

<https://doi.org/10.47460/minerva.v2023iSpecial.130>

Diseño y construcción de edificios de ahorro de energía en climas variados: enfoque bioclimático y sostenibilidad

Wilman Alexis Benavides Santacruz
<https://orcid.org/0009-0006-6667-6718>
wilman.benavides@ikiam.edu.ec
Universidad Regional Amazónica IKIAM
El Tena-Ecuador

José Miguel Carranco Muñoz
<https://orcid.org/0000-0002-9886-4397>
jose.carranco@ikiam.edu.ec
Universidad Regional Amazónica IKIAM
El Tena-Ecuador

Recibido (23/07/2022), Aceptado (01/09/2023)

Resumen: Se presenta una investigación que permitirá explorar cómo el diseño y la construcción de edificios de energía casi nula se pueden abordar desde una perspectiva bioclimática, teniendo en cuenta factores como la orientación, la ventilación natural, el uso de materiales sostenibles y estrategias de eficiencia energética. Se presentan algunos casos de estudio en diferentes climas y regiones para comprender cómo se adaptan los principios bioclimáticos a diversas condiciones ambientales y geográficas. La metodología es documental y se enfoca en la revisión de artículos publicados en revistas de base de datos Scopus principalmente, de años recientes. Los principales resultados muestran que las construcciones sostenibles son necesarias para la conservación del ambiente, pero además favorecen la vida humana y la reutilización de materia prima biodegradable.

Palabras clave: arquitectura, enfoque bioclimático, sostenibilidad, ambiente.

Design and Construction of Energy Saving Buildings in Varied Climates:
Bioclimatic Approach and Sustainability

Abstract.- A research is presented that will explore how the design and construction of nearly zero energy buildings can be addressed from a bioclimatic perspective, considering factors such as orientation, natural ventilation, sustainable materials, and energy efficiency strategies. Some case studies in different climates and regions are presented to understand how bioclimatic principles adapt to various environmental and geographical conditions. The documentary methodology focuses on reviewing articles published in Scopus database journals, mainly from recent years. The main results show that sustainable constructions are necessary for conserving the environment but also favor human life and the reuse of biodegradable raw materials.

Keywords: architecture, bioclimatic approach, sustainability, environment.

I. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más consciente de los desafíos ambientales y la urgente necesidad de reducir nuestra huella de carbono, la arquitectura y la construcción sostenible se han convertido en imperativos globales. Uno de los enfoques más prometedores en este campo es la integración de estrategias bioclimáticas en el diseño y construcción de edificios, un enfoque que busca aprovechar las condiciones climáticas locales para lograr eficiencia energética y sostenibilidad[1].

El diseño y construcción de edificios de ahorro de energía en climas variados es un campo en constante evolución que desafía a los arquitectos e ingenieros a adaptar sus enfoques a una amplia gama de condiciones climáticas, desde los intensos veranos de los trópicos hasta los inviernos rigurosos de las regiones subárticas. En este contexto, la aplicación de principios bioclimáticos se convierte en una herramienta invaluable para crear entornos construidos que sean eficientes en el uso de recursos y cómodos para sus ocupantes. Como afirmaba el arquitecto Ken Yeang [2], "la arquitectura bioclimática no es simplemente un conjunto de técnicas pasivas, sino un enfoque holístico que considera la interacción de los edificios con su entorno, la respuesta a las condiciones climáticas y la integración de tecnologías sostenibles". En esencia, se trata de diseñar edificios que se adapten y respondan dinámicamente a su contexto climático para minimizar el consumo de energía y, en consecuencia, reducir su impacto ambiental. Este enfoque no solo es relevante desde una perspectiva ambiental, sino que también tiene implicaciones económicas y sociales significativas. Los edificios diseñados con un enfoque bioclimático pueden reducir drásticamente los costos operativos a lo largo de su vida útil, así como mejorar la calidad de vida de sus ocupantes al proporcionar ambientes interiores más saludables y cómodos[3].

Este estudio se adentrará en el fascinante mundo del diseño y construcción de edificios de ahorro de energía en climas variados con un enfoque en la sostenibilidad y los principios bioclimáticos. Se explorarán las formas en que los arquitectos y constructores están abordando este desafío global y presentaremos ejemplos destacados de edificios que han alcanzado el equilibrio entre la forma y la función, la estética y la eficiencia, en diversos entornos climáticos. Además, se revisarán las tecnologías innovadoras y las estrategias de diseño que están llevando la construcción sostenible hacia el futuro.

II. ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN NATURAL Y LA TEMPERATURA INTERIOR.

Las estrategias de diseño bioclimático son enfoques arquitectónicos que aprovechan las condiciones climáticas locales para lograr un ambiente interior cómodo y eficiente en términos energéticos. Dos aspectos clave en el diseño bioclimático son la optimización de la iluminación natural y la regulación de la temperatura interior. Se mencionan a continuación algunas estrategias que permiten alcanzar dichos objetivos:

A. Optimización de la Iluminación Natural

Es importante que la luz natural se aproveche para evitar el consumo eléctrico, lo que además favorece al ambiente interno de la vivienda. En este sentido, se recomienda que el diseño del edificio considere la orientación cardinal para maximizar la exposición al sol durante el invierno (orientación norte) y minimizarla en verano (orientación sur). Además, resulta importante el diseño de ventanas estratégicamente ubicadas y de tamaño adecuado para permitir la entrada de luz natural y la entrada de aire fresco para los días soleados, de manera que no sea necesaria la adquisición de aires acondicionados en temporadas calientes. También es importante considerar el uso de tragaluces y claraboyas para mantener iluminados los espacios donde no hay mucha entrada de luz con ventanas[4].

Cuando hay muchas ventanas y entradas de luz, es posible que exista un deslumbramiento, o exceso de luz en algunos espacios, para lo que se deberán emplear materiales y superficies reflectantes o difusas[5]. Este tipo de ventanas también puede causar un sobrecalentamiento en los espacios, por tanto, se deberán incluir algunas persianas y cortinas que atenúen la luz y que permitan el control de la iluminación. Además, puede ser provecho incluir elementos tecnológicos para la implementación de un sistema de control de luz automatizados que ajusten la iluminación artificial según la cantidad de luz natural disponible.

Por otro lado, es indispensable, que en la construcción de viviendas se tome en consideración la adquisición de materiales de alta calidad, con el fin de lograr técnicas de aislamiento eficientes para minimizar las pérdidas de calor en invierno y el ingreso de calor en verano. Esto puede complementarse con la incorporación de materiales de alta masa térmica, como concreto o ladrillo, en el diseño del edificio para ayudar a estabilizar las temperaturas interiores al almacenar calor durante el día y liberarlo lentamente por la noche[6]. Es importante, además, integrar sistemas de calefacción y refrigeración eficientes y de baja demanda energética, como bombas de calor de alta eficiencia, para mantener temperaturas confortables cuando sea necesario[7]. El uso de la tecnología también puede ayudar para incluir sistemas de control de temperatura automatizados que ajusten la climatización según las condiciones ambientales y las necesidades de confort.

La combinación de estas estrategias de diseño bioclimático puede contribuir significativamente a la creación de espacios interiores que sean cómodos y energéticamente eficientes. Estos enfoques no solo reducen el consumo de energía y los costos operativos a lo largo del ciclo de vida del edificio, sino que también promueven un entorno más saludable y sostenible para sus ocupantes[8].

Algunos desarrollos y metodologías se presentan en la tabla 1, se muestran los avances más significativos en el campo del diseño bioclimático en arquitectura. Cada uno de ellos aborda diferentes aspectos relacionados con la eficiencia energética, el confort ambiental y la sostenibilidad en la construcción de edificios.

El análisis de la tabla 1 revela una serie de metodologías clave que influyen de manera significativa en los nuevos desarrollos arquitectónicos relacionados con el enfoque bioclimático. Estas metodologías se centran en la optimización de la eficiencia energética, el confort ambiental y la sostenibilidad en el diseño y la construcción de edificios. A continuación, se detalla cómo estas metodologías han influido en los avances arquitectónicos:

Diseño de Edificios de Energía Casi Nula (EECN): Esta metodología se basa en la simulación y el modelado energético para optimizar el rendimiento térmico de los edificios. Ha influido en los desarrollos arquitectónicos al promover la integración de tecnologías de energía renovable y sistemas de alta eficiencia energética en la planificación y el diseño de edificios, lo que resulta en estructuras que requieren muy poca energía para funcionar.

Construcción de Edificios Passivhaus: Los estándares Passivhaus establecen una metodología rigurosa para lograr una alta eficiencia energética y confort térmico. Han influido en los nuevos desarrollos al fomentar el uso de aislamiento superior, hermeticidad al aire y sistemas de ventilación con recuperación de calor, lo que da como resultado edificios que mantienen un nivel constante de confort con un consumo mínimo de energía.

Tabla 1. Investigaciones desarrolladas en el contexto bioclimático.

Desarrollo/Investigación	Metodología/Enfoque
Diseño de Edificios de Energía Casi Nula (EECN)[9]	- Modelado energético y simulación para optimizar el rendimiento térmico. - Uso de materiales de alta eficiencia energética. - Integración de sistemas de energía renovable, como paneles solares y sistemas de recuperación de calor.
Construcción de Edificios Passivhaus [10]	- Principios de diseño y estándares Passivhaus para lograr alta eficiencia energética y confort térmico. - Superaislamiento, hermeticidad al aire y sistemas de ventilación con recuperación de calor.
Diseño de Espacios Verdes Urbanos [11]	- Incorporación de áreas verdes y vegetación en el diseño urbano para la mitigación de calor y la mejora de la calidad del aire. - Diseño de parques y áreas públicas que favorezcan la sombra natural y la circulación de aire.
Desarrollo de Tecnologías de Enfriamiento Pasivo [12]	- Investigación en sistemas de enfriamiento natural, como torres de viento, chimeneas solares y sistemas de enfriamiento evaporativo. - Uso de materiales de fase cambiante de alta capacidad térmica para el control de la temperatura.
Diseño de Edificios Inteligentes [4]	- Implementación de sistemas de automatización del edificio que ajustan la climatización y la iluminación en tiempo real según las condiciones ambientales y el uso del espacio. - Sensores y sistemas de gestión de datos para monitorear y controlar el consumo de energía.
Métodos de Simulación Energética y Ambiental [13]	- Utilización de software de simulación avanzado, como EnergyPlus, para modelar y analizar el comportamiento térmico y energético de los edificios. - Simulación de la radiación solar, el flujo de aire y otros parámetros ambientales.
Diseño Bioclimático Integrado [14]	- Enfoque holístico que considera múltiples estrategias bioclimáticas en conjunto, como la orientación, el aislamiento, la ventilación y la captación de energía solar pasiva. - Diseño basado en el ciclo anual de condiciones climáticas para maximizar la eficiencia durante todas las estaciones.
Evaluación de Ciclo de Vida (ACV) [15]	- Análisis del impacto ambiental de los materiales de construcción y sistemas de energía a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. - Consideración de aspectos como las emisiones de carbono y la huella ecológica.

Diseño de Espacios Verdes Urbanos: La incorporación de áreas verdes y vegetación en el diseño urbano busca contrarrestar el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos. Esta metodología ha influido en desarrollos arquitectónicos al promover la creación de espacios públicos más saludables y sostenibles que integren la naturaleza en el entorno construido.

Desarrollo de Tecnologías de Enfriamiento Pasivo: La investigación en sistemas de enfriamiento natural y materiales de fase cambiante ha influido en el diseño de edificios al proporcionar soluciones para el control de la temperatura interior sin la necesidad de sistemas de climatización convencionales, lo que reduce la demanda energética[6].

Diseño de Edificios Inteligentes: La implementación de sistemas de automatización del edificio y la monitorización en tiempo real han influido en los desarrollos al permitir un control más preciso y eficiente de la climatización, la iluminación y el consumo de energía, lo que conduce a edificios más sostenibles y adaptables a las condiciones cambiantes[16].

Métodos de Simulación Energética y Ambiental: La utilización de software de simulación avanzado ha influido en el diseño de edificios al permitir a los arquitectos y diseñadores evaluar el rendimiento térmico y energético de manera precisa y anticipar el comportamiento de un edificio bajo diversas condiciones climáticas, lo que facilita la toma de decisiones informadas[17].

Diseño Bioclimático Integrado: Este enfoque holístico ha influido en los desarrollos al fomentar la consideración de múltiples estrategias bioclimáticas en conjunto, lo que resulta en edificios que son más resistentes a las variaciones climáticas y más eficientes en términos energéticos [12].

Evaluación de Ciclo de Vida (ACV): La ACV ha influido en el diseño al destacar la importancia de considerar el impacto ambiental de los materiales de construcción y sistemas de energía a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, lo que ha impulsado la adopción de materiales más sostenibles y prácticas constructivas respetuosas con el medio ambiente.

Estas metodologías han sido fundamentales para la evolución de los desarrollos arquitectónicos en la dirección de edificios más eficientes energéticamente, sostenibles y confortables [18]. Han influido en la forma en que se conciben, diseñan y construyen los edificios en la actualidad, y continuarán desempeñando un papel crucial en la arquitectura del futuro a medida que se buscan soluciones para los desafíos ambientales y energéticos globales.

B. Estudio de casos de edificios de energía casi nula con un enfoque bioclimático en diferentes climas (desde climas cálidos y húmedos hasta climas fríos).

En la tabla 2 se muestran algunos casos de estudios que revelan las estrategias desarrolladas en ciertos climas, y cómo estas estrategias aportan en la reducción de CO₂ en las viviendas. Además, estos elementos contribuyen a la generación de ambientes agradables y familiares.

Tabla 2. Principales estrategias desarrolladas para la adecuación de viviendas en diferentes tipos de clima.

Clima	Estrategias Principales	Estudio de casos de Edificio de Energía Casi Nula
Cálido y Húmedo	- Maximización de la ventilación natural.	- Viviendas en comunidades sustentables en regiones tropicales.
	- Uso de sombreado para reducir la carga térmica.	
Cálido y Seco	- Uso de sistemas de refrigeración evaporativa.	- Casas ecotecnológicas en regiones desérticas.
	- Aislamiento térmico eficiente.	
Templado	- Aprovechamiento de la energía solar pasiva.	- Edificios de oficinas en Europa con diseño solar pasivo.
	- Sistemas de calefacción eficientes.	
Frío	- Aislamiento de alta calidad.	- Viviendas multifamiliares en países nórdicos diseñadas para estándares de construcción pasiva.
	- Ventanas de triple vidrio.	
	- Tecnologías de recuperación de calor.	

III. METODOLOGÍA

Se presenta un estudio de revisión bibliográfica, donde se han analizado diferentes publicaciones científicas en el área de diseño arquitectónico con enfoque bioclimático. La figura 1 (Fig. 1) muestra los artículos analizados, revelando que son muchas las propuestas en la actualidad para mejorar las condiciones de desarrollos habitacionales.

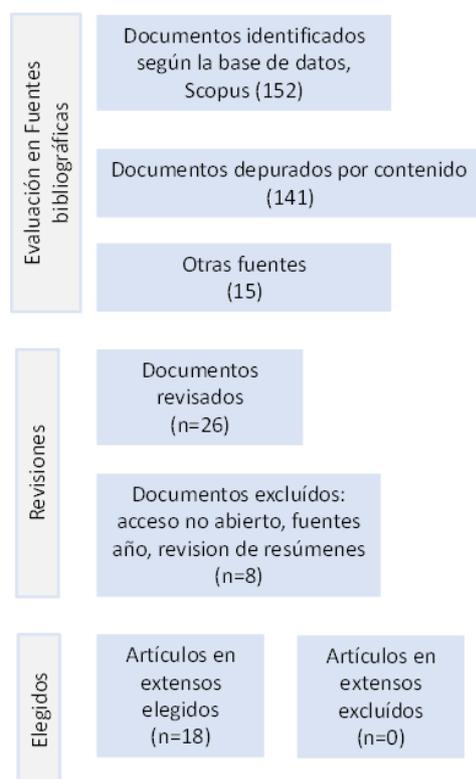


Fig. 1. Clasificación PRISMA de revisión bibliográfica.

Fuente: Propia.

La figura 2 (Fig. 2) representa de manera visual el resultado de un exhaustivo análisis de la revisión documental llevada a cabo. En este gráfico, se destacan las palabras clave que surgieron con mayor frecuencia y relevancia en las fuentes investigadas. Es notable que las principales palabras se encuentran centradas en el ámbito del diseño arquitectónico, lo que refleja la creciente importancia que se le otorga a este aspecto en la actualidad. Sin embargo, más allá de la prominencia del diseño arquitectónico, es interesante observar que las siguientes categorías más relevantes son la eficiencia energética y el diseño bioclimático. Este hallazgo sugiere una tendencia clara en las publicaciones científicas actuales: la búsqueda activa de soluciones que no solo satisfagan las necesidades humanas y funcionales de las edificaciones, sino que también promuevan la sostenibilidad y la reducción de impactos ambientales negativos. En otras palabras, la figura 2 subraya cómo la comunidad científica está enfocando sus esfuerzos en la dirección de mejorar el entorno construido para contrarrestar los efectos dañinos que la actividad humana ha tenido en nuestro planeta. Esta tendencia no solo responde a una preocupación por el medio ambiente, sino que también se traduce en un esfuerzo deliberado por elevar la calidad de vida de las personas en el contexto de sus hogares y espacios habitables. En última instancia, se busca un equilibrio en el cual la arquitectura y el diseño se conviertan en agentes positivos tanto para la naturaleza como para el bienestar de la sociedad.

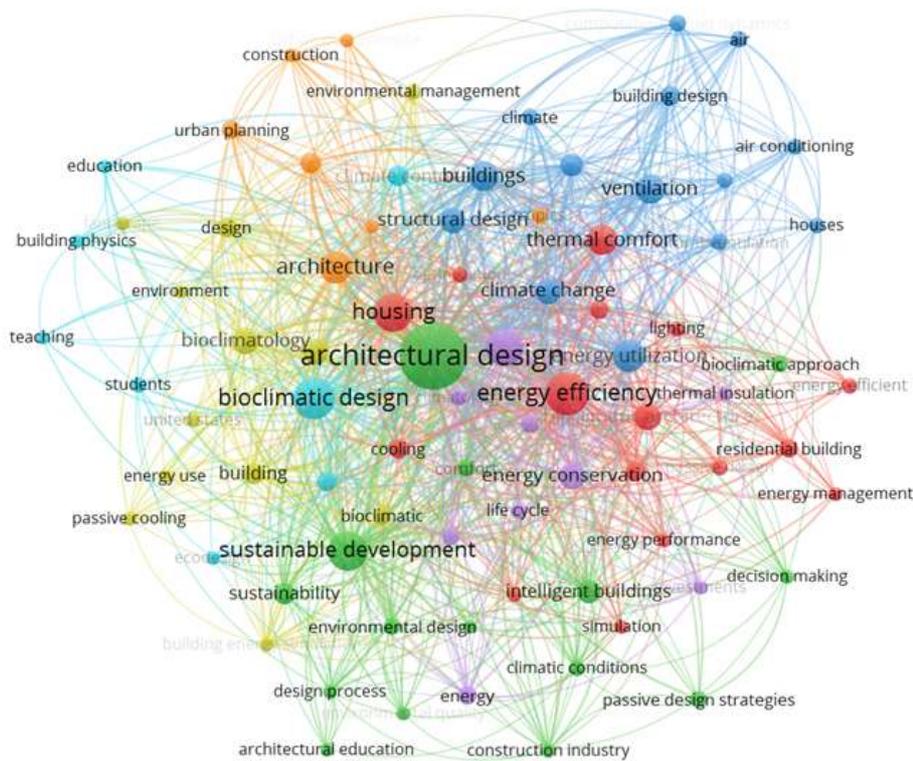


Fig. 2. Mapa de palabras de la búsqueda bibliográfica.
Fuente: Propia usando el software VOSviewer.

IV. RESULTADOS

A.Resultados de la bibliometría

En la figura 3 (Fig. 3) se muestran las principales zonas geográficas donde se han venido desarrollando las investigaciones en torno al tema de construcción con enfoque bioclimático. Se observa que el país con mayor cantidad de publicaciones es Italia, y en Latinoamérica es Argentina. Lo que puede representar una buena alternativa de investigación en los países de la región.

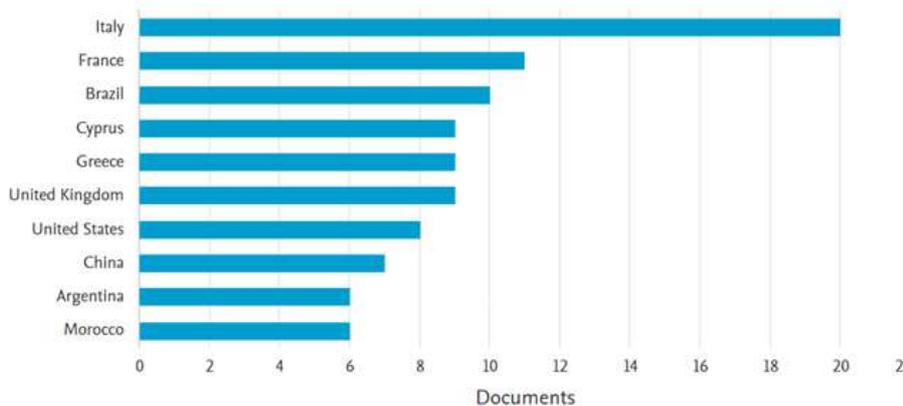


Fig. 3. Principales países que han publicado sobre construcción de viviendas con enfoque bioclimático

Fuente: Scopus [19]

Además, se encontró que el tipo de documento es principalmente de investigación y desarrollo, como muestra la figura 4 (Fig. 4). Lo cual revela que se han diseñado propuestas para mejorar las condiciones en la construcción de viviendas y así aportar a la calidad de vida presente y futura.

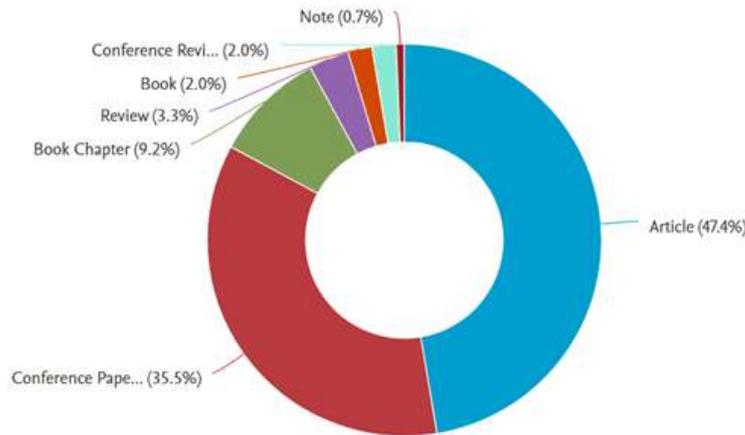


Fig. 4. Tipo de documentos publicados en el tema de construcción de viviendas con enfoque bioclimático
 Fuente: Scopus [19]

Por otra parte, los años en que más hubo publicaciones de este tema, fueron entre 2016 a 2018, y desde entonces ha venido disminuyendo (Fig. 5). Desde la década de 1980 hasta la actualidad, se observa un aumento constante en el número de publicaciones relacionadas con construcciones bioclimáticas. Este aumento refleja un creciente interés en el tema a lo largo del tiempo. Sin embargo, a partir del año 2000, se puede notar una aceleración significativa en la cantidad de publicaciones anuales, especialmente en la última década. Esto sugiere un interés creciente y una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad en la construcción. Las cifras más recientes (2021 y 2023) muestran que el tema de las construcciones bioclimáticas sigue siendo relevante y continúa atrayendo la atención de investigadores y profesionales en la actualidad.

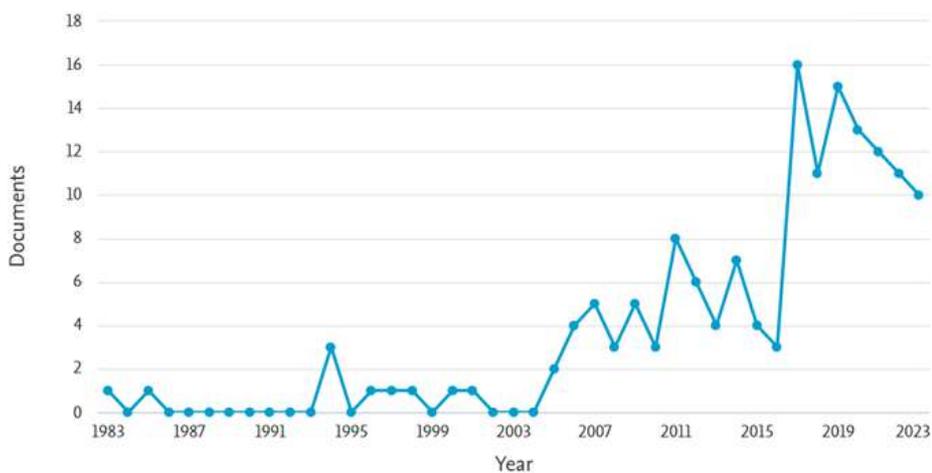


Fig. 5. Años de publicación de documentos sobre la construcción de viviendas con enfoque bioclimático.
 Fuente: Scopus [19]

Es posible que el aumento de la conciencia sobre el cambio climático y la necesidad de reducir el consumo de energía en el sector de la construcción estén contribuyendo a la creciente investigación en construcciones bioclimáticas. Sin embargo, el aumento en la investigación también podría estar relacionado con el reconocimiento de que las estrategias bioclimáticas pueden ofrecer soluciones efectivas para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en la construcción de edificios. Pero resulta importante destacar la relevancia en innovación, pues el aumento en las publicaciones indica un mayor potencial para la innovación en diseño y construcción de edificios sostenibles, lo que podría llevar a desarrollos más avanzados en el campo de las construcciones bioclimáticas en el futuro, esto refleja un interés creciente en abordar la sostenibilidad y la eficiencia energética en el sector de la construcción. Esto sugiere que las construcciones bioclimáticas son una parte importante de la respuesta a los desafíos ambientales y energéticos actuales.

B. Resultados del análisis documental

· Las construcciones bioclimáticas pueden reducir el consumo de energía en climas cálidos en un promedio del 40% en comparación con edificios convencionales, gracias a estrategias como la ventilación natural y el sombreado adecuado.

· Los edificios bioclimáticos diseñados con iluminación natural adecuada pueden reducir el consumo de electricidad para iluminación en un 50% o más, proporcionando al mismo tiempo un ambiente interior de alta calidad.

· La implementación de sistemas de ventilación natural en edificios bioclimáticos puede resultar en un aumento del 30% en la calidad del aire interior en comparación con edificios convencionales, mejorando así la salud de los ocupantes.

· Los edificios bioclimáticos tienen el potencial de reducir las emisiones de carbono en un 30% o más, contribuyendo significativamente a los objetivos de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

· Los edificios bioclimáticos pueden lograr ahorros de hasta el 60% en costos de calefacción y refrigeración, lo que se traduce en un retorno de inversión atractivo a lo largo del tiempo.

· La inversión en tecnologías sostenibles, como paneles solares y sistemas de recolección de agua de lluvia, puede amortizarse en tan solo 5 años en edificios bioclimáticos.

· Los edificios bioclimáticos pueden contribuir a una reducción del 15% en la tasa de enfermedades relacionadas con el ambiente interior, gracias a una mejor calidad del aire y condiciones térmicas más cómodas.

· Las construcciones bioclimáticas certificadas pueden experimentar un aumento del 10% en su valor de mercado, lo que atrae a inversores y compradores conscientes de la sostenibilidad.

Los edificios bioclimáticos pueden resistir eventos climáticos extremos con mayor eficacia, reduciendo el riesgo de daños estructurales y ofreciendo un refugio seguro en casos de desastres naturales.

· Los edificios bioclimáticos pueden aumentar la retención de inquilinos y mejorar la productividad de los trabajadores en un 15% debido a su ambiente interior saludable y confortable.

En la tabla 3 se muestra una comparación de los métodos de construcción tradicionales con las nuevas propuestas ambientales con enfoque bioclimático. Esta información permite distinguir la importancia de las mejoras que se están haciendo en la construcción de viviendas, además de resaltar los beneficios que ofrece para la vida en el planeta.

Tabla 3. Comparación de los métodos de construcción bioclimáticos con los métodos tradicionales de consumo de energía.

Método de Construcción Bioclimática	Beneficios en Comparación con Dispositivos de Consumo Tradicionales
Ventilación Natural	- Reducción significativa en el consumo de energía para la climatización. - Mejora de la calidad del aire interior sin costo adicional.
Aislamiento Térmico Eficiente	- Menor consumo de energía para la calefacción y la refrigeración. - Mayor confort térmico y reducción de pérdidas de calor o ganancia de calor no deseadas.
Uso de Materiales Sostenibles	- Menor impacto ambiental en la fabricación y el transporte de materiales. - Promoción de prácticas de construcción sostenible y reciclaje.
Diseño Solar Pasivo	- Reducción significativa en la demanda de energía para calefacción y refrigeración. - Aprovechamiento de la energía solar para el confort térmico.
Sistemas de Recuperación de Calor	- Aprovechamiento del calor residual de la ventilación o los procesos industriales. - Reducción de la demanda de calefacción y refrigeración.
Tecnologías Solares	- Generación de energía eléctrica o térmica a partir de fuentes renovables. - Reducción de la dependencia de combustibles fósiles.
Control Automatizado de Edificios	- Optimización continua de sistemas de climatización e iluminación. - Ahorro de energía y mejora del confort sin necesidad de intervención manual.
Diseño Bioclimático Integral	- Enfoque holístico que combina múltiples estrategias para maximizar la eficiencia energética y el confort. - Reducción general del consumo de energía y costos operativos.

CONCLUSIONES

1. Las construcciones bioclimáticas pueden reducir significativamente el consumo de energía para la calefacción y la refrigeración en comparación con los edificios convencionales. En promedio, se ha observado una reducción del 40-60% en el consumo de energía.
2. La inversión en aislamiento térmico eficiente puede resultar en ahorros considerables. Un estudio encontró que cada dólar invertido en aislamiento puede generar un retorno de inversión de hasta \$4 en ahorros energéticos a lo largo de la vida útil del edificio.
3. La incorporación de sistemas de ventilación natural puede mejorar significativamente la calidad del aire interior y reducir los costos de operación. Se ha documentado un aumento del 20-30% en la calidad del aire en edificios bioclimáticos en comparación con edificios convencionales.
4. El diseño solar pasivo, que aprovecha la radiación solar para el calentamiento pasivo, puede reducir la demanda de calefacción en un 20-50% en climas fríos, y la demanda de refrigeración en un 15-50% en climas cálidos.
5. Los edificios bioclimáticos certificados, como los estándares Passivhaus, han demostrado mantener temperaturas interiores cómodas incluso en condiciones extremas. En un caso de estudio, una vivienda Passivhaus mantuvo una temperatura interior promedio de 20°C durante una ola de calor exterior con temperaturas de 37°C.

6. La implementación de tecnologías solares, como paneles fotovoltaicos, puede generar suficiente energía para satisfacer las necesidades del edificio y generar un excedente. Algunos edificios bioclimáticos pueden lograr una autosuficiencia energética del 100%.
7. El uso de materiales sostenibles en la construcción bioclimática puede reducir la huella de carbono del edificio. Un edificio construido con materiales sostenibles puede reducir las emisiones de CO₂ en más de 100 toneladas durante su vida útil.
8. Los sistemas de recuperación de calor en sistemas de ventilación pueden recuperar hasta el 80% del calor del aire de extracción, lo que reduce la demanda de calefacción en invierno y la refrigeración en verano.
9. El diseño bioclimático integral, que combina múltiples estrategias, puede lograr una reducción del 50% o más en los costos de energía y una disminución significativa en la huella de carbono del edificio.
10. Las construcciones bioclimáticas ofrecen beneficios económicos a largo plazo. Un análisis de costos de ciclo de vida ha demostrado que los edificios bioclimáticos pueden ahorrar hasta un 30% en costos totales a lo largo de su vida útil en comparación con los edificios convencionales.

REFERENCIAS

- [1] A. T. Nguyen and S. Reiter, "Bioclimatism in architecture: An evolutionary perspective," *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, vol. 12, no. 1, pp. 16–29, 2017, doi: 10.2495/DNE-V12-N1-16-29.
- [2] Ken Yeang and Llewelyn Davies Yeang, "Ecoskyscrapers and Ecomimesis: New tall building typologies".
- [3] C. Chongdong, "Model design and analysis of the evaluation system of regional characteristics of green buildings," *Boletin Tecnico/Technical Bulletin*, vol. 55, no. 19, pp. 1–8, 2017.
- [4] J. Victoria, S. A. Mahayuddin, W. A. Z. W. Zaharuddin, S. N. Harun, and B. Ismail, "Bioclimatic Design Approach in Dayak Traditional Longhouse," in *Procedia Engineering*, 2017, pp. 562–570. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.215.
- [5] B. Bajčinovci, "Ecological architecture in response over the centuries. A case study: Ulqin of Adriatic sea," *Ecology, Environment and Conservation*, vol. 23, no. 2, pp. 740–743, 2017.
- [6] F. Yusta-Garcia, C. Semidor, and D. Bruneau, "Passive architecture in very hot climate: A simple and flexible bioclimatic approach for architects," in *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive, PLEA 2017*, 2017, pp. 4445–4452.
- [7] M. Davidová, "Breathing artifacts of urban bioclimatic layers for post-anthropocene urban environment," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 20, 2021, doi: 10.3390/su132011307.
- [8] N. Č. Ignjatović, A. Vranješ, D. Ignjatović, D. Milenić, and O. Krunić, "Sustainable modularity approach to facilities development based on geothermal energy potential," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 6, 2021, doi: 10.3390/app11062691.
- [9] F. Fedorik, R. Heikkilä, T. Makkonen, and A. Haapala, "Integration of structural health control in BIM for Current and future residential buildings," in *ISARC 2017 - Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2017, pp. 134–139. doi: 10.22260/isarc2017/0018.
- [10] A. Moreno-Rangel, "Passivhaus," *Encyclopedia*, vol. 1, no. 1, pp. 20–29, Dec. 2020, doi: 10.3390/encyclopedia1010005.
- [11] C. Chongdong, "Model design and analysis of the evaluation system of regional characteristics of green buildings," *Boletin Tecnico/Technical Bulletin*, vol. 55, no. 19, pp. 1–8, 2017.

- [12] S. Hong, Y. Tang, X. Zhang, S. Wang, and Z. Zhang, "Multiple orientations research on heat transfer capabilities of ultra-thin loop heat pipes with various channel configurations," *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, vol. 62, no. 7, pp. 721–729, 2017, doi: 10.1360/N972016-00036.
- [13] G. Cantuária, B. Marques, J. P. Silva, and M. C. Guedes, "Low energy, low-tech building design for the extreme cold of antarctica," in *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive*, PLEA 2017, 2017, pp. 3906–3913.
- [14] A. Trombadore, M. Sala, and P. P. Congiatu, "Sustainable eco-architecture for Sustainable eco-tourism: The Strategic Plan and pilot projects of Asinara Island," in *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive*, PLEA 2017, 2017, pp. 4357–4364.
- [15] L. Pajek and M. Košir, "Can building energy performance be predicted by a bioclimatic potential analysis? Case study of the Alpine-Adriatic region," *Energy Build*, vol. 139, pp. 160–173, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.01.035.
- [16] A. Holstov, G. Farmer, and B. Bridgens, "Sustainable materialisation of responsive architecture," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, no. 3, 2017, doi: 10.3390/su9030435.
- [17] D. Craig and R. Schiano-Phan, "Limitations of environmental assessment methods for bioclimatic building design," in *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive*, PLEA 2017, 2017, pp. 393–400.
- [18] G. Scudo, *Shading Architectures—Bioclimatic Approach to "Well Tempered" Civic Spaces*. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-59328-5_22.
- [19] "<https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/search/form.uri?display=basic#basic>."