

**Tendencia global en las investigaciones relacionadas con el rendimiento energético por la implementación de techos verdes en edificaciones: Importancia de su desarrollo en la costa Caribe colombiana.**  
**Global trend in research related to energy efficiency for the implementation of green roofs in buildings: Importance of its development on the Colombian Caribbean coast.**

**Heidis Valencia-Perez<sup>1</sup>, Marley Vanegas-Chamorro<sup>2</sup>, Rafael Ramírez-Restrepo<sup>3</sup>**

- 1: Estudiante Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de Energía - Kaí, Facultad de Ingeniería. Universidad del Atlántico, Puerto Colombia – Colombia
- 2: Ph.D. Grupo de Investigación en Gestión Eficiente de Energía - Kaí, Facultad de Ingeniería. Universidad del Atlántico, Puerto Colombia – Colombia
- 3: Docente investigador, Grupo de Investigación en Diseño de Sistemas Mecánicos y Robóticos (Dimer), Facultad de Ingeniería. Universidad del Atlántico, Puerto Colombia-Colombia  
Email: hyvalencia@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido: 30/08/2020  
Aceptado: 07/05/2021

*Cite this article as: H. Valencia-Perez, M. Vanegas-Chamorro y R. Ramírez-Restrepo “Tendencia global en las investigaciones relacionadas con el rendimiento energético por la implementación de techos verdes en edificaciones: Importancia de su desarrollo en la costa Caribe colombiana.”, Prospectiva, Vol 20, N° 1, 2022.*

<http://doi.org/10.15665/rp.v20i1.2499>

## **RESUMEN**

Se evaluó la tendencia global de las investigaciones relacionadas con el rendimiento energético debido a la implementación de techos verdes en las edificaciones a través de una cuantificación bibliométrica basada en la literatura científica disponible en la base de datos Scopus. Se encontró un aumento en las publicaciones a partir de 2010, donde Estados Unidos e Italia resultaron ser los países más productivos. Se logra observar una alta colaboración, principalmente entre autores e instituciones. Los artículos de revisión son los que logran captar la atención en los nuevos estudios, el patrón en las citaciones muestra la ruta de intereses en el desarrollo del área. Con el presente análisis se busca dar a conocer la naturaleza y crecimiento del campo de investigación, como base para que la industria, los entes gubernamentales y las universidades de la región se interesen en la promoción y exploración de esta tecnología.

**Palabras clave:** Rendimiento energético, techo verde, bibliométrica, sostenibilidad ambiental, eficiencia energética.

## ABSTRACT

The global trend of research related to energy performance due to the implementation of green roofs in buildings was evaluated through a bibliometric quantification based on the scientific literature available in the Scopus database. Finding an increase in publications from 2010. The United States and Italy are the most productive countries. High collaboration is observed, mainly between authors and institutions. The review articles are the ones that manage to capture the attention in the new studies, the pattern in the citations shows the route of interests in the development of the area. With the present analysis, it seeks to publicize the nature and growth of the research field so that regional universities are interested in exploring this technology.

**Key words:** Energy efficiency, Green roof, Bibliometric, environmental sustainability, energy efficiency.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es evidente el cambio climático y cómo afecta directamente la calidad de vida de cada ser humano en la tierra, tanto así que los asuntos ambientales se han convertido, paulatinamente, en el centro de acción de gobiernos a nivel mundial. Tanto así que es definido como uno de los objetivos de desarrollo sostenible en la Conferencia de las Naciones Unidas de 2012 celebrada en Brasil[1]

Dado que la vegetación estratégicamente colocada en los techos y paredes de las edificaciones es una estrategia frente al cambio climático[2], reduce el efecto de isla de calor urbana, disminuye el flujo de calor a través del techo por evapotranspiración, incrementando el aislamiento y la masa térmica, reduciendo así las demandas de energía del sistema de refrigeración del edificio [3][4][5]. Su eficiencia energética ha sido investigada internacionalmente [6][7][8][9][10][11].

En Colombia se ha observado un crecimiento en la instalación de techos verdes, siendo incluidas en edificaciones construidas en los últimos años, especialmente en zonas donde el clima es menos agresivo que el predominante en las costeras. Estas medidas emprendidas buscan reponer la vegetación extraída para la construcción de las edificaciones, con la creación de verdaderos proyectos verdes. Bogotá D.C. es la ciudad que más avanza en la implementación de techos verdes [12][13][14], en 2011 la alcaldía publicó la “Guía Técnica de Techos Verdes”, donde se establecen los requisitos y recomendaciones técnicas para garantizar la calidad y el buen funcionamiento de este tipo de techos en el Distrito Capital [15] y como complemento a esta, en mayo de 2014 fue publicada la “Guía de Techos Verdes y Jardines Verticales” [16].

En la costa caribe colombiana, la Universidad del Atlántico lleva a cabo un estudio del desempeño energético de un prototipo instalado en su campus. De igual manera los estudiantes pertenecientes al semillero de investigación Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma del Caribe, han generado un proyecto que involucra a las terrazas verdes, dentro de un marco más amplio, denominado Arquitectura Sostenible, que busca aumentar las características bioamigable en la institución[17]. Varias instituciones, entre las que se puede mencionar la Universidad del Norte y el Colegio San José en la ciudad de Barranquilla, también han implementado techos y paredes verdes en su planta física demostrando el crecimiento de esta tecnología en la región.

Por otro lado, la cuantificación bibliométrica es un enfoque simple pero muy completo a la hora de comprender la naturaleza y el crecimiento de un campo de investigación [18]. Estos estudios sintetizan el conocimiento existente para comprender el comportamiento del área de interés y dónde puede faltar información [19]. En 2013 se realizó un estudio de esta índole, conformando una base de datos de la

literatura científica disponible en la base de datos de Web of Science, donde se brinda una imagen general del crecimiento en la exploración de los techos verdes en comparación con otro campo de investigación también emergente como lo es la ecología del paisaje que ha venido en aumento en las últimas décadas[20].

La siguiente revisión adopta un enfoque bibliométrico para el estudio de la tendencia en las publicaciones con temas relacionados al rendimiento energético de los techos verdes, mostrando las estadísticas de publicación, la distribución geográfica de autores e instituciones y los indicadores de publicación entre otros parámetros, para brindar una visión general que sea útil para los investigadores activos en el campo. Se evaluó cuantitativa y cualitativamente construyendo una base con los artículos indexados en Scopus donde se consideran los documentos publicados en el período de 2001 a mayo de 2020.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Características de la búsqueda bibliográfica

El 20 de mayo de 2020 se realizó una búsqueda completa en la base de datos de Scopus utilizando la palabra compuesta "Energy performance (rendimiento energético)", que en el título del artículo, resumen o palabras clave se encontrara "Green roof (Techo verde)", del período 2001 - 2020. El resultado de la búsqueda se filtró utilizando los idiomas "inglés y español" y el tipo de documento se limitó a "artículos, revisiones y actas de conferencias". utilizando Específicamente el término de búsqueda: *"energy performance" AND TITLE-ABS-KEY ( "green roof" ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE , "p" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) OR LIMIT-TO ( LANGUAGE , "Spanish" ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Roofs" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Green Roof" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Energy Efficiency" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Energy Performance" ) )*. Finalmente, se obtuvieron los datos completos de 519 documentos que fueron analizados en su totalidad. Es importante aclarar que no todas las publicaciones, actas de conferencias o informes técnicos necesariamente son indexados en Scopus, la investigación se puede divulgar en sitios web, en idiomas distintos al inglés o el español, sin embargo, el proceso de revisión por pares sirve como un filtro razonable para considerar la rigurosidad del trabajo científico.

El análisis cualitativo y cuantitativo se llevó a cabo con los indicadores de resultado de la distribución documental, producción por países, producción institucional, producción autoral, colaboración académica, distribución de revistas y citación de artículos.

#### 2.1. Indicadores de resultados

El índice h (h-index) se emplea para el análisis de la influencia de los países, instituciones, revistas y autores, el cual evalúa la producción científica en función de la cantidad de citas que reciben los artículos. Se calcula con base en la distribución de las citas que han recibido las publicaciones; si el índice h vale N, indica que se han publicado N trabajos con al menos N citas cada uno.

El porcentaje equivalente de artículos o citas, es utilizado en el análisis con el objetivo de examinar la contribución e influencia del país, institución, revista o autor que se esté estudiando. Se calcula dividiendo el número de artículos publicados entre el total de documentos, de igual manera para las citas, dividiendo las citas recibidas entre el total de citas.

$$\% = \frac{\text{publicaciones}}{\text{Total Documentos}} \quad (1)$$

$$\% = \frac{\text{Citas recibidas}}{\text{Total de Citas}} \quad (2)$$

El puntaje acumulativo estándar, es utilizado para evaluar la calidad de las investigaciones de los países estudiados. Se toman los indicadores con los que se analizaron los resultados encontrados para cada país con el fin de mostrarse como un solo indicador [21]. El cálculo se realiza como lo indican las ecuaciones 3 y 4.

$$S_{qp} = \frac{x_{qp} - \bar{x}_q}{\bar{x}_q} + 1 \quad (3)$$

$$S_p = \sum_{q=1}^n S_{qp} \quad (4)$$

Donde  $S_{qp}$  es el puntaje estándar de investigación de cada indicador  $q$  del país  $p$ ,  $x_{qp}$  es el valor original del indicador  $q$  del país  $p$ ,  $\bar{x}_q$  es valor promedio del indicador  $q$ . La suma de todas las puntuaciones de investigación son el porcentaje acumulativo estándar  $S_p$ , donde  $n$  toma el valor de 7 debido a que es la cantidad de indicadores que se van a acumular en este estudio.

La calidad de una revista está definida por la influencia (SNIP) y el prestigio (SJR) que esta tiene. El factor de impacto normalizado (SNIP)[22] representa la probabilidad de ser citado por documentos en un mismo campo de investigación, métrica de impacto incluida en Scopus. El índice SJR (Scimago Journal Rank)[22] pondera el prestigio de las revistas indexadas en Scopus [23].

El desempeño de un autor es descrito sobre la base del índice de productividad ( $IP$ ), el cual acostumbra a distribuir a los autores de un conjunto de publicaciones en tres niveles: cuando el índice  $IP$  del autor sea igual a 0 se considera un pequeño productor (con un solo trabajo), mientras que cuando el índice  $IP$  del autor sea mayor que 0 y menor que 1 se considera un mediano productor (entre 2 y 9 trabajos), y cuando el índice  $IP$  del autor es mayor que 1 se considera un gran productor (10 o más trabajos)[18]. Es definido como el logaritmo decimal del número de artículos publicados tal como lo describe la ecuación 3.

$$IP = \text{Log } N \quad (5)$$

Dónde  $IP$  es el indicador de productividad del autor y  $N$  es el número de artículos.

A su vez, los autores se evalúan mediante su influencia y desempeño. La influencia de un autor es definida por la cantidad de documentos publicados que superen un límite establecido de citas, llamados *artículos clave* (Elsevier, 2018). Para el caso presentado, las publicaciones deben superar las 50 citaciones para ser considerados un artículo clave.

El grado de colaboración es la relación existente entre los autores, instituciones y países que investigan en un área determinada, permite indagar respecto a su capacidad científica. En este artículo se analizarán tres niveles de colaboración: colaboración entre autores, instituciones y países. El cálculo se realiza utilizando las ecuaciones 6, 7 y 8 [24].

$$C_{Ai} = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_j}{N} \quad (6); \quad C_{Ii} = \frac{\sum_{j=1}^N \beta_j}{N} \quad (7) \quad C_{Pi} = \frac{\sum_{j=1}^N \omega_j}{N} \quad (8)$$

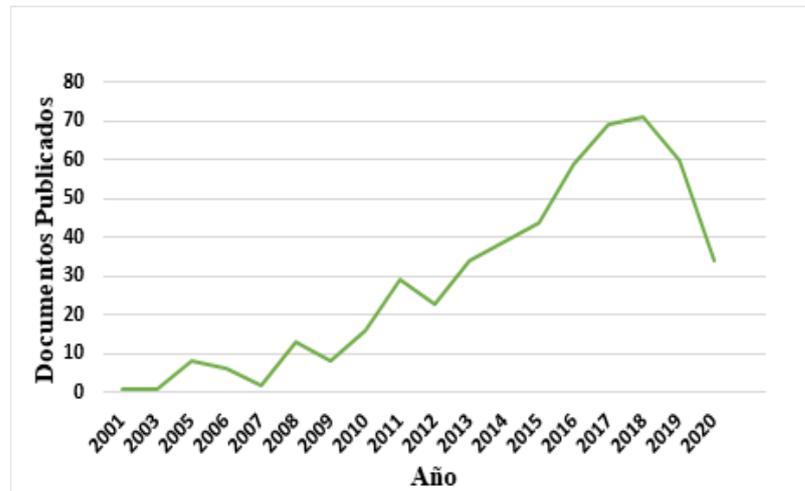
Donde:  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$  y  $\omega_j$  son el número de autores, instituciones y países para cada artículo,  $N$  es el número total anual de artículos publicados en el campo de investigación.  $C_{Ai}$ ,  $C_{Ii}$  y  $C_{Pi}$  es el grado de colaboración entre autores, instituciones y países de un año  $i$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Distribución de publicaciones

Las investigaciones indexadas en la base de datos de Scopus, relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes han dejado como resultado 519 documentos, entre artículos originales, de revisión, y actas de conferencia. Han sido realizadas por 160 autores, de 160 instituciones, de 61 países y publicados en 126 revistas, recibiendo un total de 14.433 citas. El 67% de estas citaciones son por 75 artículos clave. En la Figura 1 se muestra la línea de tiempo del comportamiento de publicación anual del periodo 2001 a mayo de 2020.

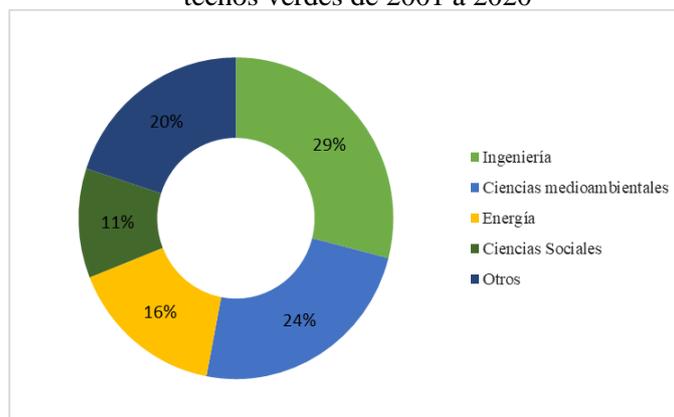
**Figura 1.** Línea de tiempo de publicaciones anuales de 2001 a 2020



La creciente preocupación por el impacto ambiental y la necesidad de mejorar la eficiencia energética en las edificaciones ha conllevado al aumento de las publicaciones relacionadas con la temática a partir del 2010 teniendo una disminución en 2012 para luego aumentar en 2013. Desde entonces hasta 2018 se observa un incremento interesante que evidencia la importancia de la temática a nivel mundial. En lo corrido del año 2020, se han publicado 37 artículos, más de la mitad de los aportados el año pasado, por lo que se espera un notable aumento al finalizar este año. El número de documentos publicados se ve afectado por diferentes aspectos entre los que cabe mencionar: el tiempo que se toma una revista en la revisión y aceptación de una publicación, el tiempo que debe transcurrir luego de aceptado un proyecto para poder tener resultados satisfactorios y la falta de cultura de la publicación de muchos investigadores que no les interesa compartir con la comunidad científica los resultados de sus investigaciones.

La figura 2 presenta los ejes temáticos en los que se desarrollan las investigaciones y son principalmente ingeniería, ciencias ambientales, energía y ciencias sociales, representado el 80% de las publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes. El 20% restante está constituido por otras áreas de investigación como matemáticas, ciencia de los materiales, ciencias planetarias, química, entre otros.

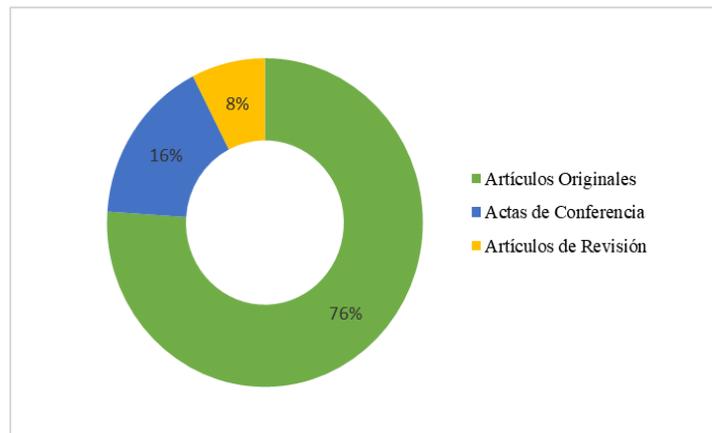
**Figura 2.** Distribución de áreas de investigación de las publicaciones sobre rendimiento energético de techos verdes de 2001 a 2020



Sorprende que el eje temático de arquitectura no esté publicando al respecto, ya que son ellos quienes deben tener mayor interés en esta temática en lo que respecta a los diseños de las construcciones modernas que tienen en cuenta la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética.

En la Figura 3 se presentan las características de los tipos de publicaciones. Alrededor del 76% de los documentos son artículos originales mientras que el 24% restante corresponde a actas de conferencia y artículos de revisión.

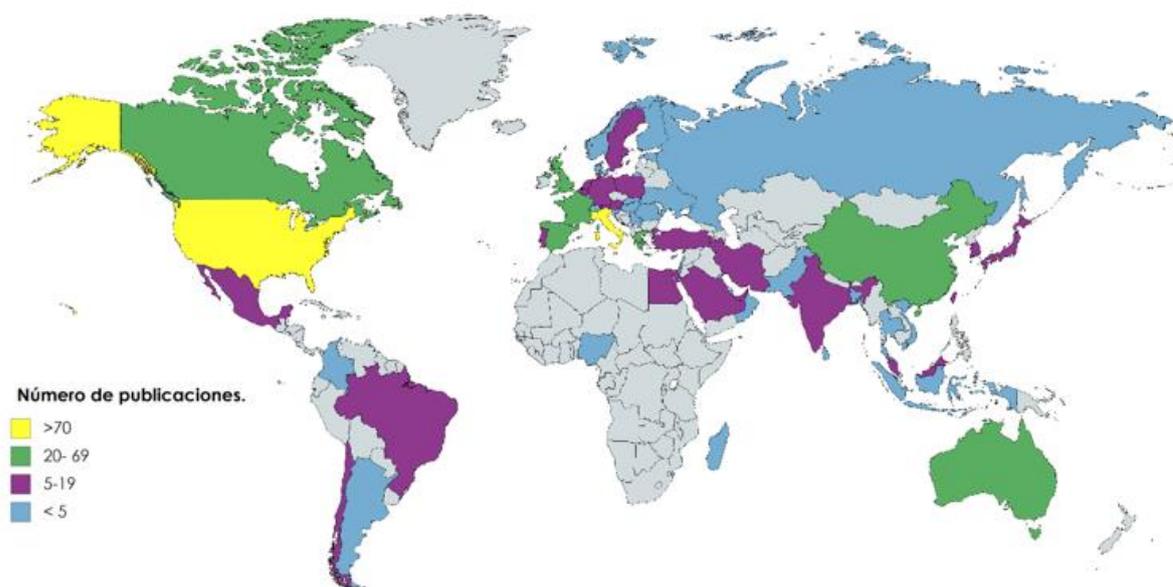
**Figura 3.** Tipos de publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes de 2001 a 2020



### 3.2. Producción por país

Tener claro la distribución geográfica de las publicaciones permite categorizar las condiciones climáticas y los ecosistemas que los documentos están considerando. Los artículos publicados proceden de más de 60 países, sin embargo, la mayor parte de las publicaciones se centran en contadas zonas como se ve reflejado en la Figura 4.

**Figura 4.** Distribución geográfica de las publicaciones sobre el rendimiento energético de los techos verdes.



Alrededor del 48,75% de las publicaciones provienen de los cinco países más productivos relacionados en la Tabla 1. Estos han recibido el 50,33% de las citas totales. Cabe aclarar que, si un documento se realizó en colaboración con varias instituciones de países diferentes, la publicación fue considerada para el país de cada institución.

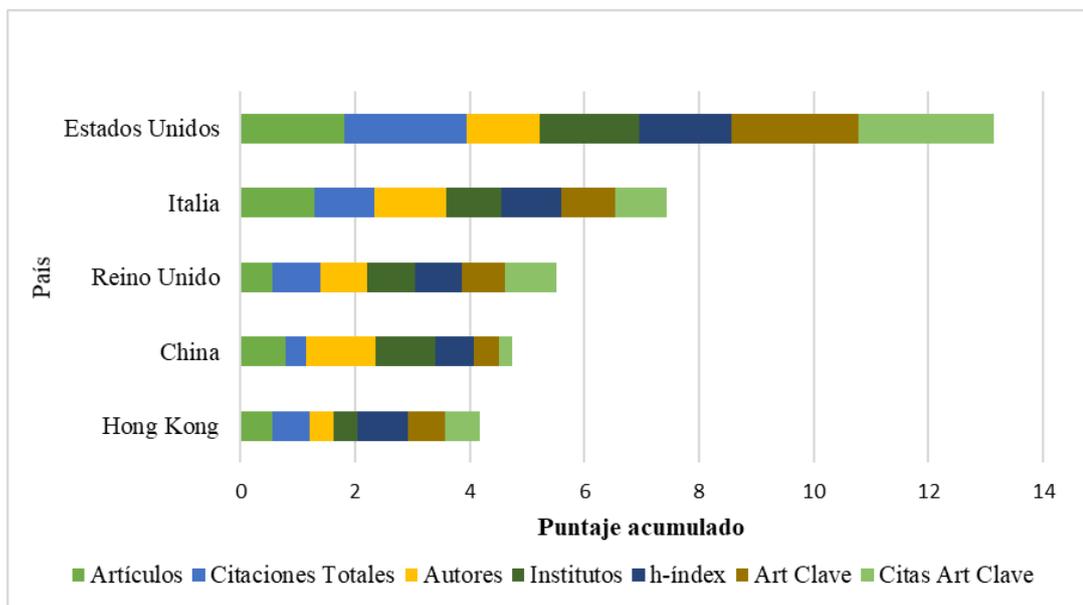
**Tabla 1.** Producción bibliográfica relacionada con el rendimiento energético de techos verdes de los principales países de 2001 a 2020

| País                       | Productividad |       |               |       |         |            | h-índice | Artículos clave |       |
|----------------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------|------------|----------|-----------------|-------|
|                            | Artículos     | %     | Citas Totales | %     | Autores | Institutos |          | Artículos Clave | Citas |
| Estados Unidos             | 103           | 19,85 | 3567          | 24,71 | 160     | 125        | 31       | 21              | 2622  |
| Italia                     | 73            | 14,07 | 1742          | 12,07 | 160     | 69         | 20       | 9               | 988   |
| China                      | 45            | 8,67  | 582           | 4,03  | 152     | 76         | 13       | 4               | 259   |
| Reino Unido                | 32            | 6,17  | 1373          | 9,51  | 105     | 59         | 16       | 7               | 1008  |
| Hong Kong (R.A.E.R.P.Ch.)* | 31            | 5,97  | 1092          | 7,57  | 54      | 30         | 17       | 6               | 687   |

\*(Región Administrativa Especial de la República Popular China)

Estados Unidos, Italia, China y Reino Unido, son los mayores países productores, representando el 48,75% del total de los artículos publicados y acumulando el 50,33% del total de citas. La cantidad de publicaciones no son sinónimo de calidad, se debe considerar el h-índice, citas, autores e institutos productivos, los cuales son tomados en cuenta en el puntaje acumulativo estándar, en la Figura 5 se muestran los resultados de las investigaciones por cada país.

**Figura 5.** Puntaje acumulativo estándar de investigación de los países más productivos



Como se observa con el cambio de posición de china y reino unido donde las características de los artículos claves han hecho la diferencia.

### 3.3. Patrón de autoría

Los 519 artículos analizados en este estudio, fueron publicados por 160 autores de 63 instituciones. Los cinco autores más productivos representan el 11,94% del total de las publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes y han recibido el 24,25% del total de citas en el periodo de estudio. En la Tabla 2 se presentan los autores productivos en temas relacionados con el rendimiento energética de los techos verdes de 2001 a 2020.

**Tabla 2.** Autores productivos en el periodo 2001 a 2020.

| Autor           |                             | Productividad en el área |      |       |    |      |         |       |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|------|-------|----|------|---------|-------|
| Nombre          | Afiliación                  | TA                       | TC   | % TC  | AC | CAC  | h-índex | IP    |
| Jim, C.Y.       | The University of Hong Kong | 20                       | 578  | 4,00  | 4  | 277  | 14      | 1,301 |
| Santamouris, M. | University of Athens        | 13                       | 1673 | 11,59 | 6  | 1490 | 12      | 1,114 |
| Belarbi, R.     | Universite de La Rochelle   | 10                       | 525  | 3,64  | 3  | 389  | 8       | 1,000 |
| Sailor, D.J.    | Arizona State University    | 10                       | 743  | 5,15  | 5  | 653  | 7       | 1     |
| Arcuri, N.      | Università della Calabria   | 9                        | 97   | 0,67  | 0  | 0    | 3       | 0,954 |

Los autores se analizaron sobre la base del número total de artículos (TA), el número total de citas (TC), los artículos clave (AC), la citación de los artículos clave (CAC), el h-índex y el indicador de productividad personal para cada autor (IP). Los autores considerados más productivos por tener índices IP mayores y representar el 6,85% del total de documentos publicados son: C.Y. Jim (Scopus ID: 7006143750) investigador de la Universidad de Hong Kong en el Departamento de Ciencias Sociales y M. Santamouris (Scopus ID: 7006575535) investigador de la University of Athens, Grecia, en el Departamento de Física. Jim es el investigador con mayor número documentos publicados, sin embargo, Santamouris es el autor más prestigioso con 6 artículos claves los cuales han recibido 1490 citas representando el 10,32% del total dentro de la base de datos. Con 626 citas su presentación del estado del arte de las tecnologías de techo verde y techo refractivo, cuando se aplica en la escala de la ciudad del año 2014, es la publicación que ha recibido la mayor cantidad de citas representando el 4,33 % del total analizadas.

### 3.4. Producción Institucional

En la Tabla 3 se relacionan las cinco instituciones más productivas de las 160 identificada en los 519 documentos indexados en Scopus. Estas instituciones suman el 17,72% de las publicaciones totales y el 25.40% de las citaciones recibidas.

**Tabla 3.** Distribución de las siete instituciones más productivas.

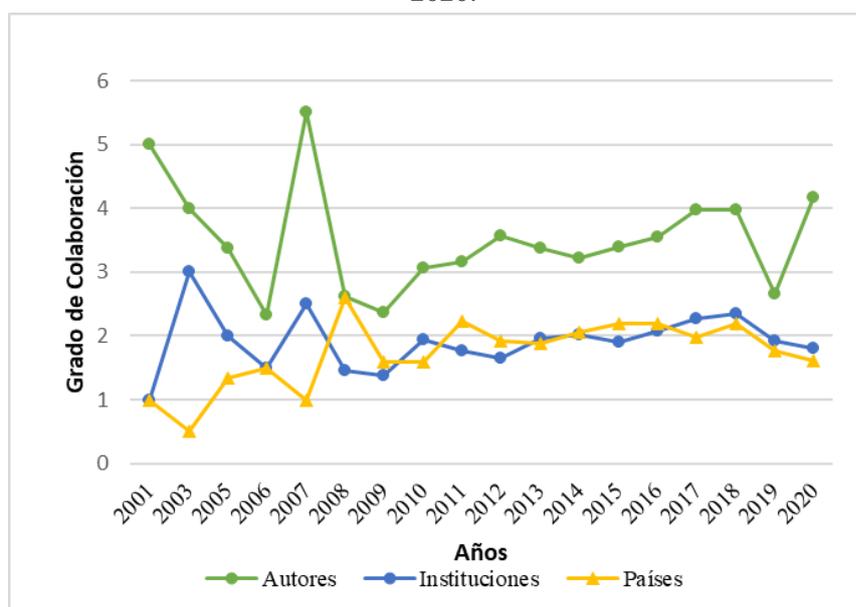
| Institución                                    | País      | Productividad |       |         | (%)       |       |
|--|-----------|---------------|-------|---------|-----------|-------|
|  |           | Artículos     | Citas | h-índex | Artículos | Citas |
| The University of Hong Kong                    | Hong Kong | 20            | 590   | 14      | 3,85      | 4,09  |
| National and Kapodistrian University of Athens | Grecia    | 15            | 1254  | 12      | 2,89      | 8,69  |
| Universita della Calabria                      | Italia    | 15            | 179   | 7       | 2,89      | 1,24  |
| Universite de La Rochelle                      | Francia   | 11            | 460   | 7       | 2,12      | 3,19  |
| Universitat de Lleida                          | España    | 11            | 299   | 9       | 2,12      | 2,07  |

La Universidad de Hong Kong, con 20 artículos es la institución con más publicaciones, seguido por la Universidad de Atenas con 15 artículos de gran impacto logrando conseguir el 8,69% de las citaciones totales. El h-índex de la universidad de Hong Kong es mayor dado que el total de citas recibidas están distribuidos entre varios de los artículos publicados en el periodo de estudio, mientras que las citaciones recibida por la universidad de Atenas se concentran en pocos documentos de gran impacto.

### 3.5. Colaboración académica

En la Figura 6 se describe el comportamiento del grado de colaboración existente entre autores, instituciones y países en el tiempo analizado.

**Figura 6.** Línea de tiempo de grado de colaboración entre autores, instituciones y países de 2001 a 2020.



La colaboración en el área relacionada con el rendimiento energéticos de los techos verde siempre ha estado presente y tiende a ser alta en el periodo de estudio. Por ejemplo, el autor Jim, C.Y. afiliado a la Universidad de Hong Kong, posee la mayor producción con veinte artículos, los cuales realizó en colaboración con diez autores pertenecientes a cuatro instituciones de dos países diferentes. Santamouris, M. es el investigador con mayor colaboración tanto institucional como internacionalmente, él ha realizado trece trabajos en cooperación con 49 autores de 9 instituciones y ocho países. En la tabla 4 se evidencia la colaboración de los autores afiliados a su respectiva institución y la colaboración entre instituciones que incluyen diferentes países.

**Tabla 4.** Colaboración internacional.

| País           | Artículos | Colaboración entre países |
|----------------|-----------|---------------------------|
| Estados Unidos | 103       | 19                        |
| Italia         | 73        | 11                        |
| China          | 45        | 10                        |
| Reino Unido    | 32        | 13                        |
| Hong Kong      | 31        | 8                         |
| Canadá         | 30        | 7                         |
| España         | 27        | 8                         |

Estados Unidos el país con mayor producción bibliográfica (Tabla 1), a pesar que la institución más productiva se encuentra en Hong Kong (Tabla 3), esto es debido a su alta colaboración internacional, como se mencionó anteriormente se toma en cuenta la publicación a todos los países participantes en la ejecución del proyecto.

### 3.6. Distribución de revistas

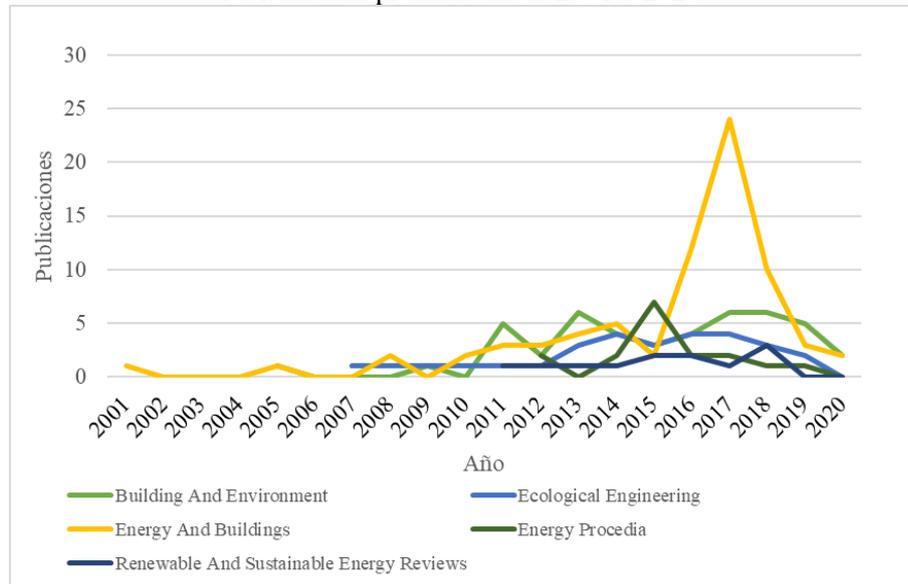
En los 519 documentos analizados, se identificaron 126 fuentes editoriales; las siete revistas con mayor desempeño representan el 57,76% de las citas recibidas y el 38,73% del total de publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes, las cuales se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Las cinco revistas más productivas de 2001 a 2020.

| Revista                                  | Productividad |             |            |         |         | Calidad de la Revista |       |
|--|---------------|-------------|------------|---------|---------|-----------------------|-------|
|  | Artículos     | % Artículos | Citaciones | % Citas | h-index | SJR                   | SNIP  |
| Energy And Buildings                     | 75            | 14,45       | 3426       | 23,74   | 28      | 1,934                 | 1,826 |
| Building And Environment                 | 45            | 8,67        | 1803       | 12,49   | 22      | 1,879                 | 2,198 |
| Ecological Engineering                   | 29            | 5,59        | 1010       | 7,00    | 16      | 1,104                 | 1,451 |
| Energy Procedia                          | 17            | 3,28        | 140        | 0,97    | 8       | 0,468                 | 0,582 |
| Renewable And Sustainable Energy Reviews | 12            | 2,31        | 1202       | 8,33    | 12      | 3,288                 | 3,694 |

Energy And Buildings (ISSN:0378-7788) y Building And Environment (ISSN:0360-1323) son las revistas con mayor producción en esta temática representando el 15,63% de las publicaciones totales, igualmente las más prestigiosa, con un h-índex mayor de 20 (20 publicaciones con por lo menos 20 citas cada una) y con el índice de impacto (SJR) e índice de impacto normalizado (SNIP) mayores. La revista Energy and Buildings ha sido la más productiva en los temas relacionados con el rendimiento energético de los techos verdes como se muestra en la Figura 7. Es una revista internacional que publica artículos sobre el uso de energía en edificaciones, presentando nuevos resultados de investigación y nuevas prácticas comprobadas dirigidas a reducir las necesidades energéticas en edificaciones y mejorar la calidad del ambiente interior [25].

**Figura 7.** Línea de tiempo de publicaciones sobre rendimiento energético de techos verde de las revistas más productivas de 2001 a 2020.

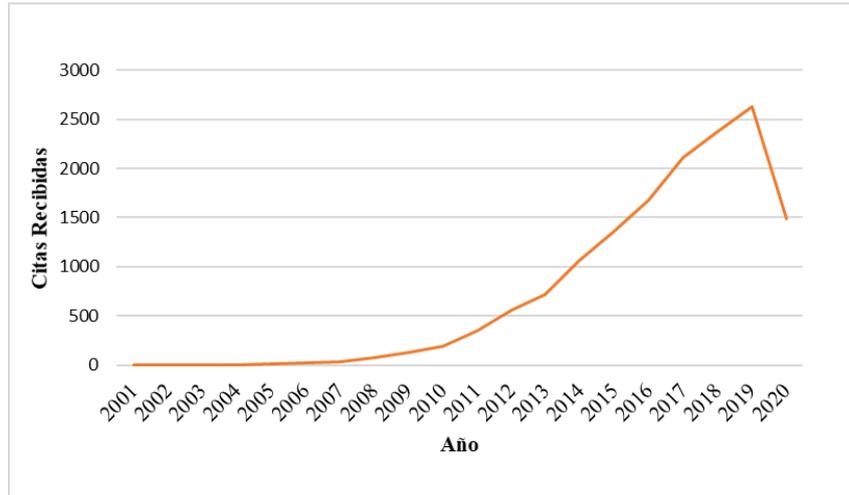


En segundo lugar, se encuentra la revista Building and Environment, la cual publica artículos de investigación originales y artículos de revisión relacionados con la ciencia de la construcción, la física urbana y la interacción humana con el entorno construido en interiores y exteriores [26]. El aumento en las publicaciones en estas dos revistas a partir del 2015 pone de manifiesto el interés en las investigaciones de los techos verdes y como se relaciona esto con la eficiencia energética de las edificaciones.

### 3.7. Citación de artículos

El patrón del comportamiento de citación de artículos se analizó teniendo en cuenta que en los estudios bibliométricos se distingue entre «citas» (que una publicación recibe de otras posteriores) y «referencias» (que una publicación hace de otras anteriores)[27]. La Figura 8 presenta la línea de tiempo del comportamiento anual de las citaciones de las publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes.

**Figura 8.** Línea de tiempo del patrón de citado en las publicaciones relacionadas con el rendimiento energético de los techos verdes de 2001 a 2020



El aumento en la cantidad de citas recibidas ha sido proporcional al aumento en la producción científica en el periodo estudiado, por ejemplo, el 2019 cerró con 2630 citas. En lo corrido del año 2020 se han recibido 1488 citas. Dado que el número de documentos va en aumento, se espera que continúe en alza el recuento de citas al finalizar el año en curso. En la Tabla 6 se relacionan las publicaciones más citados en el periodo 2017 a 2020 y en la Tabla 7 se detallan sus contenidos.

**Tabla 6:** Artículos relacionados con el rendimiento energético de los techos verdes más citados en el periodo 2017-2020

| Año  | Nº Autores | Nº Institución | Autor Principal | País    | Revista                                  | Total Citas |
|------|------------|----------------|-----------------|---------|--|-------------|
| 2017 | 8          | 2              | Santamouris, M  | Grecia  | Solar Energy                             | 73          |
| 2018 | 2          | 1              | Besir A.B.      | Turquía | Renewable and Sustainable Energy Reviews | 77          |
| 2019 | 4          | 4              | Cascone, S.     | Italia  | Building and Environment                 | 18          |
| 2020 | 6          | 3              | Maiolo, M       | Italia  | Sustainability (Switzerland)             | 3           |

**Tabla 7.** Análisis de contenido de los artículos clave más citados en el periodo 2017-2020

| Año  | Autor  | Título   | Objetivo  | Citas |
|------|--|--|---|-------|
| 2017 | Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., | Passive and active cooling for the outdoor built environment Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance | Analizar y presentar de manera comparativa el potencial de las tecnologías de mitigación conocidas utilizando datos de desempeño de aproximadamente 220 proyectos de rehabilitación urbana a escala real. La caída promedio de la temperatura máxima de todos los | 73    |

|      |   |  |   |    |
|------|---|--|---|----|
|      | Prasad, D.,<br>Synnefa, A.  | data from 220 large scale projects[28]   | proyectos de vegetación se acerca a 1,66 K. Aproximadamente el 50% de los proyectos de vegetación tienen una reducción de temperatura máxima por debajo 1 K, 78% por debajo de 2 K, (0–2 K), y casi 90% por debajo de 3 K, (0–3K). Los árboles urbanos parecen presentar la mayor mitigación potencial seguido de césped y techos verdes.   |    |
| 2018 | Besir, A.B.<br>Cuce, E.   | Green roofs and facades: A comprehensive review[29]  | Presentar un seguimiento histórico de la tecnología, la investigación se dividió en varios subcampos. Algunos hallazgos característicos obtenidos son: - La transferencia de calor de los techos de los edificios en verano se puede mitigar en aproximadamente un 80% a través de techos verdes, -Los sistemas de vegetación pueden proporcionar un ahorro de energía de aproximadamente \$ 215 al año. dependiendo de las condiciones regionales y climáticas   | 77 |
| 2019 | Cascone, S.,<br>Coma, J.,<br>Gagliano, A,<br>Pérez, G.                            | The evapotranspiration process in green roofs: A review[30]  | En primer lugar, se presenta una descripción general del fenómeno de evapotranspiración en techos verdes, así como los equipos y métodos utilizados para su medición. Luego, los principales resultados experimentales disponibles en la literatura, los modelos físico-matemáticos y el software de simulación dinámica utilizados para la evaluación del flujo de calor latente también se analizan y discuten entre la literatura disponible. Además, esta revisión propone una clasificación de los resultados realizados por estudios previos en función de los principales parámetros que afectan el proceso de evapotranspiración. | 18 |
| 2020 | Maiolo, M.<br>Pirouz, B,<br>Bruno, R.,<br>Palermo, S.A,<br>Arcuri, N, Piro,<br>P. | The role of the extensive green roofs on decreasing building energy consumption in the Mediterranean climate[31] | El análisis experimental integral de diferentes impactos térmicos de los techos verdes en verano e invierno en un clima mediterráneo. Mediciones realizadas en un año en tres tipos diferentes de cubiertas verdes con diferentes espesores, capas y con y sin la capa de aislamiento. El análisis determinó que, en invierno, la temperatura bajo el techo verde era más alto, y con una diferencia entre 4,6 a 0,2 C con el convencional. En verano, la temperatura bajo y variaban de 5 a 11,3 °C. Las fluctuaciones de temperatura del techo disminuyeron significativamente por los techos verdes                                    | 3  |

#### 4. DISCUSIÓN

Colombia, en términos generales a pesar de estar desarrollando proyectos de esta índole, aún no se ha tomado conciencia de la importancia de implementar de manera macro esta tecnología, especialmente en los climas templados tropicales, donde se necesitan los grandes beneficios en lo que respecta al ahorro de energía debido a la demanda de acondicionamiento de aire, el aliviar las islas de calor y su capacidad de colectar agua lluvia en los sustratos. Solamente en Bogotá, la secretaria distrital de ambiente y la secretaria distrital de planeación han adelantado normas e incentivos para el uso de techos verdes a la hora de construir edificaciones sostenibles. Con el presente estudio, se da a conocer la naturaleza y crecimiento del campo de investigación en el área de estudio con el fin de promover de manera conjunta entre las instituciones de educación superior y gobiernos locales, los beneficios de normalizar y

promover el uso de esta tecnología para la eficiencia energética en edificaciones en la región Caribe colombiana.

La Universidad del Atlántico, específicamente el Grupo de Investigación en Gestión de la energía (kaí) está incursionando en el estudio de la eficiencia energética en edificaciones. Además de contar con software de simulación energética, se construyó un prototipo de techo verde con el fin de realizar medidas que permitieran un análisis detallado del comportamiento térmica del espacio ubicado en el interior de la cubierta donde se encuentra el piloto (ver Figura 9).

**Figura 9** Prototipo de techo verde instalado en el Bloque I de la Universidad del Atlántico.



Para este estudio se tuvieron en cuenta las investigaciones realizadas por [6][32] [33]. Destacando la investigación de M. Santamouris en 2007 que trata sobre la investigación experimental y el análisis del desempeño energético y ambiental de un sistema de techo verde instalado en una guardería en Atenas, Grecia. La investigación se implementó en dos fases, en la primera, se presentó y analizó la investigación experimental del sistema de techo verde, mientras que en la segunda se examinó, a través de un enfoque matemático mediante el cálculo de la carga de refrigeración y calefacción para el período de verano e invierno para el Todo el edificio [34].

## 5. CONCLUSIONES

Tras el análisis de los indicadores de distribución documental, producción autoral, producción por país e instituciones, de los 519 artículos disponibles de la temática analizada, se llegó a las siguientes conclusiones:

Los documentos publicados son principalmente del investigador Jim C.Y, el autor más productivo del presente análisis, adscrito a la universidad de Hong Kong. Sin embargo, el documento más citado fue publicado por Santamouris M, de la Universidad de Atenas, Grecia, con 626 citaciones.

Existe un crecimiento gradual en la producción científica en los temas relacionados con el rendimiento energético de los techos verdes. La línea de tiempo muestra disminución en algunos años en el total de publicaciones, lo cual podría asumirse como el tiempo necesario para ejecutar nuevos proyectos y publicar sus resultados. Por tanto, se espera un aumento en la cantidad de publicaciones para el 2020 con relación a los publicados el año pasado.

Los indicadores de colaboración académica dejan ver la tendencia de cooperación autoral, institucional e internacional, los cuales evidencian que esta área de investigación se ha desarrollado debido a la real necesidad del cambio en los hábitos de consumo de energía de los humanos en el planeta. En cuanto a la cooperación internacional, Estados Unidos e Italia son los países con más participación colaborativa, quienes, a pesar de tener entre ellos el mayor número de documentos publicados, la institución con más publicaciones pertenece a Hong Kong.

Todo este análisis realizado permitió profundizar un poco más acerca del estado del arte en el área del rendimiento energético de los techos verdes. Se aclaró el panorama acerca de los avances que existen a nivel mundial en esta temática, todo con el fin de iniciar una línea de investigación que permita aportar conocimientos y fortalecer la capacidad científica del grupo de investigación.

## Referencias

- [1] United Nations, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible,” *Web Page*, 2017. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [2] L. P. Casar, “Techos verdes, una estrategia frente al cambio climático,” *Rev. Investig. Agropecu.*, vol. 43, no. 1, pp. 16–19, 2017.
- [3] S. J. Counsell, “The Thermal and Rainwater Runoff Performance of an Extensive Green Roof System,” University of Strathclyde, 2010.
- [4] C. Y. Jim and S. W. Tsang, “Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof,” *Build. Environ.*, vol. 46, no. 6, pp. 1263–1274, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.12.013.
- [5] R. Kumar and S. C. Kaushik, “Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings,” *Build. Environ.*, vol. 40, no. 11, pp. 1505–1511, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.11.015.
- [6] S. E. Ouldboukhitine, R. Belarbi, and D. J. Sailor, “Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings,” *Appl. Energy*, vol. 114, pp. 273–282, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.09.073.
- [7] E. E. Ord, “Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR,” vol. 25, no. 5, pp. 11–19, 2015, doi: 10.15174/au.2015.782.
- [8] H. F. Castleton, V. Stovin, S. B. M. Beck, and J. B. Davison, “Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1582–1591, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.004.
- [9] N. H. Wong, Y. Chen, C. L. Ong, and A. Sia, “Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment,” *Build. Environ.*, vol. 38, pp. 261–270, 2003, Accessed: May 05, 2018. [Online]. Available: [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv).
- [10] J. C. Lata *et al.*, “Role of substrate properties in the provision of multifunctional green roof ecosystem services,” *Appl. Soil Ecol.*, no. March, pp. 0–1, 2017, doi: 10.1016/j.apsoil.2017.09.012.
- [11] M. Porcaro, M. R. De Adana, F. Comino, A. Peña, and E. Martín-consuegra, “Energy & Buildings Long term experimental analysis of thermal performance of extensive green roofs with different substrates in Mediterranean climate,” *Energy Build.*, vol. 197, pp. 18–33, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.05.041.
- [12] Groncol-AD, “Infraestructura verde, un nuevo aire para Bogotá Groncol,” 2016. <http://groncol.com/infraestructura-verde/>.
- [13] Concejo de bogota, “Acuerdo 418 de 2009 Concejo de Bogotá D.C.,” 2009. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38262>.
- [14] Secretaria distrital de habitad de Bogota, *Decreto 959 de 2000*. Colombia, 2000.
- [15] Secretaria distrital de ambiente de Bogota, *Guia de Techos Verdes en Bogota*. Bogota, Colombia, 2011.
- [16] Secretaria de medio ambiente de Bogota, *Guia de techos verdes y jardines verticales*. Bogota, 2014.
- [17] UAC, “Universidad Autónoma del Caribe - Para aportar a la sostenibilidad ambiental, estudiantes radican proyecto para aplicar estrategia ‘techos verdes’ al Bloque A,” 2019. <https://www.uac.edu.co/noticias/item/3999-para-aportar-a-la-sostenibilidad-ambiental-estudiantes-radican-proyecto-para-aplicar-estrategia-techos-verdes-al-bloque-a>.
- [18] J. González de Dios, M. Moya, and M. a. Mateos Hernández, “Indicadores bibliométricos: Características y limitaciones en el análisis de la actividad científica,” *An. Españoles Pediatr.*,

- vol. 47, no. 3, pp. 235–244, 1997, [Online]. Available: <https://www.aeped.es/sites/default/files/anales/47-3-3.pdf>.
- [19] L. José and M. Peña, “Análisis bibliométrico sobre la producción científica archivística en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe ( Redalyc ) durante el período 2001-2011,” *Biblios*, vol. 48, no. 48, 2011, doi: 10.5195/biblios.2012.65.
- [20] L. Blank *et al.*, “Directions in green roof research: A bibliometric study,” *Build. Environ.*, vol. 66, pp. 23–28, 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.04.017.
- [21] M. Imran, F. Haglind, M. Asim, and J. Zeb, “Recent research trends in organic Rankine cycle technology : A bibliometric approach,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. December 2016, pp. 552–562, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.028.
- [22] Elsevier, “How is SJR (SCImago Journal Rank) used in Scopus?,” 2017. [https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/14883/kw/sjr/supporthub/scopus/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/14883/kw/sjr/supporthub/scopus/).
- [23] Elsevier, “Mediciones de artículos y revistas,” 2018. <https://www.elsevier.com/es-es/editors/journal-and-article-metrics>.
- [24] K. Zhang, Q. Wang, Q. M. Liang, and H. Chen, “A bibliometric analysis of research on carbon tax from 1989 to 2014,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 297–310, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.089.
- [25] Elsevier, “Energy and Buildings - Journal - Elsevier,” 2018. <https://www.journals.elsevier.com/energy-and-buildings>.
- [26] J. Clarke, “Building and Environment,” *Elsevier*, 2009. <https://www.journals.elsevier.com/building-and-environment>.
- [27] E. Spinak, *Diccionario Enciclopédico de Bibliometría, Cienciometría e Informetría*. 1996.
- [28] M. Santamouris *et al.*, “Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potenti,” *Sol. Energy*, vol. 154, pp. 14–33, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.solener.2016.12.006.
- [29] A. B. Besir and E. Cuce, “Green roofs and facades: A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. July 2017, pp. 915–939, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.106.
- [30] S. Cascone, J. Coma, A. Gagliano, and G. Pérez, “The evapotranspiration process in green roofs: A review,” *Build. Environ.*, vol. 147, no. July 2018, pp. 337–355, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.10.024.
- [31] M. Maiolo, B. Pirouz, R. Bruno, S. A. Palermo, N. Arcuri, and P. Piro, “The role of the extensive green roofs on decreasing building energy consumption in the mediterranean climate,” *Sustain.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/su12010359.
- [32] Y.-Y. Li, P.-R. Chung, C.-Y. Chen, C.-C. Chao, F.-Y. Chiu, and P.-C. Tzeng, “The Study on the Evaluation of Thermal Insulation Efficiency with Typical Plant Species of Roof Greenery in Kaohsiung,” *Procedia Eng.*, vol. 180, pp. 252–260, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.184.
- [33] D. J. Sailor, “A green roof model for building energy simulation programs,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 8, pp. 1466–1478, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.02.001.
- [34] M. Santamouris *et al.*, “Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece,” *Energy*, vol. 32, pp. 1781–1788, 2007, doi: 10.1016/j.energy.2006.11.011.