zhang, 'Urban morphological indicators of urban heat and moisture islands under various sky conditions in a humid subtropical region', *Building and Environment*, vol. 214, p. 108906, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.108906.
- [20] W. Li, Z. Zhou, S. Zhang, and J. Feng, 'Study on Relationship between Shading and Outdoor Air Temperature Based on the Comparison of Two High-Rise Residential Estates with Field Measurements', *Buildings*, vol. 12, no. 11, p. 1813, Oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12111813.
- [21] L. F. Weissert, J. A. Salmond, and L. Schwendenmann, 'A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO<sub>2</sub> emissions', *Urban Climate*, vol. 8, pp. 100–125, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.uclim.2014.01.002.
- [22] K. Huang, X. Li, X. Liu, and K. C. Seto, 'Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050', *Environ. Res. Lett.*, vol. 14, no. 11, p. 114037, Nov. 2019, doi: 10.1088/1748-9326/ab4b71.
- [23] J. Mika, P. Forgo, L. Lakatos, A. B. Olah, S. Rapi, and Z. Utasi, 'Impact of 1.5 K global warming on urban air pollution and heat island with outlook on human health effects', *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 30, pp. 151–159, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.cosust.2018.05.013.
- [24] J. Wolf, D. Haase, and I. Kühn, 'The functional composition of the neophytic flora changes in response to environmental conditions along a rural-urban gradient', *NB*, vol. 54, pp. 23–47, Jan. 2020, doi: 10.3897/neobiota.54.38898.
- [25] L. P. Hopkins, D. J. January-Bevers, E. K. Caton, and L. A. Campos, 'A simple tree planting framework to improve climate, air pollution, health, and urban heat in vulnerable locations using

- non-traditional partners’, *Plants People Planet*, vol. 4, no. 3, pp. 243–257, May 2022, doi: 10.1002/ppp3.10245.
- [26] A. Moser-Reischl *et al.*, ‘Growth of *Abies sachalinensis* Along an Urban Gradient Affected by Environmental Pollution in Sapporo, Japan’, *Forests*, vol. 10, no. 8, p. 707, Aug. 2019, doi: 10.3390/f10080707.
- [27] I. Farías, M. Préndez, and H. E. Bown, ‘Leaf Fluxes of Carbon Dioxide, Methane and Biogenic Volatile Organic Compounds of the Urban Trees *Platanus × acerifolia* and *Schinus molle* in Santiago, Chile’, *Atmosphere*, vol. 13, no. 2, p. 298, Feb. 2022, doi: 10.3390/atmos13020298.
- [28] Z. Lososová and D. Láníková, ‘Differences in trait compositions between rocky natural and artificial habitats’, *Journal of Vegetation Science*, vol. 21, no. 3, pp. 520–530, Jun. 2010, doi: 10.1111/j.1654-1103.2009.01160.x.

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

**Coordinator:**



**UC** | Universidad  
de **Cantabria**



Universidad de  
Oviedo