

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías.

Diseño y construcción sostenible: Hacia edificaciones de cero emisiones netas de carbono.

Byron Enmanuel Guamán Guamán.

Ingeniería Civil.

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de ingeniero civil.

Quito, 12 de diciembre de 2024.

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencia e Ingenierías.

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Diseño y construcción sostenible: Hacia edificaciones con cero emisiones
netas de carbono.**

Byron Enmanuel Guamán Guamán.

Nombre del profesor, Título académico

Miguel Andrés Guerra, PhD.

Quito, 12 de diciembre de 2024.

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Byron Enmanuel Guamán Guamán.

Código: 00124868

Cédula de identidad: 0302744131

Lugar y fecha: Quito, 12 de diciembre de 2024.

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El sector de la construcción tiene un impacto ambiental significativo siendo responsable de un gran porcentaje de las emisiones de carbono globales. En el presente trabajo se estudian estrategias de diseño y construcción sostenible que minimicen el impacto ambiental logrando construir edificaciones con cero emisiones netas de carbono. Se analizan nuevas tecnologías, materiales, diseños y métodos de construcción que mejoren la eficiencia en los consumos energéticos, hídricos y de materiales proponiendo soluciones para mitigar el impacto ambiental de los métodos constructivos convencionales; generando conciencia sobre sostenibilidad entre los principales actores de la industria de la construcción.

Palabras clave: Sostenibilidad, impacto ambiental, eficiencia, edificios ecológicos, energía incorporada, EDGE.

ABSTRACT

The construction sector has a significant environmental impact, being responsible for a large percentage of global carbon emissions. This paper studies sustainable design and construction strategies that minimize environmental impact by achieving zero net carbon emissions buildings. New technologies, materials, designs and construction methods are analyzed that improve efficiency in energy, water and material consumption, proposing solutions to mitigate the environmental impact of conventional construction methods, raising awareness about sustainability among the main actors in the construction industry.

Keywords: Sustainability, environmental impact, efficiency, green buildings, embodied energy, EDGE.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	8
Desarrollo del Tema.....	9
Clima y ubicación.	10
Calefacción y refrigeración.....	12
Iluminación y energía fotovoltaica.	13
Eficiencia hídrica y en el uso de materiales.	16
Edificios ecológicos.	20
Conclusiones	23
Referencias bibliográficas.....	25

INTRODUCCIÓN

La población mundial esta en un constante crecimiento, cada vez son más las personas que migran a las ciudades lo cual ha generado un aumento de la urbanización lo que representa un mayor aumento en la demanda de edificaciones. El sector de la construcción tiene un desafío muy importante al buscar y aplicar estrategias de diseño y construcción que minimicen el impacto ambiental para liderar la transición hacia un futuro más sostenible.

La ingeniería civil es un actor fundamental de la construcción por ello es crucial que forme parte del desarrollo sostenible pues los métodos de construcción convencionales como en Ecuador tienen alto consumo energético y de recursos sumado a ello la generación de residuos contribuyendo directamente a la problemática ambiental global.

Implementar técnicas de desarrollo sostenible en Ecuador a través de la ingeniería civil permitirá transformar la industria de la construcción en todos los estratos sociales pues Ecuador al ser signatario de acuerdos internacionales como el Acuerdo de Paris esta comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

La construcción sostenible hace referencia al diseño, construcción y operación de edificaciones que minimicen sus requerimientos energéticos, hídricos y de materiales con el objetivo de reducir su impacto ambiental, así lograr edificaciones con cero emisiones netas de carbono siendo un edificio en la que sus emisiones de carbono se compensan con los ahorros generados.

En las siguientes secciones se profundizan los conceptos de diseño y construcción sostenible en la cual se analizan fundamentos del clima, ubicación, tecnologías y materiales para lograr el desarrollo sostenible con estrategias para minimizar el impacto ambiental en la construcción.

De igual forma, la importancia de la concienciación de todos los entes de la construcción incentivando a ser parte practicas sostenibles en la industria de la construcción ecuatoriana.

DESARROLLO DEL TEMA

La creciente demanda de edificaciones debido al aumento de la urbanización contribuye significativamente al impacto ambiental según la ONU (2018) “se prevé que el 68% de la población mundial viva en zonas urbanas para el 2050” debido a ello el sector de la construcción se duplicará sobre todo en los mercados emergentes como China, India, Brasil y México. La construcción de las edificaciones genera el 39% de la huella mundial de gases de efecto invernadero (GEI), De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente los edificios utilizan alrededor del 40% de la energía mundial, el 25% del agua dulce mundial, el 40% de los recursos mundiales y emiten aproximadamente 1/3 de las emisiones de GEI si bien la industria de la construcción es esencial para el desarrollo de las sociedades también es parte del impacto ambiental.

Las edificaciones convencionales, aquellas que requieren un gran consumo energético, destinados a residencias, servicios de salud, fábricas y oficinas cumplen con los códigos de construcción locales pero el proceso constructivo puede ser muy ineficiente, malgastando recursos e incrementando la producción de gases de efecto invernadero por ello la importancia de considerar el impacto ambiental de construcción desde la fase de diseño como afirma Dordá “la selección de materiales y soluciones constructivas debe ser realizada con rigor científico, utilizando herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida” (2014, p.27).

La sostenibilidad busca un equilibrio entre la capacidad del planeta de generar recursos y la demanda de la humanidad de estos recursos a través de un uso responsable de ellos, con el fin de reducir los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de las personas tanto en el presente como en el futuro. En el sector de la construcción la sostenibilidad se define como

aquella que puede operar sin el uso desmedido de recursos como materiales de construcción o la conservación de energía eléctrica y de agua, a su vez que mejora la

calidad de vida y armoniza con el medioambiente durante el tiempo de vida útil de la edificación. (Aguirre y Santos, 2021, p.4)

que busca minimizar el impacto ambiental integrando factores externos y principios de diseño, construcción y operación que reduzcan los consumos energéticos y de materiales en un 20% y 80%, ahorros que contribuyen no solamente a la sostenibilidad, sino que también genera beneficios económicos directos y a largo plazo.

El diseño de un edificio ecológico o sostenible toma en cuenta varios factores externos, como clima, ubicación, trayecto del sol para crear espacios que aprovechen todos estos factores se define la forma, la orientación y la profundidad del edificio. La implementación de sistemas naturales y activos para crear confort en los espacios interiores y sobre todo la eficiencia en el uso de recursos hídricos y materiales de construcción.

Clima y ubicación.

El clima y la ubicación geográfica juegan un papel en el diseño de edificios sostenibles pues estos son las condiciones a las que se debe adaptar la edificación para lograr el mejor rendimiento y minimizar el impacto ambiental. El clima influye en las estrategias de diseño pasivo para aprovechar las condiciones naturales por ejemplo en climas cálidos un factor importante es la orientación del edificio y la trayectoria del sol para minimizar ganancias de calor solar y maximizar la ventilación natural por otro lado en climas fríos se debe priorizar la captación solar y el aislamiento térmico. En Ecuador se ha priorizado la eficiencia en el diseño de viviendas emergentes, viviendas destinadas para atender a personas que se encuentren en una situación de emergencia como accidentes o desastres naturales, sobre todo en la región andina como se indica en el trabajo de Torres y Quezada (2023) “la preocupación por asegurar la habitabilidad de viviendas emergentes en términos de confort térmico ha sido abordada en varios estudios alrededor del mundo” (p.44) destacando la importancia de considerar el clima

y la ubicación en el diseño de viviendas en la región andina del Ecuador. Torres y Quezada implementan estrategias pasivas como la captación solar y la masa térmica para generar confort térmico enfatizando en el uso de materiales locales.

El calor en una edificación debe estar gestionado por factores como:

1. Radiación: efecto del calor solar, el clima y el área de construcción en piso y superficie de la edificación.
2. Forma y orientación: como el plano de construcción y el trayecto del sol.
3. Relación ventana pared. Una relación entre el área de acristalamiento y el área de pared, definido un valor permite un equilibrio entre la iluminación, ventilación, calefacción y refrigeración.
4. El aislamiento: a través del valor U que indica la cantidad de calor que atraviesa un material o elemento constructivo por unidad de área, tiempo y diferencia de temperatura mientras menor sea este valor más eficiente será el aislamiento. Aguirre afirma que “un buen aislamiento térmico reduce el consumo de energía en aires acondicionados, lo que mejora el confort térmico en espacios interiores” (2021, p.10).
5. Dispositivos de sombreado: evitan el deslumbramiento a través de sombras y se ubican en función del trayecto del sol.
6. Reflectividad de la superficie: a través del albedo que es el porcentaje de radiación solar que una superficie refleja en comparación con la cantidad total de radiación que recibe. Refiriendo a la capacidad de una superficie para reflejar la radiación solar.

Todos estos factores que depende del clima y la ubicación de la edificación, desde el inicio de la civilización se han estudiado dando vida a un estilo de arquitectura denominado vernácula directamente relacionada con la sostenibilidad citando a Sánchez “la sostenibilidad arquitectónica tiene un patrimonio incalculable en las estrategias medioambientales

(aprovechamiento del medio, el lugar, el clima, los materiales y las circunstancias de muy diversa índole) que durante siglos desarrollaron las arquitecturas vernáculas” (2007, p.407) siendo así que este estilo de arquitectura soluciona las necesidades locales de cada región uno de los ejemplos más significativos alrededor del mundo es la ciudad de Yemen.

Calefacción y refrigeración.

La temperatura del ambiente exterior según la ubicación puede estar fuera del rango de confort térmico que es entre 18°C y 22°C esto puede variar pues un factor como la edad puede influir, por esto incluir sistemas naturales o activos para lograr el confort térmico se vuelve inevitable, se debe diseñar los espacios que aprovechen cada uno de los sistemas con su máxima eficiencia. Incluir sistemas naturales que aprovecha las condiciones climáticas y los recursos naturales para mantener la temperatura confortable como sistemas de ventilación cruzada o efecto de chimenea sistemas que permiten refrigerar los espacios para lograr calefacción los sistemas como dispositivos solares pasivos requerirán un nulo consumo energético

- Sistemas de efecto de chimenea: aprovechan la diferencia de presión y temperatura para generar corrientes de aire que refrigeran los espacios.
- Sistemas de ventilación cruzada: definiendo una construcción en específico se permite la circulación del aire a través del edificio.
- Solar pasivo: almacena y distribuye el calor solar a través del diseño del edificio.

Los sistemas activos requieren consumos energéticos pues los dispositivos usan una combinación de aire, agua, refrigerante o combustible para refrigerar o calentar los espacios por ello minimizar la pérdida de energía por medio un aislamiento total de techos paredes, pisos y ventanas es esencial para lograr que los sistemas sean más eficientes, Aguirre afirma que un buen aislamiento térmico reduce el consumo de energía en aire acondicionado lo que

mejora el confort térmico en los espacios interiores (2021). Algunos ejemplos de sistemas activos son

- Bombas de calor: usado para proporcionar calefacción o refrigeración aprovechando los factores externos.
- Aire acondicionado: combinan aire, agua y un refrigerante para enfriar los espacios, requieren un gran consumo energético.

Los consumos energéticos varían en función del tipo del edificio, no se pueden comparar los requerimientos de una residencia, un edificio de salud o una fábrica. Edificaciones que tienen instalaciones de maquinarias para su funcionamiento generan calor residual es por ello que el diseño debe lograr que esas ganancias de energía no interfieran en el confort térmico de la edificación, pues requerirá sistemas de refrigeración más potentes si esta ubicado en un lugar cálido o aprovechar esa energía con dispositivos de calor residual que usan el calor como combustible para su funcionamiento.

Iluminación y energía fotovoltaica.

Una edificación que reciba luz solar tiene un impacto significativo en el rendimiento humano a nivel físico como mental además de que su uso reduce los requerimientos energéticos de iluminación de la edificación. El estado de ánimo y la salud mental se reflejan en la productividad y el enfoque en entornos laborales y escolares por esto la iluminación es un aspecto crucial en el diseño de edificios sostenibles, ya que tiene un impacto directo en el consumo energético y en el confort de los ocupantes.

El uso de la luz solar es la forma más eficiente de iluminación, de acuerdo con Vásquez y Molina (2018)

en lo concerniente a la iluminación natural de los espacios interiores en la arquitectura, Villalba Pattini y Córlica (2012) destacan su relevancia por tres razones:

i) ahorros energéticos, reducción del consumo de energías no renovables y contaminantes, y por ende, disminución de la producción de gases de efecto invernadero; ii) activación del ritmo circadiano, lo que es un efecto no-visual de iluminación natural que beneficia la salud humana; y iii) confort y optimización visual, que con iluminación artificial es imposible lograr (p.52)

además de todas las ventajas que ofrece en el comportamiento humano, al aprovechar la luz solar reduce la necesidad de dispositivos de luz artificial y por ende del consumo energético.

Factores como la forma y dirección del edificio influyen en la iluminación natural.

Un edificio en el hemisferio sur las fachadas de las edificaciones orientadas al norte reciben mayor cantidad de luz solar durante el día debido al trayecto del sol. Una forma que permita que en los espacios interiores la instalación de claraboyas o tragaluces maximiza la penetración de la luz natural. Un edificio con dimensiones de hasta 6 m de profundidad aprovecha la luz natural pues existe una mejor distribución si los espacios son mayores es necesario dispositivos que permitan la redirección de la luz natural. Las ventanas y el acristalamiento de los vidrios son factores que influyen no solamente en la fachada de la edificación sino también en la iluminación natural y las ganancias de energía solar que se puedan generar en el edificio, la ubicación de una ventana con una dimensión en función de la relación ventana pared en las partes superiores de cada piso mejora la distribución de la luz solar mientras que el valor del acristalamiento estará en función de las necesidades térmicas sean de calefacción o refrigeración. Se debe considerar que el uso de los espacios a los que están destinados influye en la iluminación requerida pues los requerimientos varían como ejemplo un aula de clases diferirá de una oficina.

En el mercado existen una gran gama de dispositivos para la iluminación artificial, pero usar los dispositivos más eficientes representara un consumo energético menor como el uso de las luces LED siendo altamente eficientes y con una vida útil más larga que los dispositivos tradicionales. En el diseño sostenible debe integrarse la luz natural con sistemas de iluminación artificial y sistemas de control automático y zonificar áreas de la edificación esto permite regular el uso de la luz artificial en función de la cantidad de luz natural disponible o apagar los dispositivos cuando no se necesiten.

La energía solar además de iluminar los espacios también puede generar energía eléctrica con el uso de paneles solares que convierten la radiación solar en energía eléctrica proporcionando una fuente de energía limpia y renovable que reduce significativamente la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂. Al implementarse en la fase inicial de la edificación logra construcciones con cero emisiones netas de carbono además de lograr un estética y diseño innovador. Como señala Arguello et al. (2022)

Las cero emisiones netas de carbono en la edificación se refieren a la construcción y operación de edificios que no generen emisiones netas de carbono a la atmosfera. Esto se logra mediante la combinación de estrategias que minimizan la demanda energética del edificio y la implementación de fuentes de energía renovable como la energía solar fotovoltaica” (p.3).

que una edificación tenga cero emisiones netas de carbono no quiere decir que el edificio no emite emisiones de carbono sino se refiere a lograr un equilibrio entre la cantidad de emisiones de carbono producidas con la cantidad que es compensada o eliminada sea mediante procesos de naturales o tecnológicos.

Los paneles solares permiten tener una fuente de energía propia y con ello la independencia de la red eléctrica según sea el sistema de instalación, este es un beneficio directo y a largo

plazo. La instalación debe tomar en cuenta la ubicación, la radiación, el área de la edificación tomando en cuenta que existen tres tipos distintos de paneles que varían su eficiencia y el porcentaje de pérdidas por ello es necesario un estudio previo para su instalación y correcto funcionamiento.

La aplicación de estas estrategias de diseño y dispositivos permiten un ahorro significativo en el consumo energético de un edificio logrando que sea un edificio sostenible, estos ahorros energéticos con el paso del tiempo se convierten en ahorros económicos.

Eficiencia hídrica y en el uso de materiales.

Las estrategias de eficiencia hídrica en la construcción sostenible buscan la reducción del consumo de agua en las edificaciones a través de la reducción del flujo, reutilización de aguas grises y negras y sobre todo la recolección de agua lluvia. Debido a los gases de efecto invernadero el planeta vive una situación de estrés hídrico se produce cuando la demanda de agua es mayor a la cantidad de agua disponible o el uso del agua disminuye por la calidad del recurso. La disponibilidad del agua dulce está en función de la precipitación que se produce en cada sector, el cambio climático ha influido en que las precipitaciones sean intensas y de periodos muy cortos y que las sequías sean fuertes y de periodos largos “el clima mediterráneo impone una doble adversidad a los sistemas biológicos: la limitación hídrica y la irregularidad (impredecibilidad) de las precipitaciones, y esta adversidad se verá incrementada por el cambio climático” (Valladares et al., 2024, p.163) que indica que en el clima del mediterráneo existe una falta de agua que se agrava con el paso del tiempo, así comprender la importancia de la gestión del agua en el diseño de edificios ecológicos.

Los usos del agua en edificios de igual manera dependen del tipo de edificaciones entre otros factores como clima y la hora del día. Entre los distintos usos que puede tener una edificación

se destacan los usos sanitarios, domésticos e industriales. Un edificio ecológico implementa medidas para el ahorro en especial en el uso del agua potable como son:

- Reducción de flujo: a través de uso de grifos y válvulas de bajo consumo e inodoros de doble descarga. Así el consumo por persona disminuye al igual que las edificaciones.
- Recolección: sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias para uso no potables. Esto permite reducir la demanda de agua de las edificaciones permitiendo a las fuentes hídricas recuperar sus niveles de agua.
- Reutilización: construcción de sistemas de tratamientos de aguas residuales provenientes de duchas, lavamanos, lavadoras entre otros que requieran procesos básicos de limpieza para reutilizar en riego o inodoros.
- Concienciación: los usuarios tengan un uso responsable del agua.

Como indica Minda (2022) “las ventajas de recolectar agua de lluvia. 1. Disminuye el uso de la energía y reduce las emisiones de carbono. 2.Reduce la escorrentía. 3. Reabastece los suministros de agua subterránea. 4. Reduce la sobreexplotación de aguas subterráneas.” (p.9).

El ahorro de agua en edificios sostenible contribuye también a preservación del medio ambiente y reduce costos operativos de las edificaciones al usar menor cantidad de agua potable un servicio que tiene un costo por su uso.

Los recursos naturales usados en la construcción pocas veces no requieren de procesos industriales para el uso final por esto todos los materiales tienen un ciclo de vida por las diferentes etapas como: extracción, procesamiento, transporte, instalación, eliminación o reciclaje. En todas estas etapas se requiere una cantidad de energía para hacer funcionar estos procesos que genera emisiones de carbono como indica Pelufo (2011) “la energía incorporada está presente en todas las etapas de la vida de la edificación” (p.55). El hormigón

y el acero son los materiales de construcción más usados a nivel mundial pero debido a su procesos principalmente en la fabricación requieren grandes cantidades de energía que se refleja en grandes emisiones de carbono se mide a través de la equivalencia de carbono en kilogramos liberados por kilogramo de material de construcción definir esta cantidad permite cuantificar el impacto ambiental “el análisis energético, en particular de la energía incorporada es utilizado como indicador de impacto ambiental” (Pelufo, 2011, p.58) mientras mayor se la cantidad de energía incorporada que tiene un material mayor es el impacto ambiental, minimizar las emisiones de carbono reduciendo la energía requerida en alguna etapa del ciclo de vida del material conlleva a que una edificación sea sostenible.

Implementar estrategias que aborden distintos aspectos del proceso constructivo como la selección de materiales, la optimización del diseño, la gestión de residuos, la eficiencia en la construcción principalmente la reutilización de componentes de otras edificaciones. En ocasiones existe disponibilidad de materiales locales para uso, extraer estos materiales reducen el impacto ambiental.

En la selección de materiales se debe priorizar aquellos con baja energía incorporada siendo clave en la construcción sostenible como madera, tierra y materiales reciclados. Además de la optimización del área de construcción que requieren menor cantidad de materiales, el valor de la energía incorporada que tenga un material permite comparar el impacto ambiental energético de diferentes opciones.

El diseño arquitectónico puede influir de forma directa en la energía incorporada de un edificio pues se requiere una cantidad de materiales para su construcción por ello se debe implementar estrategias de diseño que minimicen la cantidad de materiales a usarse y energía. Edificios compactos tiene menor área de construcción, como el uso de losas aligeradas o steel deck usan menor cantidad de hormigón en comparación con una losa

maciza, ladrillos huecos que además de reducir el peso de la estructura requieren menor cantidad de material para su fabricación. El uso de materiales alternativos no debe influir en los requerimientos de capacidad de carga de la edificación, debe ser segura y cumplir con los códigos de construcción.

La gestión de los residuos es un aspecto fundamental de la sostenibilidad, “es preferible reutilizar que reciclar (debido a los costes energéticos que supone transformar un material), y es preferible reciclar que eliminar” (Umaña, 2011, p.10) estrategias que permitan reutilizar y reciclar los residuos de construcción para la producción de nuevos materiales a través de una construcción que permita el armado y desarmado de los componentes al final de su vida útil en especial materiales utilizados en encofrados o instalaciones que se usaran durante el periodo de construcción de la edificación “materiales como el yeso, el hormigón y el acero; permiten que los recursos empleados en la fabricación puedan recuperarse y convertirse en productos aprovechables al final de la vida útil del edificio” (Umaña, 2011, p.20)

La selección de materiales que su fabricación sea local permite la reducción de la energía incorporada ejemplos como

- Bloques de arcilla comprimida fabricados con procesos simples y de bajo impacto ambiental con su uso se reduce la necesidad de cemento.
- Madera certificada extraído de fuentes sostenibles pues capturan carbono durante su etapa de crecimiento.
- Hormigón reciclado, subproducto de las demoliciones evitando la producción de nuevo cemento.
- Paneles de madera laminada combina la eficiencia estructural y bajo impacto ambiental.

Umaña indica que “el abastecimiento local de los materiales pesados como la piedra, los áridos, ladrillos, etc., deben obtenerse de canteras o fabricantes situados cerca de la obra, para ahorrar energía en el transporte y reducir el impacto ambiental.” (2011, p.19). Que el material sea de fabricación local evita requerimientos de transporte pues las grandes distancias desde la planta de producción hasta el sitio de construcción implican emisiones de gases de efecto invernadero. La reutilización, el reciclaje, el uso de materiales locales son estrategias fundamentales para sostenibilidad en la industria de la construcción.

Edificios ecológicos.

La Corporación Financiera Internacional (IFC) es una institución financiera internacional miembro del Grupo del Banco Mundial con sede en Estados Unidos que ofrece servicios de inversión, asesoría y gestión de activos a países en desarrollo. La IFC invierte en diferentes sectores como infraestructura, construcción, manufactura, agronegocios, servicios financieros y salud, de igual forma brinda asistencia técnica y asesoramiento a empresas y gobiernos a través de ella se desarrolla la acreditación EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) un sistema de certificación de edificios ecológicos. Cumpliendo con los estándares de rendimiento que requiere que los edificios cumplan con ciertos criterios de eficiencia energética, eficiencia del agua y energía incorporada en los materiales por medio del aplicativo EDGE, software que permite cuantificar los consumos energéticos el diseño de la edificación puede acceder a ser certificado como sostenible. La certificación EDGE está diseñada para ayudar a los desarrolladores a crear edificios ecológicos que sean más eficientes en el uso de recursos y tengan un menor impacto ambiental, certificación que es reconocida internacionalmente y es una herramienta valiosa para los desarrolladores que buscan crear edificios ecológicos.

La certificación aplica el principio de diseño para una mayor eficiencia un enfoque de diseño que busca crear edificios que sean más eficientes en el uso de recursos, en la fase inicial lograr la acreditación influye en los costos “implementar todo lo necesario para cumplir con los requerimientos de una certificación EDGE ocasiona que se incurra en costos adicionales comparado con el de una construcción tradicional” (Albujar et al., 2019, p.1). La aplicación de diferentes estrategias tales como el uso de materiales de construcción sostenibles, la optimización del diseño del edificio para reducir el consumo de energía, y la incorporación de tecnologías de eficiencia energética. El diseño para una mayor eficiencia los desarrolladores crean edificios ecológicos que son más rentables y sostenibles. La IFC y la acreditación EDGE están interrelacionados en su objetivo de promover la sostenibilidad en la industria de la construcción.

Un edificio ecológico al implementar todas estas estrategias de ahorros en el consumo llega a tener un costo mayor en comparación con un edificio convencional, un costo mayor que varía entre el 1% y el 10% según un estudio realizado por el Instituto de Tecnología de Massachussets dependiendo de varios factores como el tamaño del edificio, el tipo de materiales utilizados y el nivel de eficiencia energética deseado de igual manera los precios de venta son mayores entre el 4% y 9% y un ahorro en los pagos de servicios que van desde el 15% hasta el 20%. “permite demostrar que la construcción de edificios sostenibles contribuye a perpetuar y mitigar el uso inadecuado de los recursos naturales y, a su vez, generar altos beneficios económicos a futuro en la reducción de costos y gastos” (Gonzales, Gutiérrez y Gallego, 2019, p.182)

Un edificio convencional prioriza los costos antes que el ahorro de los consumos constructivos y operativos por ello los usuarios prefieren un edificio convencional pero un desarrollador de sostenibilidad debe tener la capacidad de informar al usuario final las

ventajas de un edificio ecológico pues el beneficio es directo, aunque a largo plazo además de incentivar en la concientización del cuidado del medio ambiente.

Dado que la problemática ambiental es a nivel global varias instituciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales buscan incentivar la construcción de edificios ecológicos en los constructores y la compra en los usuarios finales a través de incentivos financieros.

- Subsidios gubernamentales: en Perú existe el bono de minivivienda verde para adquirir una vivienda sostenible.
- Financiamiento verde: instituciones financieras ofrecen financiamiento destinado a edificios verdes con un interés más bajo y a largo plazo.
- Compensaciones de carbono: otorgadas por una ONG son certificados que representan la reducción de CO₂ en un proyecto que compensa las emisiones de otro proyecto que puede estar ubicado al otro lado del mundo “la compensación busca promover la captura de carbono de las emisiones residuales mediante la promoción de proyectos que generan reducciones de emisiones en otras áreas” (Escobedo et al., 2014 como se citó en Guillén, 2023, p.3).

Estos financiamientos además de construcciones ecológicas pueden incluir inversión en energías renovables como paneles solares, eficiencia energética de los sistemas y plantación de árboles compensando las emisiones que no se pueden evitar.

CONCLUSIONES

La sostenibilidad en el sector de la construcción es un tema que debe ser abordado por todos los entes de la construcción como ingenieros, arquitectos y constructores, pues este sector es responsable de una gran parte de las emisiones de carbono al medio ambiente debido a las prácticas comunes de construcción y ineficiencia en la operación de las edificaciones en su ciclo de vida. Este trabajo se ha analizado la evolución del concepto de sostenibilidad desde un punto de vista medioambiental hasta el económico destacando la importancia de la sostenibilidad en la construcción que integra factores externos y principios de diseño, construcción y operación sostenible. La construcción sostenible es fundamental para mitigar los efectos del cambio climático en especial en países en desarrollo pues los recursos suelen ser limitados. A nivel nacional Ecuador ha adoptado estrategias de sostenibilidad evidenciado en varios proyectos como el Complejo Habitacional Jade ubicado en la ciudad de Quito que cuenta con acreditación EDGE.

La integración de paneles solares, la reutilización de aguas y el uso de materiales sostenibles no solo reduce las emisiones de carbono, sino que representan un ahorro económico a largo plazo. En cuanto a los sistemas de calefacción o refrigeración se destaca la importancia de utilizar sistemas pasivos y naturales. Estas estrategias permiten que la edificación llegue a tener cero emisiones netas de carbono, aunque las percepciones, en contextos como América Latina, pueden ser costosas los análisis económicos demuestran que los beneficios financieros y ambientales a mediano y largo plazo compensan esos costos iniciales y en un punto generan una ganancia.

Ecuador es un país en vías de desarrollo y los códigos de construcción deberían evolucionar a formas de construcción sostenible que permitan la regulación del uso del agua potable, los materiales a usarse y la reutilización o el reciclaje de los materiales usados.

La conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente esta en gran medida en el sector de la construcción es por ello que ser parte del desarrollo sostenible es crucial como ingenieros debemos brindar soluciones a las problemáticas ambientales mientras se incentiva la oferta y la demanda de más edificios sostenibles en el mercado. El 2024 para el Ecuador ha sido un año lleno de complicaciones efecto de la sequia que ha afectado a varios sectores del país, se debe tomar acción para un presente y un futuro más sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Campoverde, A. E., & Santos Baquerizo, E. (2021). *Evaluación y remodelación de edificio rectorado para certificación EDGE* (Doctoral dissertation, ESPOL. FICT).
- Albújar Cabrera, P. E., Pichardo Inga, N. E., Polo Roca, M. E., Sánchez Felix, J. A., & Zegarra García, C. R. (2019). *Análisis costo-beneficio en edificaciones sostenibles con certificación EDGE, respecto a una edificación tradicional: Caso de estudio Edificio Multifamiliar en el distrito de San Borja-Lima*.
- Arguello, R. *Cost-benefit analysis of options to achieve net-zero emissions in Colombia*.
- Bravo, D., Bennis, A., Naji, H., Fellouah, H., & Báez, A. (2020). *Revisión general sobre sistemas de acondicionamiento de aire en edificios ecológicos e inteligentes*. *Revista ingeniería de construcción*, 35(2), 192-202.
- Chávez Espinoza, G. D. (2022). *Propuesta de factores que contribuyen con la mitigación del impacto ambiental basado en la certificación EDGE del edificio multifamiliar Alborada II, ubicado en el distrito de Surco, de la empresa Vitain, en el año 2021*.
- Condezo-Solano, M. J., Erazo-Rondinel, A. A., Barrozo-Bojorquez, L. M., Rivera-Nalvarte, C. C., & García-Puclla, A. Z. (2024). *Un análisis del impacto de la certificación EDGE en edificaciones: el caso de Perú*. *Revista hábitat sustentable*, 14(1), 66-79.
- de la Paz Gallardo, L. I. (2019). *Modelación y prospección de la sostenibilidad hídrica*. *Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado*, (1), 41-47.
- Department of Economic and Social Affairs, United Nations. (2018). *2018 revision of world urbanization prospects*. Naciones Unidas.
<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- Dorda, P. H. (2014). *La evaluación del impacto ambiental de la envolvente del edificio como herramienta de apoyo en la fase de diseño, aplicada a viviendas* (Doctoral dissertation, Universitat Jaume I).
- Glinka, M. E., Vedoya, D. E., & de Zalazar, C. A. (2005). *Reducción del impacto ambiental a partir de estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos provenientes de la demolición de edificios*. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- González, C. C., Gutiérrez, L. V. H., Gallego, C. M., & Londoño, I. V. R. (2019). *Procesos de gestión: edificios sostenibles vs. edificios tradicionales*. *Revista Activos*, 17(2), 177-203.
- Guillén-Chávez, S. (2023). *Universidades líderes en sostenibilidad: un análisis de las iniciativas de huella de carbono en Latinoamérica*. *South Sustainability*, 4(2), e081-e081.

- Lecuona Neumann, A., Izquierdo, M., & Rodríguez Aumente, P. (2005). *Investigación e impacto ambiental de los edificios. La energía.*
- Lecca Díaz, G. K., & Prado Canahuire, L. A. (2019). *Propuesta de criterios de sostenibilidad para edificios multifamiliares a nivel de certificación EDGE y sus beneficios en su vida útil (obra, operación y mantenimiento) frente a una edificación tradicional. Caso: edificio en el distrito de Santa Anita-Lima.*
- Macías, M., & Navarro, J. G. (2010). *Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios.* Informes de la Construcción, 62(517), 87-100.
- Minda Mena, J. G. (2022). *Diseño de un edificio de vivienda con la aplicación de sistemas de eficiencia hídrica en Lumbisí, Quito* (Bachelor's thesis, Universidad Tecnológica Indoamérica).
- Moreira-Macías, E. L., Loor-Cheve, J. N., & Toala-Zambrano, M. M. (2019). *Construcciones sostenibles: materiales ecológicos en viviendas de interés social (VIS) como aporte al hábitat urbano.* DISEÑO ARTE Y ARQUITECTURA, (7), 67-81.
- Ramírez, A. (2002). *La construcción sostenible. Física y sociedad*, 13, 30-33.
- Sánchez de León Brajkovich, M. (2012). *La envolvente como estrategia de diseño sostenible. Caso de estudio: Edificio Media TIC.*
- Segundo, D., Araúz, A., Mora, A., & Perén, J. I. (2017). *Primer paso en la eficiencia energética, confort ambiental y sostenibilidad de edificios en Panamá: percepción ambiental de usuarios de la Casa Matriz del Banco Nacional de Panamá.* Rev. Iniciación Cient, 3, 70-75.
- Torres Quezada, J., & Lituma Saetama, S. (2023). *Estrategias de sostenibilidad enfocadas al confort térmico y la energía incorporada de una vivienda emergente en la Región Andina del Ecuador.* Revista hábitat sustentable, 13(1), 42-55.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2011). *Energía incorporada em materiais de construção versus energia operacional.* Rev. Int. Construlink, 9, 5-12.
- Umaña Morera, M. (2011). *Sostenibilidad y ciclo de vida de los materiales.*
- United Nations Environment Programme. (n.d.). *Climate action.* Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. https://www.unep.org/topics/climate-action?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAvP-6BhDyARIsAJ3uv7ZcmjuiB6JZhiKlxf_e0X6MAxC8vEoM0DiSGeEZsbryExSIBbu5nkoaAsLkEALw_wcB
- Vásquez, M. R. G., & Molina-Prieto, L. F. (2018). *Envolvente arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad.* Arkitekturax Visión FUA, 1(1), 49-61.
- Vásquez, A., Acevedo, H., & Ramírez, D. (2012). *Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia.*

Valenzuela, C. (2019). *Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia bajo criterios de Eficiencia Hídrica en Edificios. Caso de estudio: Edificio de Clases y Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central*. INGENIO, 2(2), 25-37.