RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Cristian Eduardo García Perez Carlos Enrique Becerra Vera
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingenieria Civil
DIRECTOR	Msc. Haidee Yulady Jaramillo
TÍTULO DE LA TESIS	Cubiertas sostenibles como estrategia de eficiencia energética y energía renovable para edificaciones residenciales en Colombia
TITULO EN INGLES	Sustainable roofs as an energy efficiency and renewable energy strategy for residential buildings Colombia

RESUMEN
(70 palabras)

El siguiente documento relaciona las tendencias, investigaciones y técnicas en la implementación de cubiertas sostenibles para edificaciones, en donde se destaca su uso en el territorio colombiano, y se distiguen tres importantes tipologías que son cubiertas verdes, cubiertas fotovoltaicas y cubiertas cuyos materiales provienen de la pos manufactura, es decir del reciclaje o de materiales con menos cantidad de energía embebida en su proceso de fabricación. Resultado de esta investigación se deja el aporte de una guía práctica en donde se establecen recomendaciones y una lista de chequeo.

RESUMEN EN INGLES

The following document lists trends, research, and techniques in the implementation of sustainable roofing for buildings, highlighting its use in Colombia and distinguishing three important types: green roofs, photovoltaic roofs, and roofs made from post-manufacturing materials, i.e., recycled materials or materials with less energy embedded in their manufacturing process. The result of this research is a practical guide that provides recommendations and a checklist.

PALABRAS CLAVES	Energía Fotovoltaica, Cubierta Sostenible, Cobertura vegetal, Transmitancia térmica, Eficiencia energética.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Photovoltaic energy, Sustainable roofing, Vegetation cover, Thermal transmittance, Energy efficiency.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 84	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 18	CD-ROM:

Cubiertas sostenibles como estrategia de eficiencia energética y energía renovable para edificaciones residenciales en Colombia

Cristian Eduardo García Perez

Carlos Enrique Becerra Vera

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingenieria Civil

Msc. Haidee Yulady Jaramillo

Septiembre del 2025

Índice

Capítulo 1. Cubiertas sostenibles como estrategia de eficiencia energética y energía renovable para edificaciones residenciales en Colombia 9

1.1 Tipo de monografía 9

1.2 Elección del tema 9

1.3 Delimitación del tema 11

1.3.1 Delimitación Operativa 11

1.3.2 Delimitación Conceptual 11

1.3.3 Delimitación temporal 12

1.3.4 Delimitación Geográfica 12

1.4 Desarrollo del argumento 12

1.5 Metodología 15

Capítulo 2. Estado del arte a través de un análisis bibliométrico de cubiertas sostenibles para edificaciones de uso residencial 18

2.1 Revisión bibliográfica 18

2.2 Analisis Bibliométrico 21

2.3 Discusión de nuevas tendencias y conceptos relevantes 31

Capítulo 3. Normativa y procedimientos constructivos para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial 33

3.1 Normativa Nacional e Internacional 33

3.1.1 Normas Internacionales 33

3.1.2 Normas Nacionales 38

3.2 Procedimientos constructivos 41

3.2.1 Procedimiento constructivos de Cubiertas Verdes 41

3.2.2 Procedimientos constructivos para cubiertas fotovoltaicas 44

3.3 Criterios de diseño y desempeño 46

3.3.1 Angulo de inclinación para cubiertas verdes 46

3.3.2 Características según el tipo de cubierta verde 47

3.3.3 Sistemas de impermeabilización para cubiertas 48

Capítulo 4. Contribuciones de diversos autores al estudio de las cubiertas sostenibles a nivel mundial 50

4.1 Enfoques teóricos sobre cubiertas sostenibles 50

4.2 Estudios de casos relevantes y aplicaciones prácticas 51

4.3 Materiales y tecnologías utilizadas en cubiertas sostenibles 52

4.3.1 Cubiertas Verdes 52

4.3.2 Cubiertas Fotovoltaicas 53

Capítulo 5. Casos de éxito en Colombia sobre la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones residenciales 55

5.1 Caracterización de proyectos con cubiertas sostenibles en Colombia 55

5.1.1 Urbanización los Almendros en Roldanillo - Valle 55

5.1.2 Edificio Centro Cívico Universidad de los Andes Bogota 57

5.1.3 Centro Comercial La Reserva de Envigado Antioquia 58

5.1.4 Edificio Corporativo Bancolombia en Medellín Antioquia 59

5.1.5 Cubierta Fotovoltaica en vivienda Unifamiliar Ocaña Norte de Santander 60

5.2 Analisis de beneficios y contribución al medio ambiente 61

5.3 Recomendaciones para la aplicación de cubiertas sostenibles en Colombia 63

Capítulo 6. Guía técnica para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial 65

6.1 Análisis comparativo técnico y argumentativo entre tipologías cubiertas sostenibles 65

6.2 Propuesta técnica de implementación adaptada a contextos residenciales colombianos ... 66

6.3 Listas de chequeo con enfoque práctico y normativo 68

Conclusiones 70

Recomendaciones 72

Referencias 73

Listado de Figuras

Figura 1 Resultados según el tipo de documento 22

Figura 2 Resultados según el año de publicación del documento 23

Figura 3 Resultados según documentos por área temática 24

Figura 4 Resultados de documentos según país de publicación 25

Figura 5 Interfaz y procedimiento de inicio del sotware VOSviewer 26

Figura 6 Elección de los datos de la fuente de información 27

Figura 7 Elección de unida de análisis 28

Figura 8 Elección de umbrales según el número mínimo de documentos por autor 29

Figura 9 Mapa resultado de análisis de VOSviewer 30

Figura 10 Esquema composición de un techo verde 41

Figura 11 Esquema composición de un techo fotovoltaico 44

Figura 12 Angulo de inclinación para cubiertas verdes 47

Figura 13 Vivienda VIS con cubierta sostenible en panel solar 56

Figura 14 Cubierta verde edificio Centro cívico Universidad de los Andes-Bogota 57

Figura 15 Cubierta fotovoltaica Centro Comercial La Reserva, Envigado 59

Figura 16 Cubierta fotovoltaica Edificio Corporativo Bancolombia, Medellín 60

Figura 17 Cubierta fotovoltaica vivienda unifamiliar en Ocaña 61

Figura 18 Beneficios de una cubierta verde 63

Listado de Tablas

Tabla 1 Porcentajes de ahorro de energía y agua según la zona climatica..... 39

Tabla 2 Clasificación Climática de Colombia..... 40

Tabla 3 Características de los distintos tipos de cubiertas verdes..... 48

Tabla 4 Sistema de impermeabilización para cubiertas 49

Tabla 5 Analisis Comparativo cubiertas verdes y fotovoltaicas 65

Tabla 6 Lista de chequeo para sistema de cubierta verde 69

Tabla 7 Lista de chequeo para sistema de cubierta fotovoltaica 69

Resumen

La siguiente investigación relaciona el uso de cubiertas sostenibles en edificaciones como estrategia de eficiencia energética y aprovechamiento de energías renovables en Colombia. Se distinguen tres tipologías principales: cubiertas verdes, cubiertas fotovoltaicas y cubiertas con materiales reciclados o de bajo consumo energético en su producción. La revisión bibliográfica, el análisis bibliométrico y la compilación normativa y técnica, permitieron identificar ventajas, limitaciones y criterios técnicos de cada tipología en donde a pesar de las diferentes tipologías de cubiertas sostenibles, se destaca que lo más viable y practico para aquellas cubiertas que no están conformadas por losas de concreto corresponde a cubiertas verdes, recicladas o fotovoltaicas. Los resultados evidencian que las cubiertas sostenibles aportan beneficios ambientales que contribuyen a la reducción del dióxido de carbono CO_2. Finalmente, el estudio propone una guía práctica para su implementación en Colombia, la cual se compone de recomendaciones básicas para el procedimiento constructivo y listas de chequeo que buscan orientar a profesionales del sector de la construcción hacia el diseño y ejecución de proyectos más sostenibles.

Introducción

El uso de cubiertas sostenibles en edificaciones residenciales se ha consolidado como una estrategia clave frente a los retos ambientales y energéticos actuales. Estas soluciones constructivas integran principios de eficiencia energética, reducción en la generación de dióxido de carbono CO_2 y aprovechamiento de fuentes renovables (Perez, 2016). Actualmente las superficies urbanas convencionales, como los techos y pavimentos, presentan limitaciones importantes frente a los retos del cambio climático, para el caso de cubiertas, el incremento de la temperatura urbana y la acumulación de calor, elevan la demanda energética en las edificaciones, generando a su vez mayores emisiones de gases de efecto invernadero y aumentando la contaminación ambiental. (Guzmán, 2018)

En Colombia, donde la demanda energética crece de manera constante y gran parte de las redes eléctricas del país, aún dependen de fuentes no renovables, se hace necesario la implementación de cubiertas sostenibles como una alternativa viable para contribuir con el desarrollo y la sostenibilidad en las edificaciones. Es por esto que la presente investigación, relaciona el estudio de los diferentes sistemas de cubiertas sostenibles, catalogando principalmente las cubiertas verdes, fotovoltaicas y con materiales reciclados, como las tipologías mas pertinentes para ser usadas en el territorio colombiano, en donde a pesar de que existen otras tipologías de cubiertas sostenibles, para el caso de Colombia, se caracterizan estructuras de cubiertas convencionales que se pueden adaptar a las cubiertas sostenibles tipificadas.

Capítulo 1. Cubiertas sostenibles como estrategia de eficiencia energética y energía renovable para edificaciones residenciales en Colombia

1.1 Tipo de monografía

Monografía de compilación ya que busca indagar sobre el uso de los diferentes sistemas de cubiertas sostenibles para edificaciones, identificando los sistemas sostenibles más comunes usados en Colombia y a nivel mundial para determinar cuál es el aporte de eficiencia energética y energía renovable, enfocado al desarrollo y aplicación de cubiertas sostenibles en viviendas.

1.2 Elección del tema

La construcción de edificaciones cada día busca ser más sostenible y amigable con el medio ambiente, sin embargo, existe un factor muy importante luego de terminar una construcción, que corresponde a la operación y mantenimiento de dicha edificación, la cual requiere de energía para funcionar, que puede provenir de la generación de energía de fuentes sostenibles como hidroeléctricas o fuentes no sostenibles como combustibles fósiles. Según Lopez y Quispe (2018), en el sector de la energía eléctrica la sostenibilidad está relacionada con la generación de energía y la disminución en el consumo o uso final de la energía eléctrica, lo que a su vez relaciona el concepto de eficiencia energética que básicamente consiste en reducir la demanda de energía para producir la misma cantidad de bienes y servicios, contribuyendo así a la reducción en la generación de energía y por ende a la diminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Por otra parte, según Ballén (2021), las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO2eq) son directamente proporcionales al consumo de energía eléctrica, más su mantenimiento, funcionamiento y transporte por la red, lo que genera emisiones y perdidas. En 2010, los edificios residenciales consumieron cerca de 24.3 PWh (teravatio-hora), lo que representa el 24% del uso total de energía final mundial. Para el caso de Colombia, según la Unidad de Planeación Minero Energética ([UPME], 2025) la demanda de energía eléctrica para el año 2024, fue de 82.084,9 GWh (gigavatio-hora).

Teniendo en cuenta que la generación y el consumo de energía son el principal factor de emisión de Gases de Efecto Invernadero, según el Informe "Colombia y la Transición Energética" publicado por la Procuraduría General de la Nación (2024), a pesar de que existen políticas públicas y de que el país cuenta con gran riqueza de recursos hídricos que permiten que la demanda nacional eléctrica provenga de hidroeléctricas en un 63%, todavía no existe una metodología o aplicación para la transición energética y el uso de energía renovables, puesto que con respecto a las emisiones de CO2 en Colombia para el año 2023, fue de 100.863 megatoneladas, con lo que Colombia es el país 144 del ranking de países por emisiones de CO2, formado por 184 países en el orden de menos a más contaminantes. (Datosmacro, 2023)

Por lo anterior teniendo en cuenta que el consumo de energía eléctrica es uno de los factores que más genera gases de efecto invernadero, para el caso de edificaciones residenciales, el uso de cubiertas sostenibles contribuye a la disminución en el consumo de energía y por ende a la reducción en la generación de gases de efecto invernadero, ya que una cubierta sostenible puede brindar un aporte de energía renovable si se habla de paneles solares, y una disminución en el consumo de energía si se habla de cubiertas verdes o cubiertas en materiales aislantes que

permitan lugares o espacios interiores más frescos que a su vez eviten el uso de aires acondicionados para climatizar un espacio interior logrando así disminuir el consumo de energía.

1.3 Delimitación del tema

1.3.1 Delimitación Operativa

El desarrollo de la investigación, contempla como procedimiento inicial realizar un análisis bibliométrico sobre el uso de cubiertas sostenibles para edificaciones residenciales, para luego establecer los diferentes tipos de cubiertas sostenibles que se pueden utilizar en edificaciones residenciales determinando además las ventajas y desventajas de cada tipo de cubierta identificado en el contexto colombiano y a nivel mundial. Posteriormente se determina el procedimiento técnico para llevar a cabo la implementación de una cubierta sostenible. A demás se define la normativa nacional e internacional, que puede ser aplicado con relación a la construcción o implementación de una cubierta sostenible teniendo en cuenta las políticas públicas de beneficios fiscales por contribuir a la sostenibilidad. Luego se relacionan investigaciones o contribuciones de diversos autores sobre el uso de cubiertas sostenibles. Por último, basándose en investigaciones existentes, se establecen estudios de caso exitosos sobre la implementación de cubiertas sostenibles, y como valor agregado se desarrolla una guía práctica para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones residenciales.

1.3.2 Delimitación Conceptual

Para comprender el desarrollo de la monografía, es importante conocer los principales conceptos de la investigación, que están estrechamente relacionados con la eficiencia energética,

energía renovable, dióxido de carbono equivalente, cubierta verde, panel solar, gases de efecto invernadero, demanda de energía, entre otros.

1.3.3 Delimitación temporal

El tiempo estimado para el desarrollo de la investigación se estipula en una duración de cuatro (4) meses contados a partir de la aprobación de la propuesta.

1.3.4 Delimitación Geográfica

La investigación tiene enfoque sobre la implementación de cubiertas sostenibles aplicado a las edificaciones residenciales a nivel mundial, en donde se tienen en cuenta normas y leyes que aplican a la investigación.

1.4 Desarrollo del argumento

El desarrollo de esta monografía es relevante porque permite dar a conocer el potencial de las cubiertas sostenibles como estrategia para mejorar la eficiencia energética en edificaciones residenciales. Este tipo de soluciones constructivas, como el uso de cubiertas verdes y paneles solares, no solo reducen el consumo de energía eléctrica, sino que también disminuyen significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. En muchos lugares del mundo, al igual que en contexto colombiano, aún predomina el uso de fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles (termoeléctricas a carbón o gas), en donde implementar sistemas sostenibles representa una oportunidad para contribuir a la transición energética. Además, según estudios como el de Idouanaou et al. (2025), afirma que los techos verdes pueden generar ahorros

combinados de energía y agua de hasta $9,68 USD por m², mientras que la Agencia Internacional de Energía (AIE), proyecta que más de 100 millones de hogares a nivel mundial utilizarán energía solar para el año 2030. (Zoheir, 2022)

De acuerdo a lo anterior, la presente propuesta de investigación tiene como principales beneficiados a los constructores y profesionales que se dedican a la construcción de edificaciones residenciales, quienes contarán con información actualizada y contextualizada sobre los sistemas de cubiertas sostenibles utilizados a nivel mundial y que son aplicables en Colombia. También se beneficiará la población en general, que puede hacer uso de la información para aplicar o implementar un sistema de fachada sostenible como es el caso del uso de paneles solares que puede representar una opción viable y económica especialmente para viviendas de interés social o zonas rurales, ya que podrán acceder a soluciones constructivas que reduzcan sus costos en el consumo de energía eléctrica y mejoren su calidad de vida.

Con el desarrollo de la presente investigación, se busca identificar y analizar los diferentes sistemas y componentes de las cubiertas sostenibles a nivel mundial, verificando su impacto en la eficiencia energética y su viabilidad de aplicación en el contexto colombiano, en donde se pretende aportar un panorama comparativo entre cubiertas que generan energía renovable como el uso de paneles solares y aquellas que reducen la demanda energética como el caso de cubiertas verdes que funcionan como un aislante térmico y permiten un ahorro en el consumo de energía en zonas áridas de altas temperaturas en donde el uso de una cubierta verde contribuye a la disminución en el consumo de electricidad de aparatos eléctricos utilizados para mantener un ambiente fresco dentro de una edificación, el cual según la investigación realizada

por Farouk et al. (2024), el uso de una cubierta verde como aislante térmico y reductor del calor en una edificación resulta en una reducción del consumo de energía del 2 %.

A pesar de que existen investigación realizada por Franco (2024), en donde se realiza un análisis sobre el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica y térmica en la vivienda rural, concluyendo que para aprovechar la energía fotovoltaica se requiere de considerar aspectos como condiciones geográficas, un diseño y capacidad del sistema acorde a la demanda eléctrica, no existe una investigación que sea un aporte como base técnica y académica para orientar decisiones en diseño, construcción e implementación de cubiertas sostenibles en Colombia. Además, el desarrollo de la investigación, también contempla un contexto mundial sobre las experiencias y nuevas tecnologías utilizadas en otros países para considerar sostenible la cubierta de una edificación.

Por lo anterior, teniendo en cuenta la literatura reciente sobre el aprovechamiento de las energías renovables y la eficiencia energética que se busca en las edificaciones de uso residencial, con el uso de cubiertas sostenibles, el desarrollo de la presente investigación, contempla el análisis de los diferentes sistemas y componentes que conforman una cubierta sostenible, considerando además que las únicas cubiertas que ofrecen un aporte de energía renovable son las cubiertas fotovoltaicas conformadas por paneles solares, y las cubiertas verdes que contribuyen a la disminución en el consumo de energía, por consiguiente los demás tipos de cubiertas sostenibles, brindan un aporte a la eficiencia energética a lo cual con el desarrollo del proyecto se busca exponer cuales son los sistemas de cubiertas sostenibles más representativos y utilizados a nivel mundial y en el contexto colombiano, dando a conocer además los procedimientos constructivos y su normativa.

1.5 Metodología

Tipo de Investigación: La investigación es de tipo cualitativo y descriptivo, ya que se busca por medio del análisis documental y compilación de información, identificar los tipos de cubiertas sostenibles y determinar cuál es el aporte de eficiencia energética y energía renovable aplicado a edificaciones residenciales o viviendas. El procedimiento metodológico para el desarrollo de la investigación se compone de:

Analisis bibliométrico para focalizar el tipo de información, fuentes bibliográficas más mencionadas, autores, años más relevantes de investigaciones referentes al tema de estudio, países con mayor número de investigaciones relacionadas con el tema de estudio, entre otros. Para el análisis Bibliométrico, se puede hacer uso de la herramienta Bibliometrix o del análisis de resultados de la base de datos Scopus.

Compilación de información, en donde se hace la consulta de investigaciones relevantes al tema de estudio, para establecer los diferentes tipos de cubiertas sostenibles, el marco normativo y los datos o parámetros obtenidos de resultados de investigaciones sobre la eficiencia energética y generación de energía renovable por cubierta sostenible en panel solar.

Contextualización y análisis de información, en donde luego de realizar la consulta y clasificar la información, se establecen los tipos de cubiertas sostenibles aplicado a edificaciones residenciales y viviendas dentro del contexto colombiano, definiendo además los procedimientos

constructivos, las normativas que aplican y analizando cual es el aporte de eficiencia energética y la generación de energía renovable que se puede lograr al utilizar una cubierta sostenible.

Técnicas de recolección de información: Para el desarrollo de la monografía se plantea como técnica el Analisis documental, con el motivo de identificar los tipos de cubiertas sostenibles utilizados en el contexto colombiano, y para establecer por medio de datos concluyentes de diferentes investigaciones el aporte de eficiencia energética y la generación de energía renovable que conlleva el usar una cubierta sostenible.

Instrumentos de recolección de información: Teniendo en cuenta que la investigación corresponde a una monografía de compilación, en este caso los instrumentos de recolección de información, corresponden a los recursos institucionales de la biblioteca Argemiro Bayona Portillo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, en donde se destacan las bases de datos Scopus, Science Direct, Redalyc, Scielo, Dialnet, eLibro, entre otras relevantes para la investigación.

Estructura del documento en capítulos: A continuación, se establecen los capítulos que componen el desarrollo de la investigación, y de la cual se obtiene como resultado el análisis de la eficiencia energética y generación de energía renovable por usar una cubierta sostenible.

Capítulo 1. Estado del arte a través de un análisis bibliométrico de cubiertas sostenibles para edificaciones de uso residencial.

1.1 Revisión bibliográfica.

1.2 Analisis Bibliométrico.

1.3 Discusión de nuevas tendencias y conceptos relevantes.

Capítulo 2. Normativa y procedimientos constructivos para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial.

2.1 Normativa Nacional e Internacional

2.2 Procedimientos constructivos

2.3 Criterios de diseño y desempeño.

Capítulo 3. Contribuciones de diversos autores al estudio de las cubiertas sostenibles a nivel mundial.

3.1 Enfoques teóricos sobre cubiertas sostenibles.

3.2 Estudios de casos relevantes y aplicaciones prácticas.

3.3 Materiales y tecnologías utilizadas en cubiertas sostenibles

Capítulo 4. Casos de éxito en Colombia sobre la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones residenciales.

4.1 Caracterización de proyectos con cubiertas sostenibles en Colombia.

4.2 Analisis de beneficios y contribución al medio ambiente.

4.3 Recomendaciones para la aplicación de cubiertas sostenibles en Colombia

Capítulo 5. Guía técnica para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial.

5.1 Análisis comparativo técnico y argumentativo entre tipologías cubiertas sostenibles.

5.2 Propuesta técnica de implementación adaptada a contextos residenciales colombianos.

5.3 Listas de chequeo con enfoque práctico y normativo.

Capítulo 2. Estado del arte a través de un análisis bibliométrico de cubiertas sostenibles para edificaciones de uso residencial

El presente capitulo relaciona la revisión biográfica y bibliométrica, sobre las cubiertas sostenibles.

2.1 Revisión bibliográfica

El concepto de sostenibilidad relacionado al uso de cubiertas en edificaciones residenciales no está alejado de los objetivos del desarrollo sostenible para la Agenda 2030 de la ONU (Organización de Naciones Unidas), en donde se busca el fin de la pobreza, hambre cero, ciudades y comunidades sostenibles, energía asequible y no contaminante, entre otros objetivos que contemplan los 17 objetivos de desarrollo sostenible. (ONU, 2016). Con relación al uso de cubiertas sostenibles se contribuye a la generación de energías limpias y al ahorro en el consumo de energía.

De acuerdo a lo anterior, una de las tipologías de cubiertas sostenibles que contribuye a la mitigación del efecto de isla de calor en una edificación corresponde al sistema de cubierta verde, la cual según la investigación realizada por Otchere et al. (2023), utilizando plantas trepadoras se mejora el rendimiento termorradiativo además que las plantas trepadoras ejercen menos peso a la cubierta. Según Ardila & Cano (2009) las cubiertas verdes contribuyen a atrapar dióxido de carbono CO2, lo que genera una reducción de la contaminación, sin embargo, existen limitaciones técnicas y económicas, como los costos de mantenimiento, la durabilidad de los

sustratos y la selección adecuada de especies vegetales en entornos tropicales y templados que dificultan el uso de una cubierta verde (Alvares et al., 2023)

Continuando con la tipología de cubierta sostenible con cobertura vegetal, se menciona la investigación de Zielinski et al. (2012), en donde analizan el uso de techo verde para un complejo hotelero en la ciudad de Santa Marta, definiendo el peso de una cubierta vegetal entre 60 a 140 kg/m2, lo que conlleva a pensar que una cubierta verde debe ser contemplada en el diseño de la estructura para que resista y soporte los esfuerzos que genera el material vegetal y el sustrato.

Otra tipología de cubiertas sostenibles utilizadas a nivel mundial y que últimamente ha tomado mayor relevancia en Colombia, corresponde a los techos solares, principalmente a través de sistemas fotovoltaicos integrados en edificaciones (BIPV), los cuales se consolidan como una solución clave para la eficiencia energética y la transición hacia fuentes renovables, ya que se disminuye el consumo energía proveniente de la quema de combustibles fósiles y del aprovechamiento de no renovales, por lo cual contribuye en gran medida a la disminución en la generación de dióxido de carbono CO2. (Arias et al., 2019)

Con relación a otros tipos de cubiertas que se pueden caracterizar como sistemas sostenibles se puede mencionar la investigación internacional realizada por Das & Ali, (2025), que estudia diferentes materiales híbridos, como compuestos de bambú, banano, algodón, y plástico reciclado utilizados para la fabricación de paneles corrugados para cubiertas en Islamabad Pakistán, en donde se validaron mediante pruebas experimentales la flexión y

resistencia al impacto de los paneles corrugados. Este tipo de sistema en donde se prueban materiales reciclados o de bajo consumo de energía embebida en el material, comprueba su participación en la sostenibilidad, pero solamente desde el punto de vista de materiales sostenibles, sin embargo, esta investigación deja la puerta abierta para continuar el estudio de la transmitancia térmica y el confort que puede generar el panel corrugado de acuerdo a las condiciones bioclimáticas locales.

Otro factor para considerar una cubierta sostenible desde el punto de vista de la transmitancia térmica que percibe el espacio al interior de una edificación, corresponde al color y la reflectividad, en este caso considerando que en muchas regiones se utilizan cubiertas de Zinc, como la opción más económica según el estudio realizado por Kindangen et al. (2025) las cubiertas de zinc recubiertas con pinturas de colores validado en regiones tropicales húmedas, demuestran que, el color plateado a diferencia del azul o granete (color del zinc) tiene un menor potencial de calentamiento global con -27.16 kg de CO2eq/m2, el color azul presenta -0.76 kg de CO2eq/m2 y el color del zinc si genera mayores emisiones con 7.444 kg de CO2eq/m2. Por consiguiente, esta investigación demuestra que con técnicas sencillas se puede optimizar el confort de una edificación y minimizar el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta el impacto que tiene la cubierta en el confort y eficiencia energética de una edificación, considerando un enfoque más local, en Colombia, se comercializan diferentes tipos de cubiertas que permiten en mayor o menor medida el aislamiento de las condiciones atmosféricas del exterior al interior de la edificación, como es el caso de la cubierta termoplástica posconsumo, es decir proveniente de plástico reciclado o materiales que ya cumplieron su

primera vida útil, por lo cual representa un impacto ambiental positivo y un ahorro económico en comparación con cubierta convencionales. (Fajardo y Fonseca, 2023)

2.2 Analisis Bibliométrico

De acuerdo a Donthu et al. (2021), el análisis bibliométrico para el desarrollo de una investigación ayuda a sintetizar y resumir grandes cantidades de datos bibliométricos analizando una retrospectiva de investigaciones y citaciones y la relación entre los diferentes autores. Por consiguiente, para este caso, se realiza un análisis bibliométrico mediante el uso de la base de datos y análisis de resultados de Scopus, el cual es una base de datos de uso validado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. También se utiliza el software de uso libre VOSviewer, para complementar el análisis de resultados de la información de consulta.

Teniendo en cuenta lo anterior, se formularon las siguientes preguntas de investigación, que al introducirlas a la base de datos se realiza en idioma inglés para obtener un mayor alcance de fuentes bibliográficas:

Formula de búsqueda utilizada en Scopus:

Sustainable roofing FOR buildings (*Cubiertas sostenibles para edificaciones)*

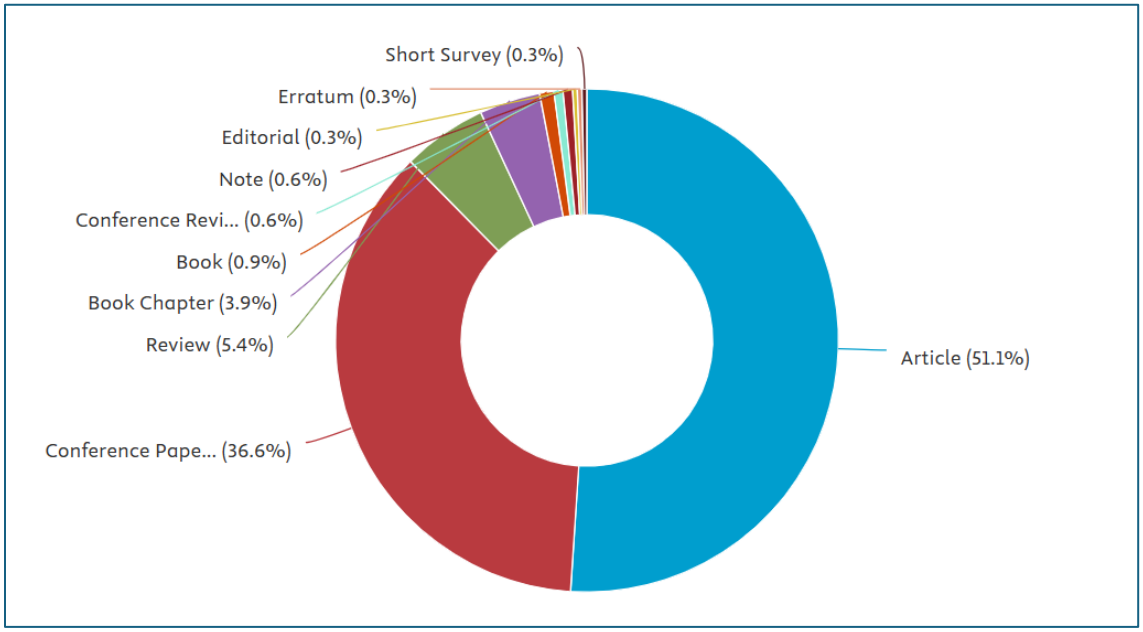
Photovoltaic roofing AND Sustainability (Cubiertas fotovoltaicas y sostenibilidad)

Energy efficiency AND roofing AND buildings (eficiencia energética y cubiertas y edificaciones)

Posterior a la obtención de resultados de la base de datos, se logran extraer 331 documentos, de los cuales el 51,1% corresponden a investigaciones de artículos científicos, y el 36.6% de paper de conferencias. Ver figura 1

Figura 1

Resultados según el tipo de documento



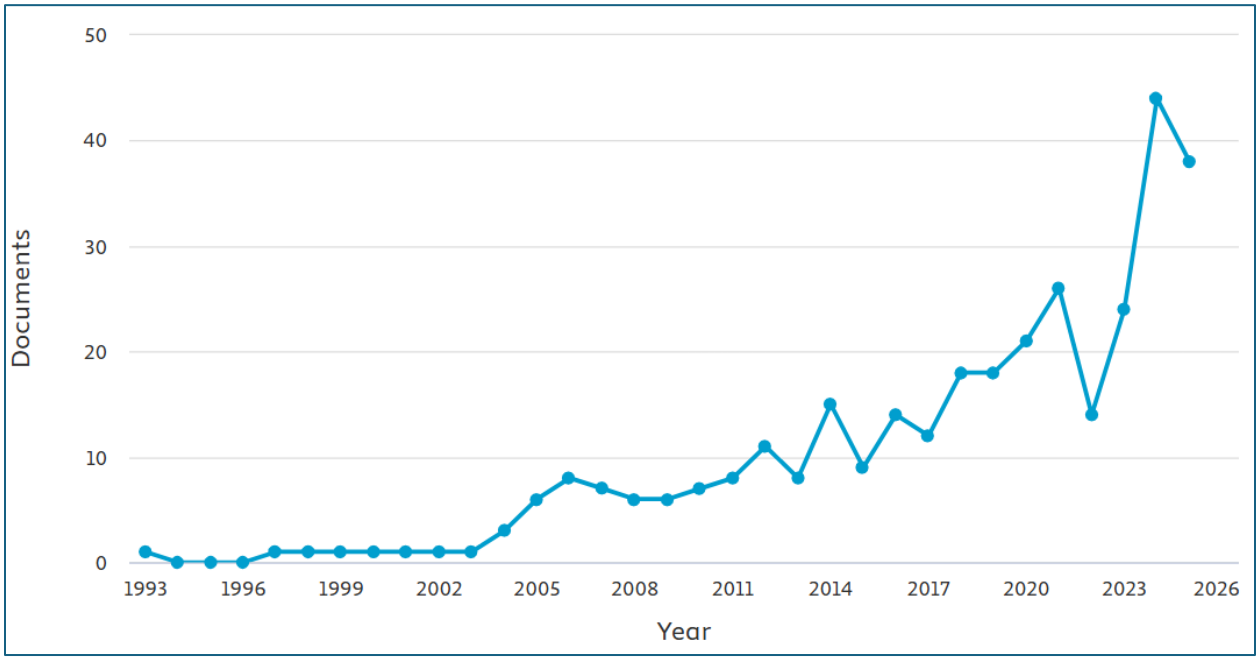
Nota. Obtenido del resultado de análisis de Scopus (2025).

De acuerdo a la figura 1, se puede apreciar que las mayores investigaciones relacionadas con la sostenibilidad en cubiertas para edificaciones corresponden a artículos científicos y artículos de conferencias, en cambio otros tipos de documentos como revisiones (5.4%), capítulos de libro (3.9%) y libros (0.9%) tienen una participación menor pero significativa, ya que permiten integrar y sistematizar el conocimiento.

Con relación al año de publicación de documentos, de acuerdo a la figura 2, se puede apreciar que el año de mayores publicaciones corresponde al año 2024, en donde se publicaron 44 documentos, por otra parte, para el año 2025 se publicaron 38 documentos relacionados con el tema de estudio, según el análisis realizado por Scopus.

Figura 2

Resultados según el año de publicación del documento



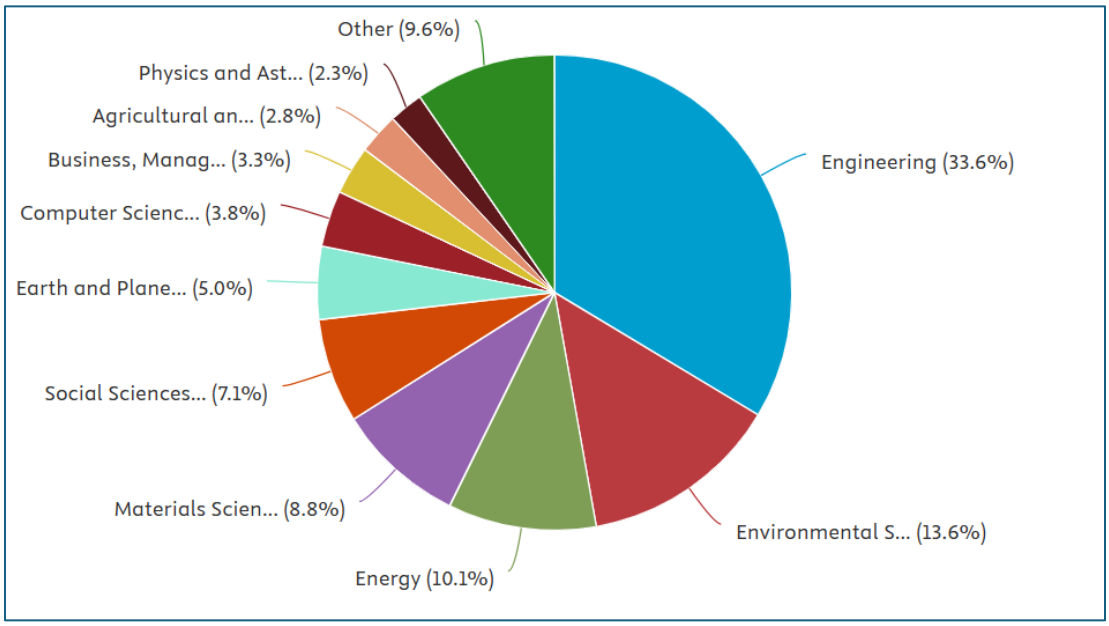
Nota. Obtenido del resultado de análisis de Scopus (2025).

De acuerdo a la figura 2, el tema de sostenibilidad y energía fotovoltaica en edificaciones para cubiertas se ha estado investigando desde el año 1993, en donde a la fecha se puede concluir que han aumentado el número de investigaciones y de enfoques con respecto a la relación de las cubiertas sostenibles.

De acuerdo a las áreas temáticas relacionadas en los documentos analizados por Scopus, en la figura 3, se puede observar la relación de palabras claves según el numero de documentos que las mencionan.

Figura 3

Resultados según documentos por área temática



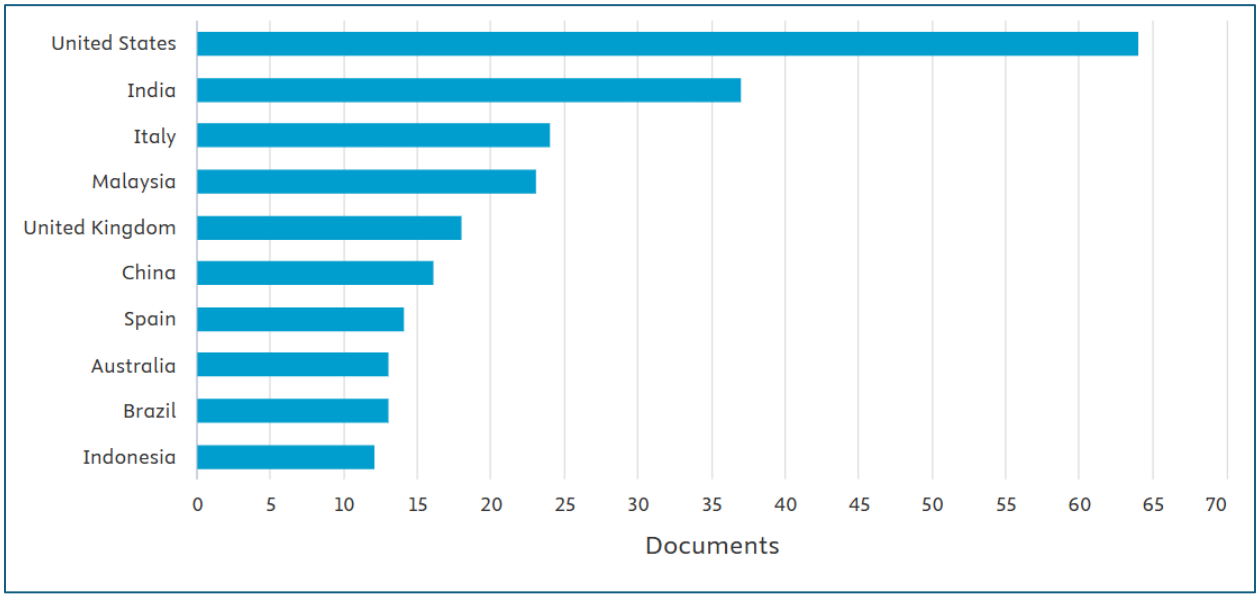
Nota. Obtenido del resultado de análisis de Scopus (2025).

De acuerdo a la figura 3, de los datos más representativos, el 33.6% corresponde a documento relacionados con ingeniería, el 13.6% de los documentos analizados se relacionan con la sostenibilidad, el 10.1% se relaciona con la eficiencia energética, el 8.8% se relaciona con la ciencia de materiales y el 7.1 % son documentos relacionados con ciencias sociales, lo cual da a entender que la temática de cubiertas sostenibles, está estrechamente relacionado con aspectos técnicos, ambientales y sociales.

Con relación a los países con mayor número de publicaciones que se encuentran dentro de la base de datos de Scopus, en la siguiente figura 4 se pueden apreciar la relación de países conforme a los 331 resultados obtenidos de Scopus.

Figura 4

Resultados de documentos según país de publicación



Nota. Obtenido del resultado de análisis de Scopus (2025).

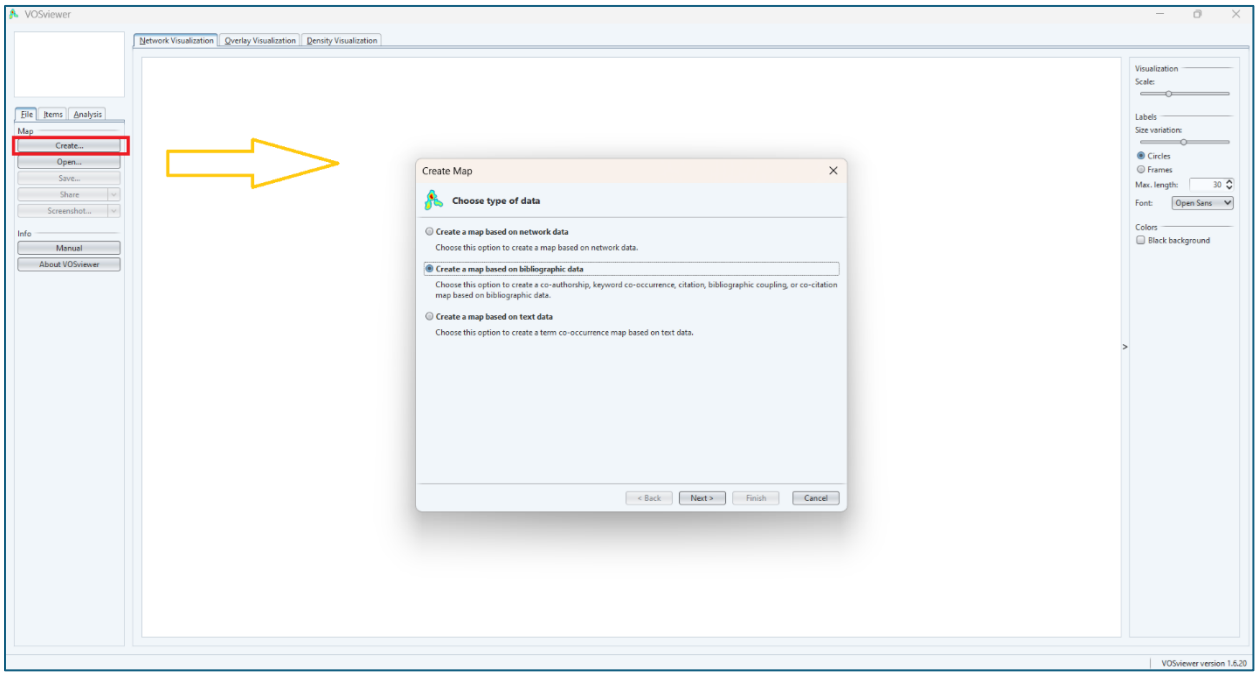
De acuerdo a la figura 4, el país con mayor número de publicaciones corresponde a Estados Unidos, con más de 60 publicaciones, seguido de la India con más de 35 publicaciones e Italia y Malasia con más de 20 publicaciones.

Con respecto al análisis bibliométrico realizado mediante el software VOSviewer se puede obtener la relación de los autores en las diferentes publicaciones mediante un mapeo de nodos que se interconectan entre si cuando comparten un mismo autor o una palabra clave. A continuación, se puede apreciar el procedimiento utilizado para el respectivo análisis.

En la figura 5, se puede apreciar la interfaz del software VOSviewer, en donde el primer paso para realizar el análisis corresponde a seleccionar Create (crear nueva consulta), tal como se aprecia en el recuadro rojo, posteriormente sale la ventana emergente como se señala el la figura 5, posteriormente se selecciona la opción de “Create a map based on bibliographic data”, que traduce a: crear un mapa a partir de datos bibliográficos.

Figura 5

Interfaz y procedimiento de inicio del sotware VOSviewer



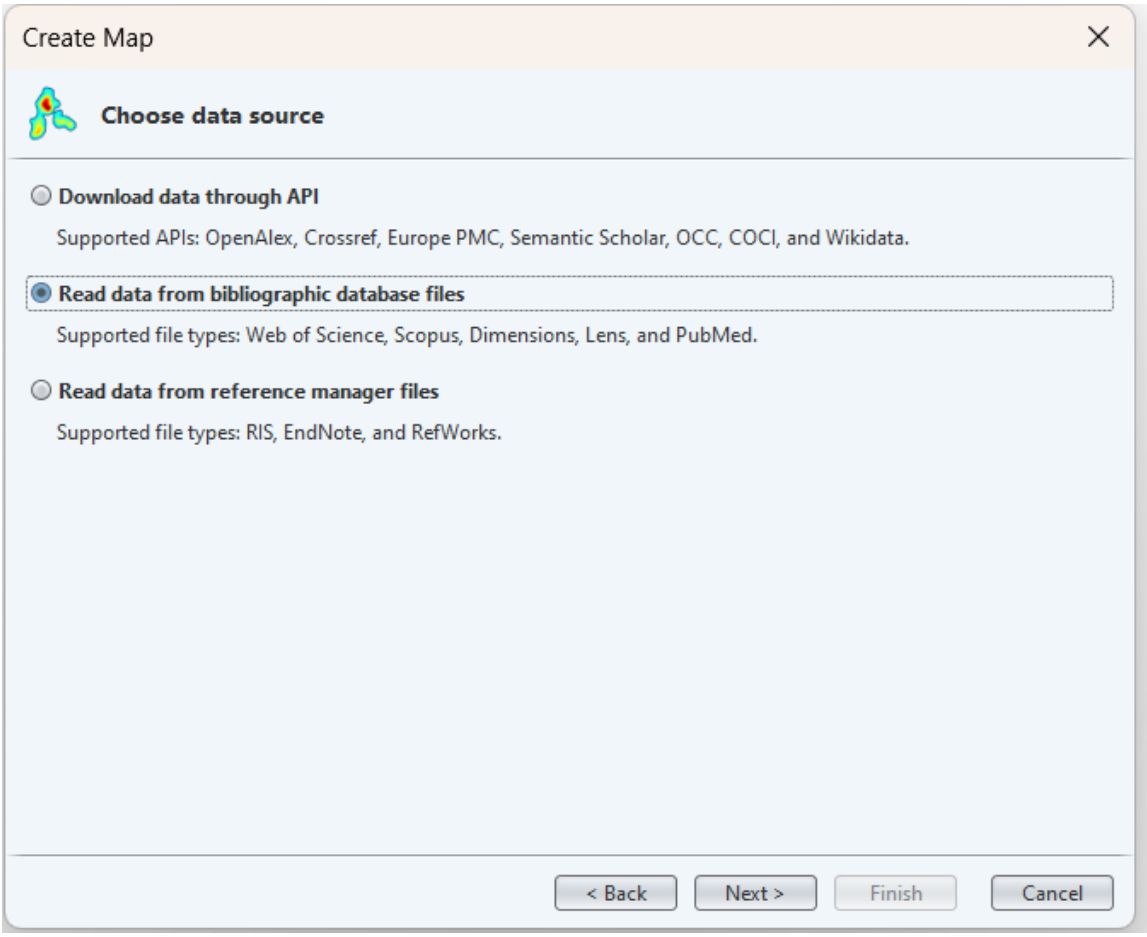
Nota. Obtenido del análisis con la herramienta VOSviewer. Fuente: Autores.

Posteriormente se define la opción de elegir los datos según la fuente de información, el cual tiene 3 opciones de obtención de datos, la opción 1. Download data through API (*Descargar datos a través de API como OpenAlex, Crossref, entre otros*), la opción 2. Read data from bibliographic database files (*Leer datos desde archivos de bases de datos bibliográficas, como Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens y PubMed*) y la opción 3. Read data from reference

manager files (*Leer datos desde archivos de gestores de referencias como RIS, EndNote y RefWorks*). Ver figura 6.

Figura 6

Elección de los datos de la fuente de información

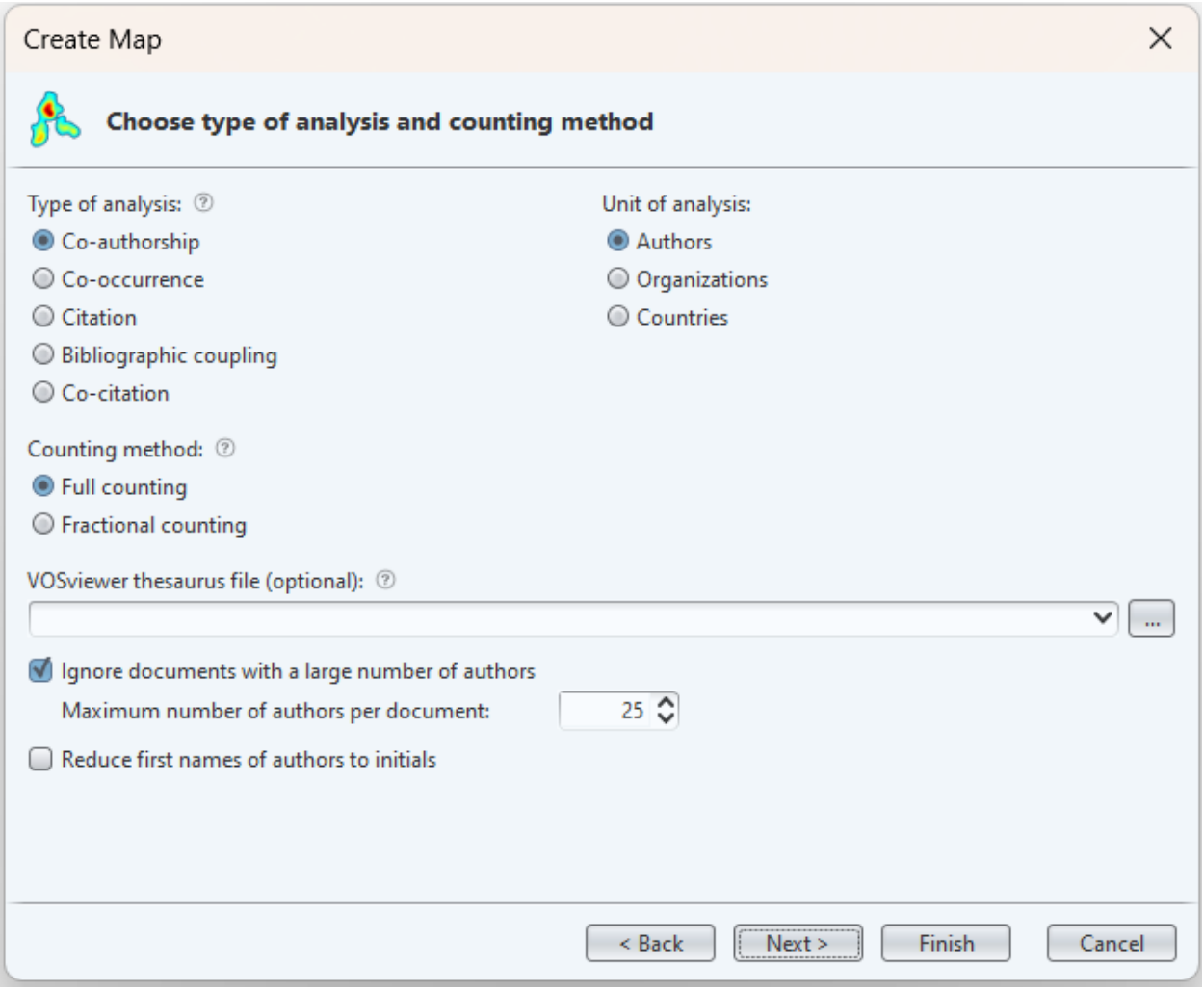


Nota. Obtenido del análisis con la herramienta VOSviewer. Fuente: Autores.

De acuerdo a la figura 6, teniendo en cuenta que los datos bibliográficos se obtuvieron de Scopus, se elige la opción “Read data from bibliographic database files. Posteriormente se elige la unidad de análisis para Autores y la relación con co autoría, en donde se establece un número mínimo de co autoría para autores de máximo 25 documentos Ver figura 7.

Figura 7

Elección de unida de análisis

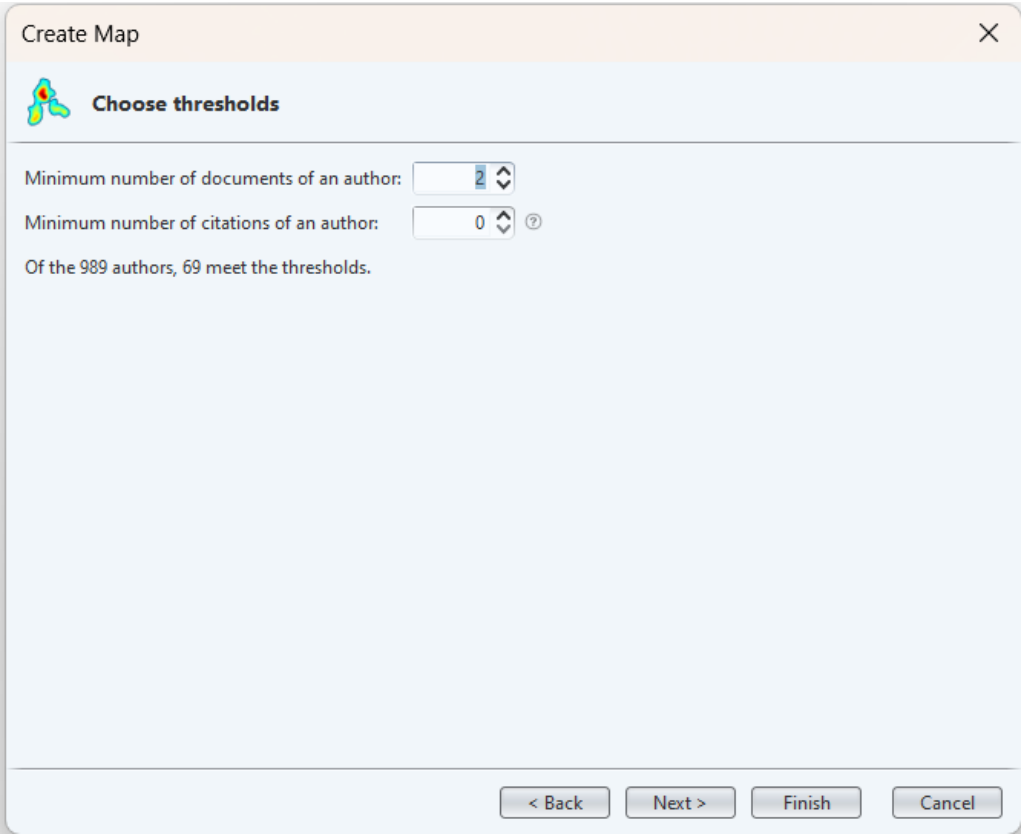


Nota. Obtenido del análisis con la herramienta VOSviewer. Fuente: Autores.

De acuerdo a la figura 7, posterior a definir el tipo de análisis a realizar, en el siguiente paso se elige el número de autores relacionados en diferentes documentos, en donde para el presente caso para el total de 331 documentos, están relacionados 989 autores, de los cuales se define el número mínimo de documentos por autor, en donde al aumentar la participación del autor en más de dos documentos, se reduciría el análisis, en este caso para considerar mínimo 2 documentos por autor, se tiene un análisis con 69 autores. Ver figura 8.

Figura 8

Elección de umbrales según el número mínimo de documentos por autor



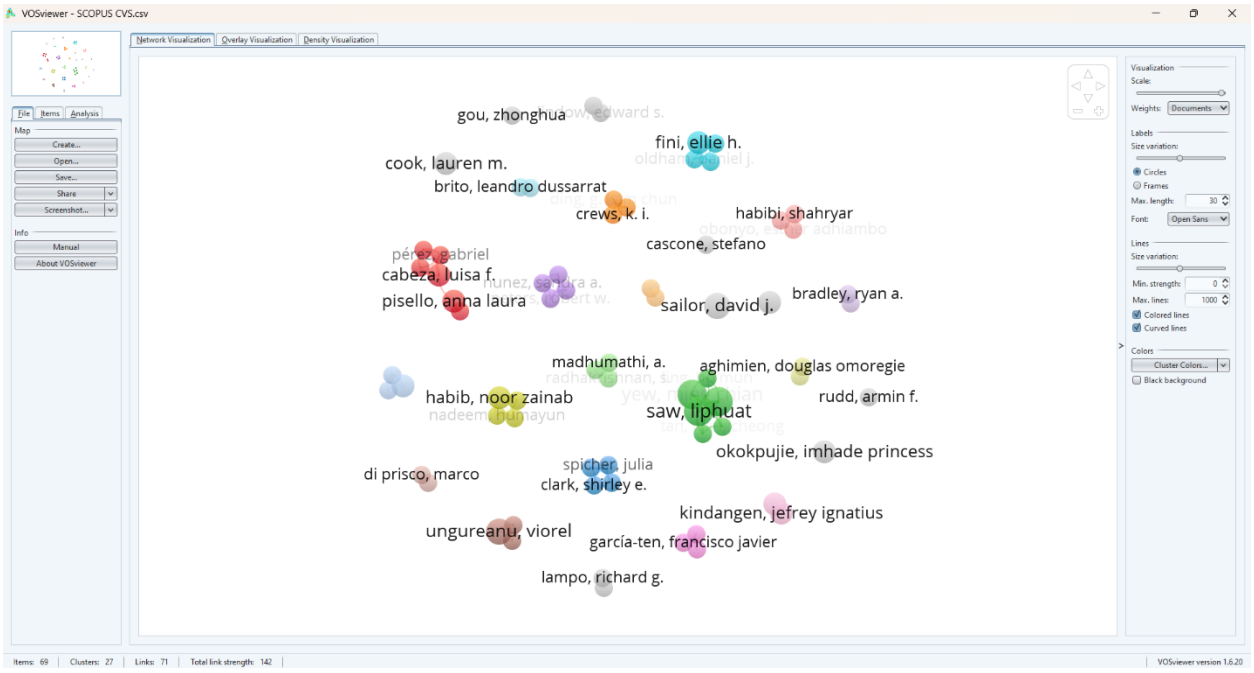
Nota. Obtenido del análisis con la herramienta VOSviewer. Fuente: Autores.

De acuerdo a la figura 8, luego de definir la coautoría o la relevancia de cada autor según el número de investigaciones en las que participa, posteriormente se obtiene el mapa de análisis de autores de VOSviewer, el cual se aprecia en la figura 9, en donde cada circulo llamado nodo corresponde a un autor y el tamaño del nodo indica la cantidad de documentos asociados a ese autor.

Con relación a los distintos colores llamados Clusters, representan los grupos de colaboración o comunidades de investigación, y significa que esos autores han trabajado mancomunadamente con más frecuencia.

Figura 9

Mapa resultado de análisis de VOSviewer



Nota. Obtenido del análisis con la herramienta VOSviewer. Fuente: Autores.

De acuerdo a la figura 9, se puede apreciar que los Clusters se encuentran de forma dispersa y no están interconectados entre sí, lo que da a entender que la producción de investigaciones en este campo esta distribuida en pequeños grupos de colaboración sin una red central dominante, esto se debe a que la temática de cubiertas sostenibles es muy amplio, porque puede existir un enfoque dirigido solo a cubiertas fotovoltaicos, y otro enfoque muy distinto es el uso de cubiertas con material vegetal, o la implementación de nuevos materiales sostenibles para el desarrollo de tejas para cubiertas. En este caso, los autores más representativos que participan en mayor número de investigaciones corresponden a Saw, Liphuat y Pisello.

2.3 Discusión de nuevas tendencias y conceptos relevantes

De acuerdo a la revisión bibliográfica y análisis bibliométrico sobre el uso de las cubiertas sostenibles para edificaciones se destacan diferentes tipologías de cubierta que contribuyen a la sostenibilidad: Cubiertas fotovoltaicas, cubiertas verdes y cubiertas con paneles provenientes de la pos manofactura (materiales reciclados), cubiertas planas con aislantes térmicos transitables o no transitables. En este orden de ideas, para el sistema de cubiertas verdes se presenta como la mejor opción ambiental que contribuye a mejorar las condiciones de eficiencia energética y confort al interior de una edificación. Por otro lado, las cubiertas fotovoltaicas, compuestas de paneles solares, también contribuyen a la eficiencia energética por la generación de energía limpia y utilizable, sin embargo, una de las limitantes de este sistema que se encuentra respaldado por diferentes investigaciones, corresponde al valor económico para su instalación, ya que el costo de un sistema fotovoltaico para una edificación es mucho más costoso que una cubierta verde o una cubierta de materiales reciclados.

De acuerdo a las tendencias de los diferentes autores con mayor participación en estudios relacionados con el tema y el enfoque de cubiertas sostenibles, se menciona a Alabama Pisello, investigador de la Universidad de Perugia, Italia, en donde ha participado y ha sido coautor de diferentes edificaciones enfocadas al confort térmico, la calidad del aire y la energía, en donde ha investigado el uso y combinación de diferentes materiales y compuestos químicos para una refrigeración radioactiva pasiva diurna. Igualmente.

Con respecto a las tendencias sobre los diferentes tipos de cubiertas utilizadas, en países en donde se presenta nieve, las cubiertas suelen tener una pendiente protuberante que facilite la remoción por gravedad de las aguas lluvias y de la nieve, los cuales son fenómenos naturales incontrolables, que pueden generar sobre cargas a una cubierta. Por otra parte, investigadores como Guzmán (2018), hablan de cubiertas planas, que pueden ser transitables o no transitables y que debido a los diferentes materiales que las componen son un sistema de cubierta sostenible que contribuyen con la sostenibilidad por su reducción de calor en espacios interiores, sin embargo, haciendo una retrospectiva desde el punto de vista de la sostenibilidad, para desarrollar un tipo de cubierta plana, es necesario realizar una estructura o losa de concreto maciza o aligerada que conforma la base inicial con la que parte una cubierta plana, la cual para el caso de una construcción convencional como una vivienda, el uso de placas de concreto en cubiertas son técnicas poco usadas debido al sobre costo que genera con relación a otros tipos de cubiertas utilizando estructura en madera o estructura metálica y teja termoacústica o lamina metálica.

Otros tipos de investigaciones que dan un enfoque sostenible para las cubiertas en edificaciones, corresponde al uso de materiales amigables con el medio ambiente, en este caso para construcciones pequeñas o de baja altura, algunos autores recomiendan el uso de bambú como material idóneo para la estructura que soporta las láminas o paneles de cubierta. Igualmente, dichas laminas o paneles de cubierta, pueden provenir de materiales reciclados dependiendo de la demanda local o del reciclaje accesible en una región, lo cual es una tipología que requiere de una constante investigación en donde se debe de contar con un diseño experimental a base de prueba y error para probar y elaborar un material factible desde el punto de vista térmico, económico y ambiental, al igual que su durabilidad en el tiempo.

Capítulo 3. Normativa y procedimientos constructivos para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial

En el siguiente capítulo se relacionan las normativas y procedimientos constructivos para la implementación de cubiertas sostenibles, para uso residencial, teniendo en cuenta las tipologías previamente definidas en el estado del arte.

3.1 Normativa Nacional e Internacional

Teniendo en cuenta el análisis bibliométrico en donde se determinaron referencias desde el año 1993, para el ámbito normativo con relación al uso de cubiertas sostenibles, se mencionan:

3.1.1 Normas Internacionales

Green Roof Guidelines – Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. La cual traduce Directrices para Cubiertas Verdes – Guías para la Planificación, Construcción y Mantenimiento de Cubiertas Verdes desarrollada por Sociedad de Investigación para el Desarrollo y la Construcción del Paisaje en Alemania (*Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.* [FLL], 2018). Esta Guía se compone de 16 Capítulos corresponden a:

Capítulo 1. Describe el propósito de la guía. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 2. Describe las normas citadas, en donde se destacan las normas Alemanas DIN (Deutsches Institut für Normung), que significa Instituto Alemán de Normalización y establece normas como las siguientes:

DIN 18531: Impermeabilización de cubiertas, balcones y pasarelas –Cubiertas no utilizadas y utilizadas, requisitos y principios para la ejecución y el diseño.

DIN 18916: Tecnología de vegetación en paisajismo, plantas y cuidado de plantas.

DIN 18918: Tecnología de vegetación en paisajismo, métodos biológicos de estabilización del terreno: estabilización mediante siembra y plantación, estabilización por medio de material vegetal vivo, material muerto y elementos de construcción, métodos combinados de construcción.

DIN 18919: Tecnología de vegetación en paisajismo, cuidado de la vegetación durante el desarrollo y el mantenimiento de áreas verdes. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 3. Se describen 3 tipos de reverdecimiento intensivo, intensivo simple y reverdecimiento extensivo. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 4. "Es una sección informativa que educa al lector sobre las funciones de un techo verde y los efectos positivos que tienen sobre el medio ambiente circundante". (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 5 y 6. Relaciona requisitos relacionados con la construcción y el material. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 7. Relaciona los requisitos para la construcción de áreas de vegetación. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 8 y 9. Estos capítulos relacionan los requisitos para el drenaje y la capa de filtro de la cubierta verde. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 10. Relaciona los requisitos para el cuidado y suministro del sustrato y el material vegetal. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 11. Corresponde a los requerimientos de semillas, plantas y vegetación. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 12. Relaciona los requisitos para garantizar la estabilidad de las plantas, la prevención de la erosión y criterios de aceptación. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 13. Recomienda sistemas de mantenimiento requerido. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 14. Protección contra erosión y medidas adicionales de seguridad. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 15. Establece los plazos contractuales para la prescripción de la garantía, 4 años para la construcción e instalaciones técnicas y 2 años para la ecologización. (Breuning & Yanders, 2012).

Capítulo 16. Corresponde a las pruebas de inspección y aceptación de cubierta verde. (Breuning & Yanders, 2012).

ASTM E2777-20. Guía estándar para sistemas de techos vegetales (verdes) extensivas e intensivas. Define terminología, principios técnicos, capas de vegetación, sustrato, capas drenantes, barreras contra raíces, etc. Esta guía identifica los principios y conceptos fundamentales, incluidos aquellos relacionados con la sostenibilidad, los requisitos técnicos de la construcción y los tipos de sistemas de techos vegetales (verdes) utilizados en los edificios. (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2020). Continuando con las normas internacionales de la ASTM, para el caso de cubiertas verdes aplican:

ASTM E2396. Este método establece cómo medir la permeabilidad al agua en sistemas de drenaje con materiales granulares en techos verdes. Su propósito es comparar el comportamiento hidráulico de diferentes medios, evaluando qué tan rápido o eficiente se desaguan cuando están saturados. (ASTM, 2019).

ASTM E2397. Norma que orienta la evaluación de cargas permanentes y variables en cubiertas con vegetación. Permite analizar el peso que recibe la estructura tanto en condiciones secas como cuando el sistema acumula agua de lluvia o riego, ayudando al diseño estructural de la cubierta. (ASTM, 2019).

ASTM E2398. Corresponde a una prueba de ensayo enfocada en la capacidad de almacenamiento y retención de agua de los sistemas de drenaje en techos verdes. Se utiliza para

comparar el rendimiento entre diferentes configuraciones y para estimar las necesidades de riego que garanticen la eficiencia del diseño. (ASTM, 2019).

ASTM E2399. Método para determinar la densidad máxima de los medios de cultivo empleados en cubiertas vegetadas. Esta información es clave para calcular correctamente las cargas estructurales que soportará la cubierta a lo largo de su vida útil. (ASTM, 2019).

ASTM E2400. Guía práctica para la selección, instalación y mantenimiento de la vegetación en techos verdes. Incluye recomendaciones sobre especies apropiadas, prácticas de siembra y riego, de manera que se asegure un crecimiento saludable y sostenible de las plantas. (ASTM, 2019).

ASTM E2788. Especificación técnica que regula el uso de materiales minerales expandidos (como esquisto, arcilla o pizarra) dentro de los sustratos de crecimiento y capas de drenaje en techos con vegetación. Define criterios de calidad y gradación de los agregados para garantizar un desempeño adecuado. (ASTM, 2019).

ASCE 7-16 / ASCE 7-22. Cargas estructurales mínimas (viento, nieve, sismo, etc.) para edificaciones con estructuras incluidas instalaciones solares. (SEAC, 2023)

MIS-3002:2025 (UK / BRE). Desarrollada por el Reino Unido, establece los lineamientos para la correcta instalación mecánica de sistemas fotovoltaicos en cubiertas. Su objetivo es garantizar que los módulos solares y sus estructuras de soporte cumplan con criterios

de seguridad, estabilidad y durabilidad frente a cargas de viento, nieve y otras solicitaciones (The MCS Service Company Ltd, 2025)

3.1.2 Normas Nacionales

Para el caso de las normas nacionales aplicables en el territorio colombiano, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con el uso y la implementación de cubiertas sostenibles, se puede tener en cuenta las siguientes:

Acuerdo 418 de 2009, "Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones" (Concejo de Bogotá, 2009).

Resolución 0194 de 2025. Por medio de la cual se definen los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, se sustituye la Resolución 0549 del 2015 y se dictan otras disposiciones.

Ley 2476 de 2025. Por medio del cual se fortalece la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo en Colombia a través de ciudades y centros urbanos verdes, biodiversos y resilientes (Ley de Ciudades Verdes). (Congreso de la República de Colombia, 2025)

Norma Técnica Colombiana NTC 5930, por la cual establece los requisitos mínimos para la construcción sostenible en Colombia. Esta norma establece los criterios y los requisitos

para la sostenibilidad en edificios y establece diferentes categorías de certificación, incluyendo certificación de cubiertas verdes o sostenibles.

Decreto 1077 de 2015: Por el cual se establecen las condiciones para la gestión integral de residuos en Colombia, incluyendo la gestión de residuos de construcción y demolición. Esto puede incluir la gestión de residuos generados durante la construcción de cubiertas sostenibles.

Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio establece: Por medio de la presente resolución se aprueba la guía de porcentajes mínimos y medidas de ahorro de energía y agua en edificaciones nuevas y se establecen las normas y principios para la construcción sostenible, en donde se destaca una línea base de ahorro de energía y agua que básicamente corresponde a las condiciones mínimas de ahorro que debe presentar una edificación según el uso que tenga, para ser considerada como sostenible. En este caso, los porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua corresponden a los señalados en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Porcentajes de ahorro de energía y agua según la zona climatica

Uso/Linea Base	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Ahorro de Energía				
Hoteles	15	15	15	15
Hospitales	15	15	15	15
Oficinas	15	15	15	15
Centros comerciales	15	15	15	15
Educativos	15	15	15	15
Vivienda no VIS	10	10	10	10
Vivienda VIS	10	10	10	10
Vivienda VIP	10	10	10	10

Uso/Linea Base	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Ahorro de Agua	15	10	15	15
Hoteles	10	15	10	15
Hospitales	15	15	15	15
Oficinas	15	15	15	15
Centros comerciales	15	15	15	15
Educativos	10	10	10	10
Vivienda no VIS	10	10	10	10
Vivienda VIS	10	10	10	10
Vivienda VIP	15	10	15	15

Nota. Tomado del Anexo No.1 de la Resolución 0549 de 2015.

De acuerdo a la tabla 1, las principales variables que definen la clasificación climática según la el Anexo 1. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones de la Resolución 0549 de 2015, corresponden a los señalados en la tabla 2.

Tabla 2

Clasificación Climática de Colombia

Tipo de Clima	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Ciudad Representativa
Frio	12 – 18	2000m – 2999m	Bogotá (2625m)
Templado	18 – 24	1000m – 1999m	Medellín (1495m)
Cálido seco	>24; HR <75%	< 1000m	Cali (997m)
Cálido húmedo	>24; HR >75%	< 1000m	Barranquilla (18m)

Nota. Tomado del Anexo No.1 de la Resolución 0549 de 2015.

De acuerdo a la tabla 2, se puede apreciar las variables que caracterizan el tipo de clima en Colombia, en donde además se incluyen las ciudades representativas para cada clima.

3.2 Procedimientos constructivos

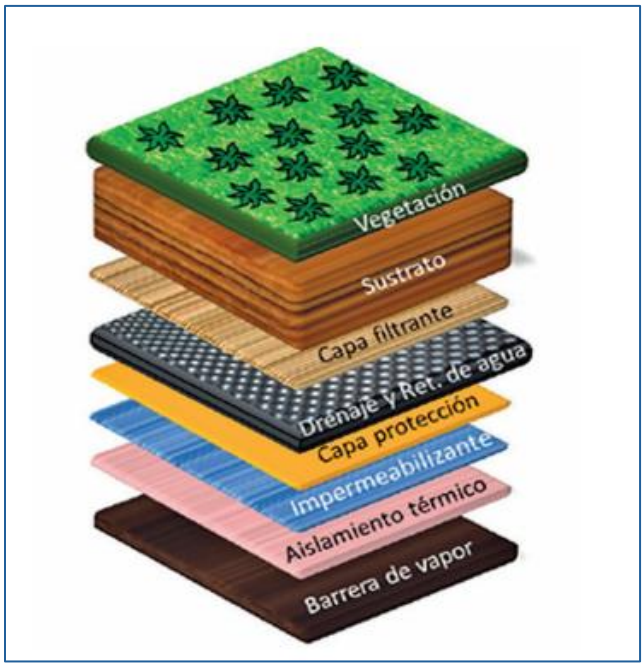
Con relación a los procedimientos constructivos para la construcción de una cubierta sostenible, es importante precisar que a pesar de las diferentes técnicas que se pueden implementar para considerar una cubierta con cierto grado de sostenibilidad, en este caso los procedimientos constructivos se delimitan a las cubiertas verdes y cubiertas fotovoltaicas.

3.2.1 Procedimiento constructivos de Cubiertas Verdes

El procedimiento constructivo para una cubierta verde (extensiva o intensiva) en una edificación sigue una secuencia técnica para garantizar impermeabilidad, drenaje, retención de agua y soporte vegetal. A continuación, en la siguiente figura 10 se aprecia el esquema de los componentes de una cubierta verde.

Figura 10

Esquema composición de un techo verde



Nota. Tomado de Lopez et al. (2019)

De acuerdo a la figura 10, el procedimiento para la instalación de una cubierta verde corresponde a:

1. Preparación de la superficie: Revisar que la losa tenga pendiente mínima de 2–5% para evacuación de aguas. Verificar resistencia estructural según NSR-10. Limpiar y nivelar la superficie antes de iniciar la instalación.

2. Instalación de barrera de vapor: Colocar lámina continua (bituminosa o polietileno). Sellar uniones para evitar paso de vapor desde el interior hacia el sistema.

3. Colocación del aislamiento térmico. Ubicar placas de XPS o poliuretano rígido sobre la barrera de vapor. Asegurar que queden alineadas y con traslape de juntas. Función: evitar puentes térmicos y mejorar eficiencia energética.

4. Membrana impermeabilizante. Instalar membrana (EPDM, PVC, bituminosa modificada) resistente a raíces. Aplicar solapes mínimos de 10 cm. Sellar juntas con calor o adhesivo según fabricante.

5. Capa de protección. Colocar un geotextil protector encima de la impermeabilización. Evita daños mecánicos durante instalación y mantenimiento.

6. Sistema de drenaje y retención. Instalar paneles drenantes de polietileno, grava ligera o lámina nodular. Garantizar continuidad hacia los puntos de desagüe. Función: evacuar exceso de agua y almacenar humedad útil para plantas.

7. Capa filtrante. Colocar geotextil permeable sobre el drenaje. Evita que partículas finas del sustrato tapen el sistema de drenaje.

8. Sustrato de cultivo. Preparar mezcla ligera (tierra vegetal + compost + perlita o arcilla expandida) para distribuir uniformemente sobre toda la superficie. El Espesor según tipo de cubierta corresponde a:

Extensiva: 8–15 cm.

Intensiva: >20 cm (puede llegar a 50 cm para arbustos).

9. Vegetación. Colocar mantas vegetadas, trepadoras o sembrar especies seleccionadas. Es importante tener en cuenta que se deben utilizar plantas resistentes al sol y al agua. Usar plantas resistentes al clima local y de bajo mantenimiento (ej: sedum, gramíneas, flores ornamentales).

10. Sistema de riego y bordes. Instalar riego por goteo o exudación integrado al sustrato. Colocar bordes perimetrales con grava o lámina separadora para proteger desagües y controlar raíces.

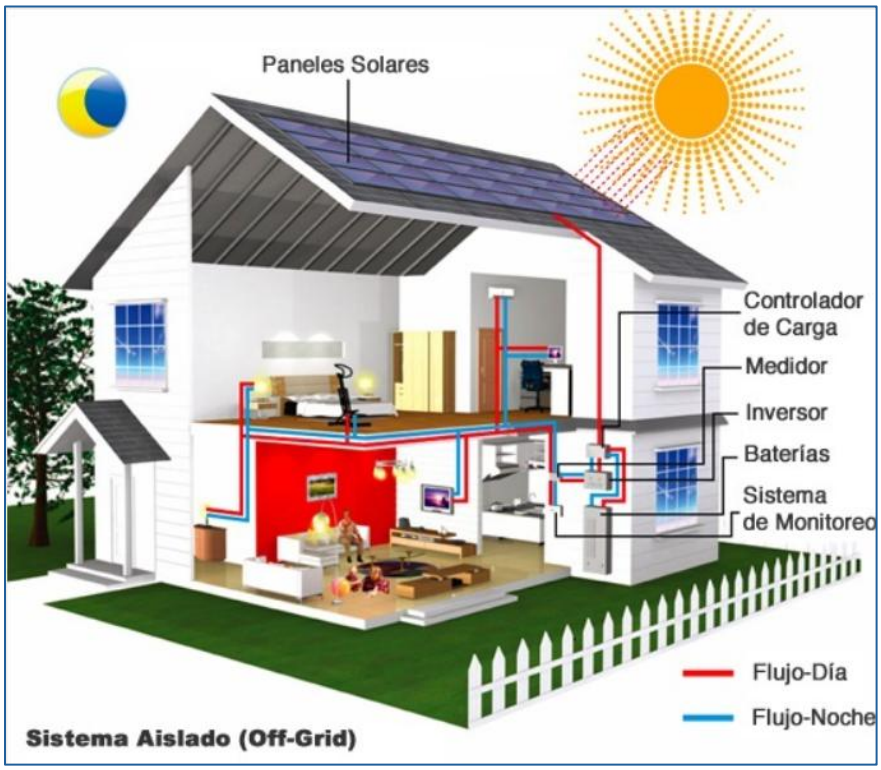
11. Mantenimiento inicial y continuo. Primer mes: riego frecuente y control de malezas. Revisar drenajes y bordes perimetrales. Posteriormente: poda, reposición de plantas y limpieza periódica de desagües. (Lopez et al., 2019)

3.2.2 Procedimientos constructivos para cubiertas fotovoltaicas

En la siguiente figura 11, se puede apreciar el procedimiento de una cubierta fotovoltaica que suministra energía limpia para el consumo al interior de la vivienda.

Figura 11

Esquema composición de un techo fotovoltaico



Nota. Tomado de Rodríguez (s.f.)

Según Hathout (2018), el procedimiento constructivo para una cubierta fotovoltaica corresponde a:

1. Revisión estructural de la cubierta. Verificar resistencia de la losa o cubierta según NSR-10 (capacidad de carga adicional 15–25 kg/m² según tipo de panel y estructura). Confirmar pendiente y orientación óptima (generalmente hacia el sur en Colombia, con inclinación = latitud ± 10°). Revisar impermeabilización y estado de la superficie.

2. Señalización y replanteo. Marcar puntos de apoyo de la estructura metálica de soporte. Respetar alineación y distancias según diseño eléctrico (filas y columnas de paneles).

3. Anclajes y fijaciones. Instalar anclajes mecánicos o químicos sobre la cubierta, asegurando no dañar la impermeabilización. En cubiertas inclinadas con teja metálica o de fibrocemento, se usan ganchos o abrazaderas específicas. Revisar apriete de pernos y alineación.

4. Montaje de la estructura de soporte. Ensamblar o izar los perfiles de aluminio o acero galvanizado. Verificar ángulo de inclinación definido en el diseño (ej. 10°–20° para cubiertas planas). Asegurar nivelación y rigidez de la estructura.

5. Instalación de paneles solares. Colocar paneles en la estructura y fijarlos con abrazaderas intermedias y terminales. Dejar separación mínima de 2 a 5 cm entre paneles para ventilación. Evitar sombras de obstáculos cercanos.

6. Conexionado eléctrico de los módulos. Conectar paneles en series (strings) mediante conectores MC4. Verificar polaridad con multímetro antes de cerrar circuito. Guiar cableado en bandejas portacables o tubos UV-resistentes.

7. Conexión hacia microinversores. Instalar cajas de combinación (string boxes) con protecciones DC: Fusibles, seccionadores y protección contra sobretensiones. Conectar hacia inversor on-grid u off-grid según el diseño.

8. Conexión AC y protecciones. Desde el inversor, derivar a tablero general mediante breaker y protección contra sobretensiones AC. Es importante mencionar que la energía se debe direccionar al interior de la vivienda con un contador bidireccional en donde se se impida el flujo de corriente de operador de la red, cuando los paneles suplan la necesidad de abastecimiento de la edificación, y en caso de no utilizar la corriente generada en su totalidad, que esta se dirija al operador de red con el fin de vendérsela a la empresa de servicios públicos de energía.

9. Pruebas y puesta en marcha. Verificar continuidad, polaridad, resistencia de aislamiento y puesta a tierra. Medir voltaje en vacío y corriente de cortocircuito de strings.

10. Mantenimiento y seguridad. Limpieza periódica de paneles (2–4 veces/año). Revisión de apriete de estructuras y estado de cables. Monitoreo de generación a través del inversor o sistema SCADA.

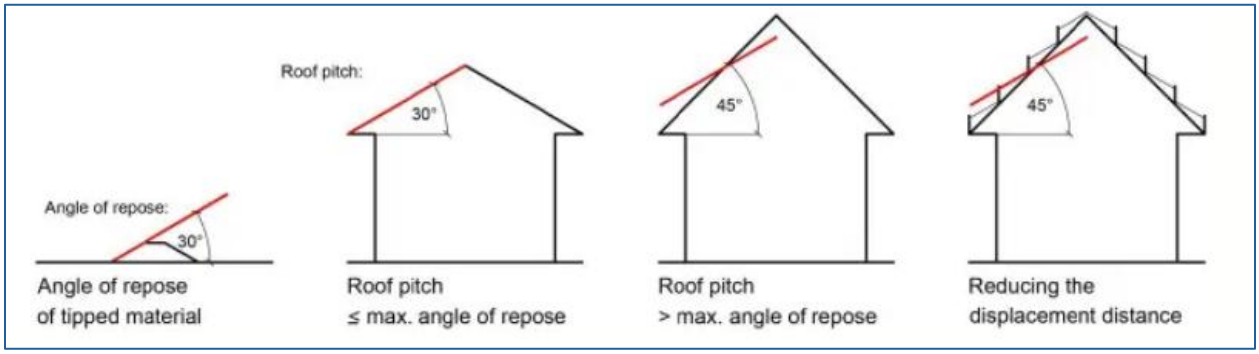
3.3 Criterios de diseño y desempeño

3.3.1 Angulo de inclinación para cubiertas verdes

Para el caso de cubiertas verdes, de acuerdo a las directrices FLL (Norma Alemana), para la planificación, construcción y mantenimiento de cubiertas verdes, con respecto al ángulo máximo de reposo en una cubierta, para que el material vegetal no tienda a desplazarse corresponde a lo establecido en la siguiente figura 12.

Figura 12

Angulo de inclinación para cubiertas verdes



Nota. Tomado de Breuning & Yanders (2012).

De acuerdo a la figura 12, si la estructura de la cubierta tiene una pendiente igual o menor a 30°, el sustrato de la cobertura vegetal se mantiene estable, pero si la pendiente de la cubierta es de 45°, el material vegetal tiende a deslizarse por lo que en estos casos se utilizan elementos de contención como barreras, listones, bordillos o sistemas de retención.

3.3.2 Características según el tipo de cubierta verde

De acuerdo a los tipos de cubierta verde, estos pueden variar según el nivel de la cobertura vegetal, y se clasifica como intensivo, semi intensivo y extensivo. A continuación, en la tabla 3, se puede apreciar las características de las tres tipologías de cubiertas verdes.

Tabla 3

Características de los distintos tipos de cubiertas verdes

Características	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Profundidad Substrato	15 cm o menos	25% arriba o abajo de 15cm	Más de 15cm
Accesibilidad	Generalmente inaccesible	Parcialmente accesible	Generalmente accesible
Peso saturado del suelo	Bajo – 48.8 hasta 170 kg/m2	Variable – 170 hasta 244 kg/m2	Alto – 244 – 1.467 kg/m2
Diversidad de plantas	Bajo	Medio	Alto
Costo	Bajo	Variable	Alto
Mantenimiento	Mínima	Variable	En general, alta

Nota. Tomado de Bustos & Serrano (2021)

De acuerdo a la tabla 3, se puede apreciar que, una de las tipologías de cubiertas verdes más conveniente corresponde al uso de sistemas extensivos, ya que requiere una menor diversidad de plantas, el mantenimiento es mínimo y el costo es bajo.

3.3.3 Sistemas de impermeabilización para cubiertas

Los sistemas de impermeabilización para la cubierta antes de implementar cualquier sistema sean de techo verde o fotovoltaico, deben garantizar que el agua proveniente de las lluvias no se infiltre por la cubierta y termine afectando el interior de la edificación. A continuación, en la tabla 4, se pueden apreciar los tipos de sistema para el material impermeabilizante para cubierta en donde se definen además las ventajas y desventajas de cada uno de la tipología del sistema.

Tabla 4

Sistema de impermeabilización para cubiertas

TIPO DE SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Asfalto caucho reforzado aplicado en caliente	Se adhiere firmemente a la superficie, reduciendo la migración de humedad lateral. Es un sistema con tradición y eficacia comprobada.	Emite olores fuertes durante su aplicación y exige un control riguroso de la temperatura de trabajo.
Betún modificado con asfalto líquido caucho	Garantiza adherencia evitando desplazamientos de humedad. Deriva de materiales confiables y con larga trayectoria de uso.	La membrana presenta uniones o costuras que pueden ser puntos vulnerables.
Poliuretano de aplicación líquida	Se fija a la cubierta impidiendo el paso lateral de humedad. Además, puede aplicarse incluso sobre hormigón fresco.	Es un sistema aplicable solo para cubiertas planas o cubiertas compuestas por losas de concreto y terrazas.
Membrana termoplástica con núcleo de polímero activo	Su núcleo expansivo, que reacciona con la humedad, sella de forma automática posibles filtraciones.	Su eficacia depende de la propiedad del material. Al ser novedoso, aún no cuenta con un historial extenso de desempeño.
Membrana monocapa convencional (no PMR)	Es de instalación sencilla y económica.	No se adhiere completamente a la superficie, lo que puede permitir la migración lateral de humedad.

Nota. Tomado de Uribe (2012).

De acuerdo a la tabla 4, uno de los sistemas de impermeabilización para cubiertas corresponde al uso de poliuretano líquido, el cual para el caso de Colombia se pueden destacar los productos SIKA, en donde se recomienda el uso de Sikalastic – 612, el cual es una membrana liquida de poliuretano con tecnología de curado latente de alto desempeño y durabilidad para impermeabilizar cubiertas y terrazas, la cual se aplica en frio y puede recibir lluvias después de 15 min de haber sido aplicada. (Sika, 2025)

Capítulo 4. Contribuciones de diversos autores al estudio de las cubiertas sostenibles a nivel mundial

4.1 Enfoques teóricos sobre cubiertas sostenibles

Las cubiertas sostenibles han sido objeto de creciente interés en el ámbito académico y profesional debido a su capacidad para integrar principios de eficiencia energética y mitigación de impactos ambientales en edificaciones, ya que el uso de una cubierta sostenible para el caso de cubiertas verdes conlleva a una reducción de la isla de calor lo que contribuye a la disminución del consumo de energía eléctrica para mantener un ambiente interior fresco. Igualmente, para el caso del uso de paneles solares también conlleva a una reducción en el consumo de energía eléctrica, lo que se ve reflejado en los costos de consumo de energía.

Según autores como Berardi (2016) y Oberndorfer et al. (2007) destacan que el concepto de cubierta sostenible va más allá del techo verde tradicional, incorporando soluciones como cubiertas fotovoltaicas, sistemas híbridos (verde + solar) y techos fríos de alta reflectancia. Estos enfoques se fundamentan en principios de la arquitectura bioclimática y en la teoría de los sistemas urbanos resilientes, los cuales consideran a la edificación como un nodo dentro de la red ecológica de la ciudad.

Con respecto a otros tipos de beneficios con el uso de una cubierta sostenible, según Pérez et al. (2014) manifiesta que además de los beneficios ambientales, los techos sostenibles generan valor urbano, mejoran la calidad de vida de los habitantes y pueden contribuir a la

certificación de edificaciones bajo estándares como LEED, EDGE o CASA Colombia. En consecuencia, el enfoque teórico combina elementos de sostenibilidad ambiental, económica y social enmarcados dentro del paradigma del desarrollo sostenible.

4.2 Estudios de casos relevantes y aplicaciones prácticas

Las aplicaciones prácticas de cubiertas sostenibles se han documentado en distintas regiones del mundo, reflejando una amplia diversidad de contextos climáticos, normativos y tecnológicos. En Alemania, por ejemplo, las Directrices FLL han impulsado la implementación masiva de techos verdes en ciudades como Berlín y Stuttgart, donde representan una estrategia clave para el control de escorrentía y la regulación térmica.

En América del Norte, estudios como el de Garrison & Horowitz (2012) evidencian que la integración de techos verdes en edificios públicos ha permitido reducir la demanda del consumo de energía destinada a la climatización hasta en un 25 %. Por su parte, en Asia, Japón y Singapur se destacan como pioneros en políticas de incentivos y normativas que promueven techos ajardinados como parte de su estrategia contra el efecto isla de calor.

En el ámbito latinoamericano, se registran experiencias en México, Brasil y Colombia. En Bogotá, la normativa local ha promovido la instalación de techos verdes en edificaciones institucionales y comerciales, generando resultados positivos en retención de aguas lluvias y reducción de contaminación atmosférica. De forma paralela, proyectos piloto con cubiertas

fotovoltaicas en Medellín y Santiago de Chile han mostrado un gran potencial de generación de energía limpia en zonas urbanas densas. (Alcaldía de Medellín, 2020)

Estos casos demuestran que la viabilidad de las cubiertas sostenibles depende tanto de los avances técnicos como del respaldo de políticas públicas, incentivos económicos y marcos regulatorios que garanticen su adopción a gran escala.

4.3 Materiales y tecnologías utilizadas en cubiertas sostenibles

4.3.1 Cubiertas Verdes

Para el caso de los sistemas de cubiertas vegetadas, se recomienda el uso de especies resistentes a la sequía y de bajo mantenimiento, como Sedum, musgos y suculentas, ya que soportan condiciones variables de agua y temperatura con poca intervención humana (Iowa DNR, 2016). En cambio, las cubiertas intensivas permiten mayor diversidad de especies, incluyendo arbustos, gramíneas ornamentales e incluso pequeños árboles siempre que se disponga de un espesor de sustrato mayor y un sistema de riego adecuado. (Powers, 2025).

La composición típica de una cubierta verde ideal se compone de:

1. Estructura de soporte que garantice capacidad de carga ante el peso saturado del sistema.

2. Membrana impermeabilizante con barrera contra raíces, usualmente en PVC, EPDM o asfalto modificado.

3. Capa de drenaje y retención de agua con geo compuestos o paneles de drenaje de plástico reforzado.

4. Geotextil filtrante, que evita el paso de partículas finas al drenaje.

5. Sustrato de cultivo, mezcla ligera de componentes minerales y orgánicos con buena retención de humedad y aireación. (Salvia, 2023).

4.3.2 Cubiertas Fotovoltaicas

Por otro lado, las cubiertas fotovoltaicas requieren módulos solares de alta eficiencia (monocristalinos y bifaciales), estructuras de soporte livianas y resistentes a la corrosión, además de inversores y sistemas de monitoreo para optimizar la generación eléctrica. Uno de los materiales o componentes más importantes más importantes para poder utilizar la energía proveniente de la luz solar mediante paneles fotovoltaicos, corresponde a Inversores de corriente directa a corriente alterna, los cuales, para el caso de edificaciones o pequeños sistemas de paneles solares se habla de Microinversores, los cuales permiten convertir la energía solar en energía aprovechable. Los micro inversores o inversores, deben contar con protecciones anti-isla, que aseguren la desconexión automática en caso de falla o ausencia de la red, evitando riesgos eléctricos. (Niclas, 2014)

Para el caso de conectar una edificación con un sistema fotovoltaico y que este mismo no genere un corto circuito con la red eléctrica de la zona en donde se realice, es necesario la

utilización de un Contador bidireccional, el cual es un medidor que registran tanto la energía consumida como la inyectada a la red, facilitando esquemas de compensación o “net metering”, ya que permite el uso de la energía solar al interior de la edificación y cierra el paso de la energía eléctrica del operador de red mientras se gasta la energía solar, y una vez terminada la energía solar (para el caso de sistemas sin batería de almacenamiento), permite el acceso de la energía proveniente de la red eléctrica del lugar. Estos equipos son esenciales en la integración de techos solares urbanos. (Giermak y Blok, 2025).

Capítulo 5. Casos de éxito en Colombia sobre la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones residenciales

En el siguiente capítulo se relacionan casos de éxito en Colombia sobre el uso de cubiertas sostenibles, por consiguiente, es importante definir que es un caso de éxito, para el análisis de la presente investigación corresponde a proyectos que cuenten con investigación demostrable o con reconocimiento de construcción sostenible o un sello ambiental colombiano. Dichos proyectos con reconocimiento pueden hacer referencia a edificaciones con certificaciones sostenibles validadas en Colombia, como el Sello Ambiental Colombiano, Casa Colombia, Certificado LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Certificado EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) u otras entidades públicas.

5.1 Caracterización de proyectos con cubiertas sostenibles en Colombia

5.1.1 Urbanización los Almendros en Roldanillo - Valle

La Urbanización Los Almendros, localizada en el municipio de Roldanillo, departamento Valle del Cauca, es un proyecto conformado por 110 viviendas de Interés Social VIS, la cual cuenta por unidad de vivienda, con un sistema de cubierta con tres paneles solares y dos micro inversores con capacidad instalada de 1.36 kWp, el cual estando en funcionamiento contribuyen a una disminución 129 toneladas de dióxido de carbono CO_2 por año (Celsia, 2022). Esta disminución de dióxido de carbono es medida partiendo del concepto que la energía eléctrica que se distribuye en cualquier zona de Colombia en su mayoría proviene de fuentes de energía no

renovable, como la quema de combustibles fósiles, por lo cual, al reducir el consumo de esta energía proveniente de fuentes no renovables, se disminuye significativamente el dióxido de carbono producido. En la figura 13, se observa la vivienda vis con cubierta fotovoltaica.

Figura 13

Vivienda VIS con cubierta sostenible en panel solar



Nota. Tomado de Celsia (2022).

De acuerdo a la figura 13, este proyecto de vivienda VIS, con cubierta fotovoltaica, se puede catalogar como un caso de éxito en Colombia, porque logro una certificación Edge Advanced, por haber demostrado ahorro de energía del 52%, ahorro de agua del 32% y ahorro de energía embebida en los materiales del 57%, el cual fue emitido por Camacol, el 07 de julio de 2022 (Celsia, 2022). En este caso, haciendo una inspección visual de la figura 13, se puede

apreciar que, con relación al aporte en el ahorro de energía embebida en los materiales, para el caso de la cubierta se observa que las tejas provienen de una pos manufactura, es decir reciclada de demoliciones o desmantelamiento de edificaciones existentes, dado que no existe una similitud en el estado de coloración de las tejas, pues se pueden observar diferentes tonalidades que confirman el uso de una cubierta reciclada.

5.1.2 Edificio Centro Cívico Universidad de los Andes Bogota

Este edificio cuenta con 10.300 m2, y se destaca como una construcción sostenible no solo por contar con una cubierta verde si no por sus características durante el proceso constructivo y funcionamiento que lo catalogan como un edificio sostenible. Ver figura 14.

Figura 14

Cubierta verde edificio Centro cívico Universidad de los Andes-Bogota



Nota. Fuente: Becerra (2022)

De acuerdo a la figura 14, esta edificación cuenta con certificación LEED oro, ya que presenta buen desempeño energético debido a que su arquitectura permite el paso de la luz natural, igualmente cuenta con un sistema de recolección de aguas lluvias que se utilizan para realizar el riego de la cubierta verde, dicha cubierta verde es de bajo consumo de agua, por lo que permite un ahorro de más de 13mil galones de agua al año. Por otra parte, el 25% de los materiales de construcción utilizados para esta edificación tienen certificación de tener contenido reciclado, y los desechos o residuos de la construcción en un 99% fueron dispuestos en rellenos sanitarios mediante prácticas de reciclaje, reúso y disposición certificada. (Anónimo, 2012).

5.1.3 Centro Comercial La Reserva de Envigado Antioquia

El Centro Comercial La Reserva ubicado en Envigado Antioquia, cuenta con un sistema fotovoltaico de 96 paneles solares con una potencia de 30.72 kWp (Kilovatio hora pico), que suple el consumo de energía de las zonas comunes de la edificación en un 50%, lo que contribuye en un ahorro o reducción de 16.18 toneladas de dióxido de carbono CO_2 al año que equivale a plantar 990 árboles por año. (Celsia, 2017).

En la figura 15, se puede apreciar la cubierta o terraza fotovoltaica del centro comercial La Reserva, el cual también cuenta con una estación de carga para vehículos electicos. Una de las condiciones de la edificación que permitieron la adaptación de la cubierta fotovoltaica corresponde al uso de una losa en concreto reforzado de cubierta la cual garantiza que se soporten correctamente todas las cargas generadas por los paneles solares.

Figura 15

Cubierta fotovoltaica Centro Comercial La Reserva, Envigado



Nota. Tomado de Celsia (2017).

5.1.4 Edificio Corporativo Bancolombia en Medellín Antioquia

Este edificio Ubicado en la ciudad de Medellín – Antioquia, cuenta con un sistema fotovoltaico que contribuye a la generación de energía limpia, la cual cuenta desde el año 2012, con la certificación LEED oro, ya que cuenta con un ahorro en el consumo de energía del 30%, además cuenta con recolección de aguas lluvias que reduce el consumo de agua de la edificación en un 40% del agua consumida por las torres de enfriamiento, además se recalca el hecho de que el edificio fue construido siguiendo los estándares USGBC (Certificación Green Building Council) la cual es otorgada después de cumplir con los pilares de la sostenibilidad que son ahorro de agua, de energía y de energía embebida en los materiales. (Geral, 2021)

En la figura 16, se puede apreciar la cubierta fotovoltaica del edificio corporativo Bancolombia.

Figura 16

Cubierta fotovoltaica Edificio Corporativo Bancolombia, Medellín



Nota. Tomado de Leaf (2025).

5.1.5 Cubierta Fotovoltaica en vivienda Unifamiliar Ocaña Norte de Santander

A pesar de que existen diversos proyectos que no cuentan con una certificación o acreditación sostenible, se pueden caracterizar el cumplimiento de algunos parámetros que contribuyen a la sostenibilidad relacionados con el uso de una cubierta fotovoltaica para viviendas, en este caso se relaciona la vivienda Ubicada en el Barrio Camilo Torres Calle 2f, del municipio de Ocaña Norte de Santander, en donde se realiza la instalación de una cubierta fotovoltaica con el propósito de disminuir el consumo de energía proveniente de la red eléctrica. Ver figura 17.

Figura 17

Cubierta fotovoltaica vivienda unifamiliar en Ocaña



Nota. Fuente: Autor propio.

De acuerdo a la figura 17, a pesar de que estos sistemas de cubierta no cuentan con una certificación o acreditación de cumplimiento de criterios sostenibles, es importante resaltar que actualmente existe un crecimiento por el uso de energías limpias renovables que contribuyen a disminuir el costo en el consumo de energía eléctrica.

5.2 Analisis de beneficios y contribución al medio ambiente

Los proyectos con cubiertas sostenibles en Colombia han reportado múltiples beneficios, entre los que se caracterizan:

Ambientales: reducción de escorrentía pluvial en un 50 % en cubiertas verdes, mitigación de isla de calor urbana y mejora de la calidad del aire (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2021).

Energéticos: ahorros de entre el 15 % y el 40 % en consumo eléctrico en edificaciones con techos fotovoltaicos residenciales (UPME, 2020).

Sociales: incremento del confort térmico, reducción de facturas de servicios públicos y mejor percepción estética del entorno urbano (García & Franco, 2021).

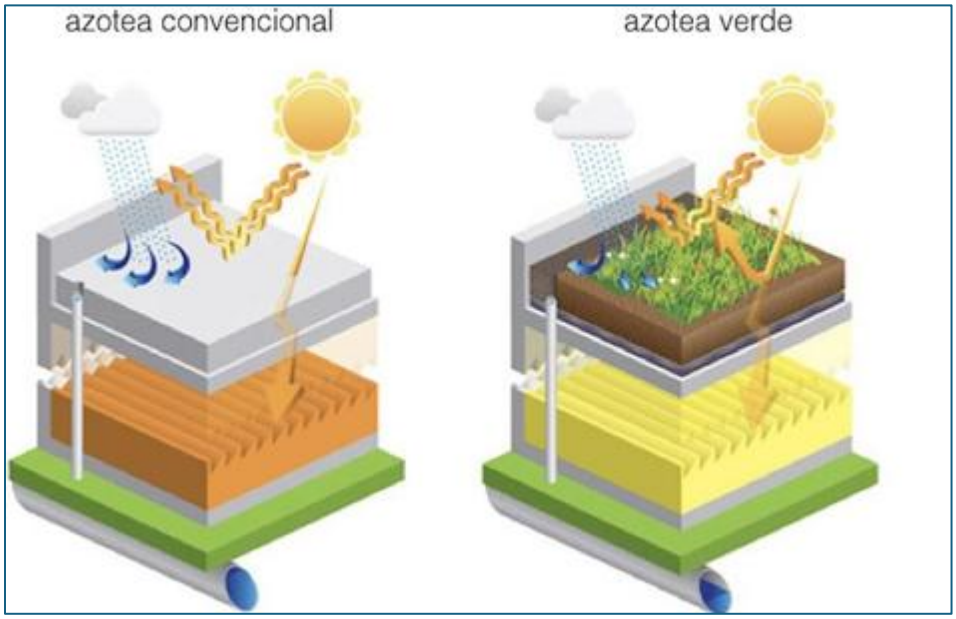
Económicos: valorización de los inmuebles en un rango del 5 % al 12 % debido a la certificación y al reconocimiento de prácticas sostenibles (CAMACOL, 2022).

Por lo anterior, las cubiertas sostenibles no solo aportan a la adaptación del cambio climático, sino que también son una estrategia de eficiencia económica y de mejora en la calidad de vida de los habitantes.

Con respecto a las cubiertas con techos verdes, este tipo de cubiertas permite un aislamiento ante ruidos externos, así como también una reducción en la isla de calor, ya que una edificación sin cubierta verde tiende a transmitir más el calor del exterior hacia el interior a diferente de una cubierta verde que absorbe los rayos del sol y tiene una transmitancia térmica mucho menor. Ver figura 18.

Figura 18

Beneficios de una cubierta verde



Nota. Fuente: Rivas (2015).

5.3 Recomendaciones para la aplicación de cubiertas sostenibles en Colombia

Para consolidar la implementación de cubiertas sostenibles en el sector residencial colombiano, se recomienda:

Fortalecer la normativa nacional: incluir lineamientos específicos en el Código Colombiano de Construcción Sostenible y en el RAS 2021, con incentivos para techos verdes y solares.

Generar incentivos económicos: subsidios o exenciones tributarias para constructoras que incorporen cubiertas sostenibles en proyectos de vivienda, como ocurre en ciudades europeas.

Promover la capacitación técnica: programas de formación para arquitectos, ingenieros y constructores en el diseño e instalación de techos verdes y fotovoltaicos.

Fomentar la investigación aplicada: impulsar alianzas entre universidades y constructoras para validar el desempeño térmico, energético y estructural de estas soluciones en distintos pisos térmicos del país.

Replicar experiencias exitosas: documentar y difundir casos como los de Bogotá, Medellín y Cali para motivar su adopción en otras ciudades intermedias.

En conclusión, la aplicación de cubiertas sostenibles en Colombia ya muestra resultados concretos, pero requiere una mayor articulación entre normatividad, incentivos y transferencia de conocimiento para alcanzar un impacto masivo en el sector residencial.

Capítulo 6. Guía técnica para la implementación de cubiertas sostenibles en edificaciones de uso residencial

En este capítulo, el contexto de una guía técnica se desarrolla dentro del ámbito de listas de chequeo según la tipología de cubiertas sostenible y recomendaciones basadas en la experiencia y análisis como resultado del aporte a la investigación.

6.1 Análisis comparativo técnico y argumentativo entre tipologías cubiertas sostenibles

A continuación, mediante la siguiente tabla 5, se integra el análisis comparativo caracterizando solo dos grupos de sistemas de cubiertas sostenibles que corresponden a: Cubiertas verdes y cubiertas fotovoltaicas, los cuales se determinan partiendo de la idea que son los sistemas de cubierta sostenibles que más regularmente se pueden encontrar, puesto que otros sistemas como la experimentación de cubiertas con materiales reciclados, son solo objeto de investigación y carecen de patentes o industria que ponga en funcionamiento su uso.

Tabla 5

Analisis Comparativo cubiertas verdes y fotovoltaicas

Variable	Cubierta Verde	Cubierta Fotovoltaica
Función principal	Ambiental y térmica	Generación de energía eléctrica renovable
Carga estructural (kg/m²)	80 – 300	15 – 30
Costo aproximado implementación (USD/m²)	80 – 150	120 – 250
Ventajas	Aislamiento térmico/acústico, prolonga vida útil impermeabilización, valor estético	Autogeneración eléctrica, ahorro económico, incentivos fiscales

Variable	Cubierta Verde	Cubierta Fotovoltaica
Limitaciones	Mantenimiento constante, especies adecuadas, necesidad de riego	Dependencia de radiación solar, espacio libre de sombras
Desventajas	Sobrecarga estructural, costos iniciales altos	Inversión inicial alta, impacto estético, sobrecalentamiento si no hay ventilación
Recomendaciones	Usar especies nativas, sistemas modulares livianos, riego eficiente	Optimizar inclinación, prever accesos de mantenimiento, integrar BIPV
Captura de CO_2	Sí, por vegetación	No directa (sí evita emisiones)
Gestión hídrica	Alta (50–90% retención)	Nula
Biodiversidad	Alta (hábitats urbanos)	Nula
Reducción de islas de calor	Alta (enfriamiento pasivo)	Media (con cubiertas frías o verdes)
Reducción emisiones CO_2	Indirecta (menor consumo energético)	Directa (sustituye energía fósil)
Captura de CO_2	Sí, directa por vegetación	No directa
Gestión hídrica	Alta capacidad	Nula
Biodiversidad	Alta aportación	Nula
Reducción islas de calor	Muy alta	Media
Reducción emisiones CO_2	Indirecta	Directa
Observación	Este sistema mejora la isla de calor, pero requiere de un cuidado y un mantenimiento constante para garantizar la vida de las plantas.	Requiere de una alta inversión inicial, pero se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica de la red local, lo que conlleva a la reducción de costo de energía.

Nota. Autor propio.

6.2 Propuesta técnica de implementación adaptada a contextos residenciales colombianos

Para la implementación de una cubierta sostenible, para una edificación existente o nueva, se establecen los siguientes pasos para su aplicación:

Paso 1. Diagnóstico inicial: Evaluación estructural de la edificación, para el caso de edificaciones existentes es importantes verificar la cubierta y la capacidad de resistencia sísmica

de la estructura, para comprobar que si es apta para soportar las cargas adicionales generadas por el sistema de cubierta a implementar. En este diagnóstico inicial también se incluye el análisis que corresponde a la identificación del piso térmico o la zona en donde se desarrolla el proyecto.

Paso 2. Selección de tipología de cubierta: Teniendo en cuenta las necesidades de la edificación, y según la capacidad del presupuesto, se recomienda la implementación de una cubierta fotovoltaica que brinda mayor beneficio económico respecto a la reducción del consumo de energía eléctrica proveniente de la red local. Sin embargo, dado que estos sistemas fotovoltaicos son costosos, partiendo de la disponibilidad presupuestal se pueden instalar una cubierta verde si se tiene un presupuesto limitado.

Paso 3. Diseño técnico: Para cubiertas verdes: fichas técnicas de sustrato, especies vegetales recomendadas por piso térmico, membranas impermeables y sistemas de drenaje; Para cubiertas solares: fichas técnicas de módulos fotovoltaicos, estructuras de soporte, inversores, sistemas de protección RETIE.

Paso 4. Cumplimiento normativo: Verificar requisitos en la NSR-10 (cargas), RETIE (instalaciones eléctricas), RAS 2021 (gestión pluvial) y guías locales. En este paso, para el caso de cubiertas verdes solo se debe verificar conforme al código de construcción sismo resistente, la capacidad de la estructura de resistir las cargas sobre impuestas de la cubierta verde. Por el contrario para el caso de una cubierta fotovoltaica, es imprescindible, contar con un contador bidireccional el cual debe estar previamente certificado por el Operador de Red, que es el encargado de distribuir la energía eléctrica según la zona en donde se encuentre, pues para el

caso de Norte de Santander Colombia, el Operador de Red, corresponde a Centrales Electricas de Norte de Santander, por otro para departamentos como el Magdalena y el Cesar, el operador de Red corresponde a Afinia.

Paso 5. Ejecución y supervisión: Se recomienda realizar una interventoría técnica y control de calidad en materiales, impermeabilización, fijación estructural y conexiones, en este caso para las cubiertas verdes, se recomienda emplearlas solo para terrazas o cubiertas con losa de concreto maciza, ya que si habla de edificaciones convencionales que tienen techo en lámina termo acústica o eternit, solo se recomienda el uso de cubierta sostenible con sistema fotovoltaico, siempre y cuando se verifique que la estructura metálica o en madera que soporta la cubierta resiste las cargas adicionales de los paneles solares.

Paso 6. Monitoreo y mantenimiento: Para el caso de cubiertas verdes, es importante contar con cronogramas para riego y poda, según las especies de plantas sembradas, puesto que este sistema de cubierta sostenible si depende fundamentalmente de un correcto mantenimiento para garantizar su durabilidad y eficiencia. Por el contrario, para el caso de paneles solares, en cubiertas fotovoltaicas, solo se requiere de una inspección de paneles solares y limpieza de membranas.

6.3 Listas de chequeo con enfoque práctico y normativo

A continuación, mediante tablas, se pueden apreciar la lista de chequeo para la verificación de los parámetros básicos para la instalación de una cubierta con sistema verde y sistema fotovoltaico. Ver Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6

Lista de chequeo para sistema de cubierta verde

Ítem	Criterio técnico	Cumple	No cumple	N.A.	Observaciones
1	Verificación estructural de cargas adicionales (NSR-10)				
2	Impermeabilización instalada con membrana anti raíz				
3	Sistema de drenaje (geotextil, capa filtrante) implementado				
4	Selección de especies vegetales nativas o adaptadas al piso térmico				
5	Sustrato con densidad < 1200 kg/m³ y espesor según tipología (extensiva/intensiva)				
6	Acceso seguro para mantenimiento (escalera, línea de vida, barandas)				
7	Plan de riego definido (manual o automático)				
8	Manual de mantenimiento entregado al propietario				

Nota. Autor propio.

Tabla 7

Lista de chequeo para sistema de cubierta fotovoltaica

Ítem	Criterio técnico / normativo	Cumple	No cumple	N.A.	Observaciones
1	Estudio estructural para soportar peso de módulos y estructura				
2	Selección de módulos certificados (IEC 61215, IEC 61730)				
3	Inversores certificados e instalados según RETIE				
4	Protecciones eléctricas instaladas (sobretensión, seccionadores, fusibles)				
5	Sistema de puesta a tierra y protección contra rayos implementado				
6	Cumplimiento de RETIE en canalizaciones y cableado				
7	Accesibilidad para limpieza y mantenimiento de paneles				
8	Monitoreo de generación (medidores o software) instalado				

Nota. Autor propio.

Conclusiones

De acuerdo a los diferentes sistemas de cubierta sostenible estudiados, se concluye que los sistemas con mayor impacto y aporte a la sostenibilidad corresponden a las cubiertas fotovoltaicas y a los techos verdes, en donde desde el punto de vista de lo asequible, las cubiertas verdes permiten un ahorro en el consumo de energía al impedir que las condiciones medioambientales afecten el confort y el clima al interior de una edificación.

Los sistemas de cubiertas fotovoltaicos son los más eficientes en cuanto a la disminución del uso de energía eléctrica, sin embargo, este es uno de los sistemas más costosos, ya que su implementación requiere de equipos tecnológicos electrónicos como inversores de corriente que hagan el cambio de energía directa a energía alterna aprovechable para los diferentes aparatos eléctricos de una vivienda, al igual que deben contar con un contador bidireccional que garantice que no exista corto circuito al introducir otra corriente proveniente de energías limpias a un sistema existente que recibe energía de la red eléctrica local.

De acuerdo a los diferentes estudios sobre el uso de cubiertas sostenibles, se concluye que hace falta mas investigación sobre el uso de nuevos materiales amigables con el medio ambiente o provenientes de la pos manufactura, para la fabricación de cubiertas con mejores prestaciones ambientales, ya que a pesar de que se encuentran investigaciones sobre el análisis experimental de materiales reciclados para cubiertas, no se logró identificar el uso de cubiertas con materiales reciclados. Sin embargo, con relación a los casos representativos de éxito en Colombia (porque tienen una certificación sostenible), se pudo verificar que una de las formas de considerar una

cubierta sostenible proveniente de la pos manufactura es la cubierta en teja de barro reciclada de la demolición o retiro de otras edificaciones existentes.

Con relación a la guía práctica, se establecieron criterios básicos, para caracterizar el uso de cubiertas verdes y cubiertas fotovoltaicas, como los dos sistemas de cubierta más asequibles a la hora de llevar a cabo o transformar una edificación con una cubierta sostenible. En conclusión, los sistemas de cubierta fotovoltaicos a pesar de ser más costosos en su instalación, representan un ahorro económico significativo relacionado con el consumo de energía eléctrica de la red pública, por el contrario la cubierta verde, solo contribuye a mejorar el confort y a reducir la isla de calor del exterior al interior de una edificación, y el costo económico de su implementación es mucho menor que un sistema fotovoltaico, igualmente el costo en el ahorro de consumo de energía de la red pública, también es menor en comparación con un sistema fotovoltaico.

Recomendaciones

A la hora de llevar a cabo la construcción de una cubierta verde es importante verificar el tipo de plantas y la climatología y pisos térmicos de la zona en donde se realizará el proyecto, ya que esto permite no tener perdidas e imprevistos por usar plantas que no tengan la capacidad o las propiedades para sobrevivir en el medio en donde se desean plantar.

A la hora de llevar a cabo un sistema Fotovoltaico, se recomienda utilizar un medidor bidireccional de buena calidad que garantice el riesgo de que la edificación pueda presentar un corto circuito, el cual debe ser aprobado por el operador de red que funciona en la zona del proyecto.

Para proyectar una cubierta sostenible se recomienda verificar inicialmente una verificación visual y patológica de las condiciones actuales en que se encuentra la cubierta, esto con el fin de dar fe y garantizar que no se presente fatiga en los elementos que conforman la cubierta de una edificación, al adicionar las cargas sobre impuestas correspondientes a un sistema de cubierta sostenible.

Referencias

Alcaldía de Medellín (2020). *Plan de acción climática.* https://cdn.locomotive.works/sites/5ab410c8a2f42204838f797e/content_entry5ab410faa2f42204838f7990/5ad0b06574c4837def5d27e9/files/Climate_Action_Plan_Medellin.pdf?1618309681=&utm_source=chatgpt.com

Alvares et al. (2023). Beneficio productivo, económico-social y ambiental de la implementación de los techos verdes. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 17(1). pp. 1-11. https://www.redalyc.org/journal/1939/193974540001/html/

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2020). *Guía estándar para sistemas de techos vegetales (verdes).* https://store.astm.org/e2777-20.html?utm_source=chatgpt.com

Anónimo (2012). *Centro Cívico de la Universidad de los Andes obtuvo la Certificación LEED nivel Oro con altos estándares de sostenibilidad.* En-Obra. https://www.en-obra.com/es/noticias/centro-civico-asi-se-destaca-en-sostenibilidad

Ardila & Cano (2009). Cubiertas verdes: una alternativa ambiental para la ciudad. *Revista Universitas Científica.* Vol. 12. 123-126. https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/2257

Arias et al. (2019). *Evaluación del potencial energético, solar fotovoltaico de las cubiertas de los edificios de la sede principal de la universidad cooperativa de Colombia, sede Villavicencio.* [Trabajo de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/16f54ae6-3ad2-4a0a-a6b4-57c38ca64d86

ASTM (2019). Método de prueba estándar para la permeabilidad al agua saturada de medios de drenaje granulares [método de caída de presión] para sistemas de techos vegetales (verdes). https://store.astm.org/e2396_e2396m-19.html

Ballén (2021). *Analisis de ciclo de vida y energías renovables aplicado a vivienda colectiva en Colombia.* [Tesis Doctoral, Universidad Politècnica de Cataluña]. Repositorio Institucional. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/360917

Becerra (2022). *La versatilidad del concreto en el Centro Cívico Universitario de Los Andes.* AXXIS. https://revistaaxxis.com.co/arquitectura/centro-civico-los-andes-construccion-en-concreto/

Breuning & Yanders (2012). Introducción a las directrices de la FLL para la planificación, Construcción y mantenimiento de cubiertas verdes. *Academia.edu.* https://www.academia.edu/35855831/Introduction_to_the_FLL_Guidelines_for_the_Planning?utm_source=chatgpt.com

Bustos & Serrano (2021). *Techos verdes, una alternativa para el desarrollo sostenible de la universidad piloto de Colombia, sede Bogotá*. [Trabajo de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10292/Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=1

Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. (2022). Informe de sostenibilidad en el sector de la construcción en Colombia. Bogotá, Colombia. https://camacol.co/sites/default/files/descargables/INFORME%20GESTION%20CAMACOL%202021-2022_HD%20VF.pdf

Celsia (2017). *Celsia puso en operación el primer techo solar con beneficios de ley.* https://www.celsia.com/es/noticias/celsia-puso-en-operacion-el-primer-techo-solar-con-beneficios-de-ley/

Celsia (2022). *Se inaugura en el Valle del Cauca el primer proyecto de casas VIS con energía solar.* https://www.celsia.com/es/noticias/se-inaugura-en-el-valle-del-cauca-el-primer-proyecto-de-casas-vis-con-energia-solar/?utm_source=chatgpt.com

Concejo de Bogotá (2009). Acuerdo 418 del 22 de diciembre de 2009. Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38262

Congreso de la República de Colombia (2025). Ley 2476 de 2025. Por medio del cual se fortalece la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo en Colombia a través de ciudades y centros urbanos verdes, biodiversos y resilientes. Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=260796

Das, A. J., & Ali, M. (2025). Evaluación multiescala de paneles corrugados de plástico reciclado para la construcción sostenible. *Revista Buildings*, 15(14), 2423. https://doi.org/10.3390/buildings15142423

Datosmacro (2023). *Aumentan las emisiones de CO2 en Colombia.* https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia

Donthu et al. (2021). Cómo realizar un análisis bibliométrico: una visión general y pautas. *Revista de investigación empresarial.* Vol. 133, pp 285-296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Escobar et al. (2022). Evaluación de opciones de inversión en eficiencia energética y fuentes renovables de energía en hoteles de Santa Lucía, Camagüey. *Revista de Arquitectura e Ingeniería.* 16(1). https://www.redalyc.org/journal/1939/193970042005/

Fajardo & Fonseca (2023). *Ventajas del uso de termoplástico posconsumo en la construcción de cubiertas para viviendas en Colombia.* [Trabajo de pregrado, Universidad de Cartagena].

Repositorio Institucional. https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/c897cb3e-bfd1-4c8f-8b74-2891ea7332e9/content

Farouk et al. (2024). Impulso a la generación de electricidad asociada a los edificios de Arabia Saudita mediante el uso de PCM y células fotovoltaicas en paredes y techos, lo que conduce a un edificio sostenible. *Casos prácticos de ingeniería térmica.* Vol.64. https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105444

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. [FLL] (2018). Green Roof Guidelines, Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. *Scribd.* https://es.scribd.com/document/445896175/FLL-greenroofguidelines-2018-pdf?utm_source=chatgpt.com

Franco (2024). *Desarrollo Energético Renovable: Energía Solar como una Opción Sostenible para Hogares Rurales en Colombia.* [Trabajo de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/d6f0678c-8ade-4a2c-ae97-6dc2b2f1fbb4

García & Franco (2021). Beneficios de los techos verdes en la vivienda de interés social en Bogotá. *Revista Tecnológicas.* 24(2), 45–58. https://doi.org/10.22430/22565337.1801

Garrison & Horowitz (2012). Mirando hacia arriba: Cómo los techos verdes y los techos fríos pueden reducir el uso de energía, abordar el cambio climático y proteger los recursos hídricos en el sur de California. *NRDC REPORT.* *https://www.nrdc.org/sites/default/files/GreenRoofsReport.pdf?utm_source=chatgpt.com*

Geral (2021). Edificios verdes. Scribd. https://es.scribd.com/document/537421844/edificios-verdes

Giermak y Blok (2025). *¿Qué son el efecto isla y el efecto antiisla solar? Qué implica para la independencia energética.* Palmetto. https://palmetto.com/solar/what-is-solar-islanding-and-anti-islanding?utm_source=chatgpt.com

Guzmán (2018). *Análisis de la contribución a la sostenibilidad de diferentes diseños de cubierta*. [Trabajo de grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/24304

Hathout (2018). A Comprehensive PV Systems Installation Guide and Designing a Roof-Based PV System as a Demonstration System for Troubleshooting Errors in PV systems Installations. [Master Level Thesis, European Solar Engineering School]. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1232821/FULLTEXT01.pdf?utm_source=chatgpt.com

Hernández et al. (2020). Normatividad nacional e internacional sobre azoteas verdes. *Studocu. https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-metropolitana/azoteas-verdes/normatividad-nacional-e-internacional/5839488*

Idouanaou et al. (2025). El potencial de las estrategias de cubiertas verdes para reducir las emisiones de CO2 y el consumo de energía en los edificios de oficinas marroquíes. *Revista Tecnologías verdes y sostenibilidad.* 3(3). https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100177

Kindangen et al. (2025). Efecto del color del techo de zinc sobre la temperatura y el potencial de calentamiento global en edificios tropicales húmedos. *Revista Internacional de Ingeniería Civil*. 12(6). 240-250. https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V12I6P119

Leaf (2025). *10 ejemplos de Edificios con Paneles Solares Fotovoltaicos Integrados (BIPV)*. https://leaflatam.com/blog/edificios-paneles-solares-fotovoltaicos-integrados-bipv/

Lopez et al. (2019). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología en Marcha.* 33(3). pp 68-79. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4389

Lopez & Quispe (2018). Escenario de Desarrollo Energético Sostenible en Colombia 2017-2030. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería.* 15(1). 329 – 343. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6802203

Niclas (2014). *Introducción a los microinversores solares.* SINO VOLTAICS. https://sinovoltaics.com/solar-basics/an-introduction-to-solar-micro-inverters/?utm_source=chatgpt.com

Oberndorfer, (2007). Cubiertas verdes como ecosistemas urbanos: estructuras ecológicas, funciones y servicios. *Revista BioScience*, 57(10), 823–833. https://doi.org/10.1641/B571005

Otchere et al. (2023). Redefiniendo los sistemas de cubiertas verdes con trepadoras: simulación de un modelo conceptual para el rendimiento termorradiativo y la vitalidad de las plantas. *Revista Internacional de Patología y Adaptación de la Construcción*. 43(3). 528–547. https://doi.org/10.1108/IJBPA-05-2022-0083

ONU (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible*

Powers (2025). *Drenaje en cubiertas verdes: sistemas, diseño y materiales.* Polyguard. https://polyguard.com/blog/green-roof-drainage

Perez (2016). *Tecnología en fachadas como estrategia de diseño sostenible.* [Trabajo de grado, Universidad Politècnica de Madrid]. Repositorio Institucional. https://oa.upm.es/39282/1/TFG_Patricia_Dominguez_Perez_a.pdf

Pérez et al. (2014). Cubiertas verdes como sistemas pasivos para el ahorro de energía en edificaciones. *Revista Energy and Buildings*. Vol. 67. pp 598–605. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.055

Procuraduría General de la Nación (2024). *Colombia y la Transición Energética: Reflexiones y recomendaciones sobre una transición hecha a la medida de nuestro país.* https://www.procuraduria.gov.co/Documents/2024/Diciembre%202024/Colombia%20y%20la%20Transicio%CC%81n%20Energe%CC%81tica%20VF%20VF.pdf

Qadourah (2024). Evaluación de la eficiencia energética de cubiertas verdes como estrategia pasiva en el clima mediterráneo. *Results in Engineering.* Vol.23. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102519

Rivas (2015). *Beneficios, Funcionamiento y Cómo Construir un Techo Verde.* About Haus. https://about-haus.com/beneficios-construir-un-techo-verde/

Rodríguez (s.f.). Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda. *Ingeomecanica.* https://www.ingemecanica.com/tutoriales/instalacion-solar-fotovoltaica-para-vivienda.html

Salvia (2023). *Instalación y protección de techos verdes.* Waterproofmag. https://www.waterproofmag.com/2023/10/installing-and-protecting-green-roofs?utm_source=chatgpt.com

SEAC Sustainable Energy Action Committee (2023). *Actualizaciones de la norma ASCE 7 para sistemas solares fotovoltaicos.* https://sustainableenergyaction.org/resources/updates-asce-7-standard-solar-pv-systems/?utm_source=chatgpt.com

Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). Lineamientos técnicos para cubiertas verdes en Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá. https://ambientebogota.gov.co

Sika (2025). *Hoja de datos del producto Sikalastic – 612.* https://col.sika.com/es/construccion/sistemas-tecnicos-impermeabilizacion/cubiertas-transitables/poliuretano/sikalastic-612-co.html

The MCS Service Company Ltd (2025). *Solar PV: Installation Standard.* https://mcscertified.com/wp-content/uploads/2025/01/MIS-3002-2025-V1.0.pdf?utm_source=chatgpt.com

Unidad de Planeación Minero Energética (2024). *Proyección de la demanda de Energía eléctrica y Potencia máxima 2024 – 2038.* https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyeccion_demanda_energia_electrica_y_potencia_maxima_rev_jul2024.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. (2020). Potencial de generación solar fotovoltaica en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. https://www1.upme.gov.co

Uribe (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible.* [Trabajo de pregrado, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional. https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/a61d1dff-c146-4978-85ab-3f314fb47972/content

Zielinski et al. (2012). Techos verdes: Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta. *Revista Gestión y Ambiente.* 15(1), 91–104. https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30820

Zoheir (2022). Aplicación fotovoltaica arquitectónica. Vol.20. 1-226. https://www-scopus-com.sibdigital.ufpso.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85206296564&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Sustainable+roofs+as+an+energy+efficiency+and+renewable+energy+strategy%29&sessionSearchId=7b343636625046ea6847925e5fe9eb96&relpos=9