

Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO₂ en edificaciones multifamiliares

Carlos Magno Chavarry Vallejos
<https://orcid.org/0000-0003-0512-8954>
pcciccha@upc.pe
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Lima - Perú

José del Carmen Zavala Loría
<https://orcid.org/0000-0001-6398-1262>
jose.zavala@unini.edu.mx
Universidad Internacional Iberoamericana
Campeche - México

Marco Antonio Rojo Gutiérrez
<https://orcid.org/0000-0003-4862-8780>
marco.rojo@unini.edu.mx
Universidad Internacional Iberoamericana
Campeche - México

Recibido (24/10/2022), Aceptado (18/03/2023)

Resumen: En este trabajo se analizaron las tecnologías de descarbonización que reducen las emisiones de dióxido de carbono en edificaciones multifamiliares. El método de la investigación es deductivo, enfoque cuantitativo, orientación aplicada y de tipo descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño es no experimental, transversal y prospectivo. Los resultados muestran que la reducción de emisiones de dióxido de carbono empleando tecnologías de descarbonización en los proyectos de vivienda, son mayores en cuanto a la electrificación y el uso de biomasa en el modelado de materiales, mientras que son considerablemente menores en cuanto a la eficiencia energética y la energía renovable. Finalmente, se pudo constatar que la reducción de dióxido de carbono en las viviendas multifamiliares aporta de manera importante en la economía y contribuye a las mejoras ambientales nacionales e internacionales, creando espacios cada vez más saludables.

Palabras clave: Tecnologías de descarbonización, eficiencia energética, energía renovable, electrificación, modelación de la biomasa, industrialización.

Decarbonization technologies for the reduction of CO₂ emissions in multifamily buildings

Abstract.- This paper analyzed decarbonization technologies that reduce carbon dioxide emissions in multifamily buildings. The research method is deductive, quantitative approach, applied orientation, descriptive, correlational, and explanatory. The design is non-experimental, cross-sectional, and prospective. The results show that the reduction of carbon dioxide emissions using decarbonization technologies in housing projects is higher in terms of electrification and the use of biomass in materials modeling. At the same time, they are considerably lower in terms of energy efficiency and renewable energy. Finally, it was found that reducing carbon dioxide in multifamily housing contributes significantly to the economy and contributes to national and international environmental improvements, creating increasingly healthy spaces.

Keywords: Decarbonization technologies, energy efficiency, renewable energy, electrification, biomass modeling, industrialization.



I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad, y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es clave para mitigar sus efectos. En este contexto, la construcción y el sector energético son dos de los principales contribuyentes a estas emisiones. En Perú, las emisiones de CO₂ han aumentado significativamente en el año 2021, lo que destaca la necesidad de tomar medidas urgentes para reducir estas emisiones. La implementación de energías renovables en la construcción y la mejora de la eficiencia energética en los edificios son soluciones clave para reducir las emisiones de CO₂. La modelación de los edificios antes de su construcción o renovación puede optimizar su rendimiento energético y reducir los costos. Además, la industrialización de la construcción y la electrificación son importantes para lograr la transición hacia una economía descarbonizada.

Los formuladores de políticas pueden jugar un papel fundamental en la promoción de la eficiencia tecnológica y la implementación de políticas prospectivas de carbono para facilitar la mitigación temprana de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las soluciones de ingeniería también pueden guiar esta transición, reduciendo las emisiones de CO₂ hasta en un 67,00% y acercándose a una meta de carbono neutral para el año 2050. En este sentido, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la construcción y el sector energético es clave para mitigar los efectos del cambio climático. La implementación de energías renovables, la mejora de la eficiencia energética y la industrialización de la construcción son soluciones importantes que pueden reducir significativamente estas emisiones. Los formuladores de políticas y las soluciones de ingeniería también pueden desempeñar un papel fundamental en esta transición hacia una economía descarbonizada.

La industrialización se ha convertido en una necesidad en el sector de la construcción debido a que los procesos de construcción y fabricación de materiales son responsables de una gran cantidad de emisiones de CO₂. Según Wang [1], las diferencias en variables socioeconómicas han obstaculizado la disminución de las intensidades de CO₂. La industrialización en curso exige el aumento de la producción de la industria pesada, de la inversión en infraestructura y del parque de viviendas. Por lo tanto, es importante que se adopten sistemas constructivos en seco fácilmente desmontables y separables para introducir los materiales en otros procesos de economía circular.

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad es el cambio climático, por lo que es fundamental limitar el incremento de la temperatura de la atmósfera mediante la reducción de los niveles de emisión de gases efecto invernadero, especialmente del CO₂. Para lograrlo, es necesario seleccionar adecuadamente los artefactos y equipos con el fin de disminuir el consumo energético y los niveles de CO₂. La eficiencia energética, la electrificación, la producción renovable, la modelación y la industrialización son algunas de las estrategias que se pueden adoptar para reducir las emisiones de gases efecto invernadero.

Adoptar medidas de sostenibilidad en el sector de la construcción es fundamental para combatir el cambio climático. La industrialización y la modelación son herramientas esenciales para lograr una construcción más sostenible y reducir las emisiones de CO₂. Según Garimella et al. [2], implementar tecnologías que permitan la reducción de emisiones de CO₂ en el sector de la construcción hasta en un 67,00% podría acercarse a una meta de carbono neutral para el 2050. Por lo tanto, es necesario seguir trabajando en la mejora de la eficiencia energética y en la implementación de tecnologías sostenibles en el sector de la construcción.

En este trabajo se propone implementar medidas prácticas de acondicionamiento y equipamiento en edificaciones sostenibles para luchar contra el cambio climático, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética. Estas acciones tienen como objetivo preservar un medio ambiente saludable y evitar la generación de cambios climáticos extremos, como el derretimiento de glaciares, sequías, enfermedades respiratorias y otros desastres naturales relacionados con el clima.

Además de los beneficios ambientales, el enfoque en la eficiencia energética también puede resultar en ahorros económicos para los usuarios del edificio. La atención eficiente a los usuarios es un factor importante en la obtención de resultados positivos y en la reducción de las emisiones de CO₂. El equipamiento utilizado en estas edificaciones sostenibles puede medir la disminución del consumo energético y las emisiones de CO₂, lo que proporciona información valiosa para identificar la tecnología más apropiada.

Según el informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) [3], el sector de la construcción representa aproximadamente el 40% del consumo global de energía y el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de medidas sostenibles en edificaciones es fundamental para reducir estos números y lograr los objetivos climáticos a nivel mundial. Además, esta transición hacia una construcción más sostenible también puede generar empleos verdes y promover el desarrollo económico sostenible.

Es importante considerar tecnologías de descarbonización al diseñar edificios sostenibles y certificados por instituciones internacionales [4], [5]. Esto permitirá implementar procesos eficientes para evitar el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y crear edificios resistentes a los impactos del cambio climático. Utilizar materiales de construcción y técnicas de diseño sostenibles también es esencial para proteger el medio ambiente y la salud de los usuarios. La implementación de estas prácticas sostenibles en la construcción de edificios puede tener un impacto significativo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, según el Consejo Mundial de Construcción Sostenible (World Green Building Council) [6], la construcción y operación de edificios es responsable del 39% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de reducir estas emisiones para combatir el cambio climático. Además, la construcción sostenible no solo es beneficiosa para el medio ambiente, sino que también puede tener beneficios económicos. Un estudio realizado por el Green Building Council de Estados Unidos (USGBC) [7] encontró que los edificios sostenibles pueden reducir los costos de energía y agua en un 20-50% y aumentar el valor de los edificios en un 10%. Por lo tanto, la construcción sostenible no solo es una forma de proteger el medio ambiente, sino que también puede ser una inversión financiera inteligente.

II. DESARROLLO

En el artículo de Gao y otros [8], se menciona que la mayoría de los países del mundo se han propuesto objetivos neutrales en carbono y metas a alcanzar para el año 2050, y para lograr esto, es necesario mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo de energía carbonosa y ajustar la estructura energética. Para reconstruir el equilibrio de fuentes y sumideros de carbono, se deben adoptar tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de CO₂. Además, es importante identificar las áreas con potencial de ahorro de energía a través del monitoreo del consumo energético [9].

Por otro lado, Chavarry y Rodríguez [10] proponen la implementación de equipos y/o artefactos más eficientes en el departamento, lo que puede disminuir el consumo energético y, por lo tanto, las emisiones de CO₂. Su estudio encontró una reducción del 49,07% del consumo de energía en el edificio gracias a esta medida. Para determinar el costo y el tiempo necesario para realizar mejoras en la iluminación, aire acondicionado, instalación eléctrica y elementos de control, se recomienda realizar auditorías energéticas. Es importante destacar que tanto Gao et al. [8] como Chavarry y Rodríguez [10] enfatizan la importancia de reducir el consumo de energía carbonosa para combatir el cambio climático y lograr una transición hacia un sistema energético más sostenible y neutral en carbono.

La transición hacia una economía baja en carbono y energías renovables es esencial para evitar los peores impactos del cambio climático. La adopción de tecnologías y prácticas de eficiencia energética en los edificios es un paso fundamental en esta transición. De hecho, los edificios representan una proporción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Al mejorar la eficiencia energética de los edificios, se puede reducir el consumo de energía y, por ende, la emisión de gases de efecto invernadero.

Para alcanzar una economía baja en carbono y energías renovables, también es importante adoptar tecnologías de captura y almacenamiento de carbono. La captura de CO₂ consiste en atrapar el dióxido de carbono de las fuentes de emisión, como las centrales térmicas, y almacenarlo en formaciones geológicas subterráneas. Si bien esta tecnología aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo, puede ser un paso importante en la lucha contra el cambio climático [11].

Además de la adopción de tecnologías y prácticas de eficiencia energética, también es importante cambiar la estructura energética. Esto implica aumentar la proporción de energías renovables en la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles [12]. La transición hacia una economía baja en carbono y energías renovables también puede generar oportunidades económicas, como la creación de empleos en el sector de las energías renovables y la reducción de los costos de energía a largo plazo.

La medición del consumo energético es un paso importante para identificar áreas potenciales de ahorro de energía en los edificios. Las auditorías energéticas son una herramienta útil para determinar el costo y el tiempo de las mejoras en iluminación, aire acondicionado, instalación eléctrica y elementos de control. Además, las empresas pueden aprovechar herramientas de análisis de datos para monitorear y optimizar el consumo de energía en tiempo real.

Finalmente, es posible afirmar que la transición hacia una economía baja en carbono y energías renovables es esencial para evitar los peores impactos del cambio climático. La adopción de tecnologías y prácticas de eficiencia energética, la captura y almacenamiento de carbono, y el cambio en la estructura energética son pasos importantes en esta transición. Además, la medición del consumo energético y la realización de auditorías energéticas son herramientas útiles para identificar áreas potenciales de ahorro de energía en los edificios y mejorar la eficiencia energética.

Con estas premisas, el objetivo del estudio es determinar las tecnologías de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética, la forma de cambiar la producción y el consumo, mejorar la productividad, la competitividad y reducir la huella del impacto medioambiental durante el ciclo de vida de la edificación, desde el enfoque de energía renovable la forma de generar y consumir energía y obtener el mayor ahorro energético, desde el enfoque de la electrificación el reemplazo de los equipos del edificio y artefactos domésticos para eliminar progresivamente la quema de combustibles fósiles por tecnología eléctrica moderna y desde el enfoque de la modelación de la biomasa del edificio para establecer diferentes alternativas energéticas, comparar la eficiencia de cada una de ellas, encontrar un modelo que optimice su rendimiento energético, crear simulaciones mucho más económicas y garantizar un diseño sustentable en términos de energía, y desde el enfoque de la industrialización obtener la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral para digitalizar e impulsar la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono.

III. METODOLOGÍA

El trabajo presentado consta de una investigación descriptiva con un estudio cuantitativo. De acuerdo con la técnica de contrastación es no experimental, de acuerdo con la direccionalidad la investigación es transversal y prospectiva. El diseño de estudio es de corte transversal. La población estuvo constituida por las edificaciones multifamiliares construidas en la ciudad de Lima Metropolitana entre los años 2021 y 2022 registradas en el Programa Fondo Mivivienda. Mediante un muestreo intencionado con criterios de inclusión y exclusión se determinó el tamaño de la muestra. La población (N) fue de 240 proyectos inmobiliarios. Se realizó una encuesta a los profesionales del proyecto con conocimientos de las especificaciones técnicas de la edificación. Para el cálculo de la muestra se empleó un nivel de confianza de 95,00% y 5 % de error muestral (1).

$$n = \frac{k^2 N p q}{e^2 (N - 1) + k^2 p q} \quad (1)$$

Donde $K = 1.96$ (Nivel de confianza al 95,00 %), $N = 240$ proyectos inmobiliarios, $p = 0.5$ (proporción esperada 50,00%), $q = 0.5$ ($1-p = 0.5$), $e = 0.05$ (Error muestral)

Obteniendo un valor de $n = 148$ proyectos inmobiliarios.

El tipo de muestreo utilizado fue el aleatorio sistemático (MAS), porque se elige un proyecto inmobiliario al azar y a partir de ella, a intervalos constantes, se eligen las demás hasta completar la muestra.

$$\text{MAS} = N/n = 240 / 148 = 1.62$$

Las variables independientes fueron las tecnologías de descarbonización (eficiencia energética, electrificación, energía renovable, modelación e industrialización). Mientras que las variables dependientes fueron la reducción de emisiones de CO₂ (producción y consumo y productividad, competitividad, el impacto medio ambiental, el ciclo de vida de la edificación, la generación y consumo de energía, el ahorro energético, las energías renovables, el equipo del edificio y los artefactos domésticos, la quema de combustibles fósiles, la tecnología eléctrica moderna, las alternativas energéticas, el modelo del edificio, el rendimiento energético, las simulaciones económicas, el diseño sustentable en términos de energía, la eficiencia y sostenibilidad, el diseño integral y la digitalización de la edificación sostenible, la neutralidad de las emisiones de carbono).

Por otra parte, el método empleado es la encuesta transversal y la técnica fue la entrevista personal, dirigido a gerentes, administradores, jefes de obra u otro profesional encargado de la parte técnica. El instrumento de recolección de datos es un cuestionario semiestructurado, constituido por preguntas cerradas, con valores politómicos. Este proceso se realizó por juicio de expertos, para lo cual se solicitó la opinión de siete profesionales dedicados a la enseñanza universitaria en cursos de gestión de proyectos, elaboración de proyectos de tesis y profesionales dedicados a la actividad de consultoría y construcción de edificaciones multifamiliares, quienes analizaron la pertinencia muestral del instrumento, a ellos se les entregó la matriz de consistencia, el instrumento de recolección de datos y la ficha de validación con los indicadores respectivos. Sobre la base del procedimiento de validación descrita, los expertos consideraron los objetivos del estudio en los ítems constitutivos del instrumento de recopilación de la información. Para el grado de relación entre las variables se solicitó la opinión de los 7 profesionales, quienes analizaron el grado de relación entre las tecnologías de descarbonización y la disminución del CO₂. Para la fiabilidad y consistencia del instrumento se utilizó el Alfa de Cronbach, donde se midieron las correlaciones y la solidez interna entre las variables. El método empleado fue la encuesta transversal y la técnica fue la entrevista personal, dirigido a gerentes, ingeniero jefe de obra, ingeniero de oficina técnica y administrador encargado seguridad y salud ocupacional y medio ambiente. Dada la validez del instrumento por juicio de expertos, donde obtuvo un valor de 94,66%, se deduce una validez con calificativo de excelente por encontrarse dentro del rango del 90,00% - 100,00%.

Se realizaron encuestas para determinar la relación de la eficiencia energética, electrificación, energía renovable, modelación e industrialización y las emisiones de CO₂. Una vez estudiados estos factores se estableció un plan de mejora, para dar validez mediante la aplicación de conceptos de sostenibilidad con tecnologías de descarbonización y medir el consumo energético y el alto índice de emisiones de CO₂. Se utilizó información documentaria, para establecer porcentajes de contaminación a nivel internacional y nacional.

III. RESULTADOS

Una vez recogida y analizada la información, se observaron los siguientes resultados:

Hay algunos elementos que pueden ser útiles para entender el impacto de las tecnologías de descarbonización en la reducción de emisiones de CO₂ en edificaciones multifamiliares. Algunas de ellas son las siguientes:

- Según la Agencia Internacional de Energía (IEA) [13], las emisiones de CO₂ de los edificios representan alrededor del 28% de las emisiones totales de CO₂ a nivel mundial.
- La Unión Europea se ha fijado el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ de los edificios en un 60% para el año 2030. Para lograr este objetivo, se están implementando varias políticas y programas de incentivos para la implementación de tecnologías de descarbonización.
- En un estudio de la Comisión Europea, se encontró que la implementación de tecnologías de eficiencia energética y energías renovables en edificaciones multifamiliares pueden reducir las emisiones de CO₂ en un 90% en comparación con edificios convencionales.
- En Estados Unidos, según el Departamento de Energía de los Estados Unidos, la implementación de tecnologías de eficiencia energética y energías renovables en edificaciones multifamiliares puede reducir las emisiones de CO₂ en un 50% en comparación con edificios convencionales.

Con estas premisas, los hallazgos encontrados en el estudio realizado se pueden afirmar en este sentido:

- El 12,16% de los diseños y las especificaciones técnicas de las instalaciones eléctricas consideran el uso de bombillas de bajo consumo como LED o LFC, aprovechan al máximo la luz natural y eligen colores claros para las paredes de las oficinas.
- El 9,46% de los proyectos capacitan a los administradores de las edificaciones sobre el mantenimiento y la conservación adecuada de las instalaciones y sistemas para mantener el rendimiento óptimo de los equipos y alargar la vida útil de la edificación y solamente el 2,03% de los proyectos informa a los administradores que por cada grado que suban o bajen la temperatura puede suponer hasta un 7,00% más en el consumo.
- La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética en promedio es del 38,00%.
- El 9,46% de los proyectos implementan medidas de ahorro energético de costo cero como apagar los monitores, desconectar los equipos, apagar las luces al salir, cerrar puertas y ventanas cuando los sistemas de climatización están funcionando. Además, el 4,05% de estos proyectos miden y verifican los ahorros energéticos para conocer cuáles son los ahorros reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación.
- Muy pocos proyectos buscan implementar energías renovables en los procesos de limpieza para no generar impacto al medio ambiente y sustituyen las tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía. También se puede afirmar que el 1,35% de estos proyectos es capaz de producir energía renovable con un costo muy competitivo mediante la utilización de recursos naturales inagotables, como el sol, el viento, el agua o la biomasa.
- La tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable cambia la forma de generar y consumir energía, obtener el mayor ahorro energético y acelerar la implementación de energías renovables en un promedio del 30,00%.

- El 8,78% de los proyectos consideran aislar los distintos elementos constructivos como tejado, fachada, ventanas, puertas, entre otros en el diseño arquitectónico, para mejorar la iluminación y ventilación de la edificación. El 6,76% de los diseños de las instalaciones eléctricas en las edificaciones está orientadas a obtener el mayor ahorro energético y solamente el 3,38% aíslan las tuberías de distribución para disminuir pérdidas térmicas que hacen que el consumo de energía sea mayor del necesario. La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación reemplaza al equipo del edificio y artefactos domésticos eliminando progresivamente la quema de combustibles fósiles en la edificación por tecnología eléctrica moderna en un promedio del 34,00%.
- Por otro lado, el 5,41%, las empresas encuentran un modelo que optimiza su rendimiento energético, mientras que el 4,73% de las empresas establece diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto y solamente el 2,76% de las empresas garantiza un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones. La Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación se aplica en un promedio del 25,00%.
- El 4,05% de las empresas digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono, por otro lado, el 3,38% establecen un seguimiento regular del patrón de consumo e identifican funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes y descarbonizan procesos de fabricación en sus materiales. Además, el 2,03% buscan sistemas constructivos en seco fácilmente desmontables y separables para introducir los materiales en otros procesos de economía circular y obtener la eficiencia y sostenibilidad en la fase del diseño integral. La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización obtiene la eficiencia y sostenibilidad en la fase del diseño integral e impulsar la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono en un promedio del 25,00%.

A. Pruebas de normalidad

Según los resultados obtenidos del software SPSS, la normalidad en cada una de las 26 preguntas utilizadas en el cuestionario, para un $n \leq 50$ se procedió a realizar la prueba de Shapiro-Wilk. La prueba de normalidad indica que este estudio proviene de una población que no es normal, por lo tanto, para contrastar las hipótesis se utilizaron pruebas no paramétricas debido a que los resultados son valores de significancia menores a $\text{sig.} = p \leq 5 \text{ 0.05}$.

En la figura 1 se pueden observar el consumo anual y el ahorro de energía en cada uno de los escenarios evaluados para este estudio. Obsérvese que el consumo en cualquiera de los casos es superior al ahorro de energía, lo que puede indicar que se requiere mejorar las condiciones energéticas.



Fig. 1. Evaluación de los diferentes escenarios analizados para el edificio
Fuente: (Montiel-Santiago et al., 2020a)

Los resultados mostrados permitieron realizar un análisis del impacto de la rehabilitación, comparando el estado actual con el estado futuro en términos de balance energético y económico. Eso permitirá evaluar todas las mejoras en su conjunto de manera que será posible seleccionar alternativas de mayor eficiencia energética, menor impacto ambiental y mayor comodidad para los usuarios del edificio, lo que redundará en una mejora en la certificación energética.

Es importante resaltar que el uso de materiales naturales convierte un sistema que retiene carbono de manera indirecta, a partir de los datos generados para un área de 10m², por tanto, se deduce que el SBT tiene un peso de 704,20 kg/m², una energía incorporada de 1.566,70 MJ/m², y genera -147,60 kg de CO₂ /m². De esta manera, se puede decir que por cada 60 m² de construcción, tomando como referencia el área mínima de una vivienda social, se tendría un peso de 42,2 toneladas, una energía embebida de 94002 MJ, y generaría -8.856 kg CO₂. El dato más relevante radica en el resultado negativo de las emisiones de dióxido de carbono, lo cual quiere decir que se trata de un sistema sostenible que, en lugar de incrementar las emisiones, por el uso de madera y tierra termina por absorber de manera indirecta dióxido de carbono. De esta manera, se estaría contribuyendo con la mitigación del cambio climático.

La tecnología de descarbonización es esencial para abordar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera ("Programa de Acción Climática de La Ciudad de México 2021") [14]. La electrificación es una de las tecnologías más prometedoras para la descarbonización, ya que permite la transición de combustibles fósiles a fuentes de energía renovable en sectores clave como el transporte, la calefacción y la industria. La electrificación implica la conversión de equipos y procesos que actualmente dependen de combustibles fósiles a tecnologías eléctricas y renovables, como baterías, paneles solares y turbinas eólicas. Además, la electrificación también se puede combinar con otras tecnologías de descarbonización, como la captura y almacenamiento de carbono, para lograr una reducción aún mayor de las emisiones.

Una de las principales ventajas de la electrificación es que permite una mayor flexibilidad en el suministro y la distribución de energía. Las fuentes de energía renovable como la energía solar y eólica pueden producir energía intermitente, lo que hace que sea difícil integrarlas en las redes eléctricas convencionales. Sin embargo, con la electrificación, las baterías y otros sistemas de almacenamiento de energía pueden acumular energía renovable durante períodos de alta producción y liberarla cuando sea necesario, lo que ayuda a estabilizar la red eléctrica. Además, la electrificación también puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados y fortalecer la seguridad energética de un país.

Por otra parte, la modelación de la biomasa de la edificación es una tecnología de descarbonización prometedora que implica el uso de materiales renovables y sostenibles en la construcción y renovación de edificios. La biomasa es cualquier material orgánico que se puede utilizar como combustible, como la madera, el bambú, la paja y otros residuos agrícolas. La modelación de la biomasa de la edificación implica el diseño y construcción de edificios que utilizan materiales de biomasa en su estructura y aislamiento, lo que reduce la necesidad de materiales de construcción convencionales, como el acero y el cemento, que tienen una gran huella de carbono. Además, la biomasa es un material renovable y sostenible que puede ser cultivado y renovado, lo que reduce la dependencia de los materiales fósiles no renovables.

La modelación de la biomasa de la edificación también puede tener beneficios adicionales para el medio ambiente y la economía. Al utilizar materiales locales y renovables en la construcción, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el transporte de materiales y la producción de materiales de construcción convencionales. Además, la biomasa se puede cultivar y procesar a nivel local, lo que puede crear empleos y fomentar el desarrollo económico local. Finalmente, se puede decir que la modelación de la biomasa de la edificación es una tecnología de descarbonización emocionante que puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promover la sostenibilidad y el desarrollo económico local, y crear edificios más saludables y resistentes, sumado al hecho de que puede generar emprendimientos y fuentes de empleo.

CONCLUSIONES

Las tecnologías de descarbonización aceptadas en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana es de 30,41%. En este estudio se observó que la reducción de emisiones de CO₂ empleando tecnologías de descarbonización en las edificaciones es del 39,12%, siendo una reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional el 11,20% y una reducción de energía del 12,90%.

Las tecnologías de descarbonización utilizadas desde el enfoque de la eficiencia energética es el 38,00%, la reducción de emisiones de CO₂ es del 25,00%, siendo una reducción de CO₂ a nivel nacional el 1,46% y una reducción de energía del 1,68%. Desde el enfoque de la electrificación es el 30,00%, la reducción de emisiones de CO₂ es del 49,07%, siendo una reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional el 2,80% y una reducción de energía del 3,23%. Desde el enfoque de energía renovable es el 34,00%, la reducción de emisiones de CO₂ es del 16,10%, siendo una reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional el 0,90% y una reducción de energía del 1,03%. Desde el enfoque de la modelación de la biomasa es el 25,00%, la reducción de emisiones de CO₂ es del 46,68%, siendo una reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional el 2,69% y una reducción de energía del 3,10%. Desde el enfoque de la industrialización es el 25,00%, la reducción de emisiones de CO₂ desde el enfoque de la industrialización es del 45,62%, siendo una reducción de emisiones de CO₂ a nivel nacional el 3,36% y una reducción de energía del 3,87%.

La reducción de CO₂ en edificaciones multifamiliares no solo contribuye al objetivo global de combatir el cambio climático, sino que también ofrece una amplia gama de beneficios, desde ahorros en costos de energía hasta mejorar la calidad de vida de los residentes. Además, la implementación de tecnologías sostenibles y la adopción de prácticas eco-amigables en las edificaciones multifamiliares puede ser un modelo a seguir para otros tipos de construcciones y una manera de crear comunidades más conscientes y responsables con el medio ambiente.

Según el Informe Global de Energía y CO₂ 2020, las emisiones de CO₂ en el sector de la construcción representan aproximadamente el 40% de las emisiones globales de CO₂ [15].

Un estudio realizado por el Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC, por sus siglas en inglés) encontró que las edificaciones verdes pueden reducir el consumo de energía en un 30% y las emisiones de CO₂ en un 35% en comparación con las edificaciones convencionales [16].

Por otro lado, un estudio del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) y el Centro de Excelencia en Energía de Construcciones (CoE), concluyó que la implementación de tecnologías de eficiencia energética y energías renovables en edificios multifamiliares puede reducir las emisiones de CO₂ en un 90% en comparación con edificios convencionales [17].

Un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) [13] indica que, para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, las emisiones de CO₂ en edificaciones deben reducirse en un 50% para 2030 y en un 80% para 2050.

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) [18], la implementación de tecnologías sostenibles en edificaciones multifamiliares puede reducir el consumo de energía en un 30-50% y las emisiones de CO₂ en un 50-80%.

Estos datos demuestran la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ en edificaciones multifamiliares y la importancia de adoptar prácticas ecoamigables en el sector de la construcción para alcanzar objetivos climáticos globales.

RECOMENDACIONES

Realizar cambios de carga a nivel doméstico en función de la estrategia de tiempo de uso, considerando varios electrodomésticos flexibles, carga de vehículos eléctricos híbridos enchufables y energía fotovoltaica. Utilizar energías renovables intermitentes a la reducción de emisiones para compensar con un mayor papel del cambio de combustible. Mejorar la eficiencia térmica de los edificios residenciales para generar un ahorro reduciendo el costo de la política climática. Desarrollar diseños y materiales para el aislamiento térmico para promover el uso de tecnologías innovadoras y materiales, para que los diseñadores comparen y elijan soluciones eficientes en la renovación sostenible/circular de edificios.

REFERENCIAS

- [1] X. Wang, «Urbanization and CO2 emissions: Evidence from a global sample.» *Energy policy*, vol. 126, pp. 131-138, 2019.
- [2] S. Garimella, A. Namasivayam, R. Sathre, J. Sathaye y S. J. Smith, «Meeting India's climate goals through policy reform and international collaboration.» *Environmental Science & Policy*, , vol. 126, pp. 39-46, 2022.
- [3] IPCC, [En línea]. Available: <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>.
- [4] V. Tripathi, S. Chattopadhyaya, A. Mukhopadhyay y S. Sharma, «A Sustainable Methodology Using Lean and Smart Manufacturing for the Cleaner Production of Shop Floor Management in Industry 4.0,» *Mathematics*, vol. 10, nº 347, 2022.
- [5] Naciones Unidas, «Objetivo 9 de desarrollo sostenible,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infraestructure/#:~:text=La%20industrializaci%C3%B3n%20incl usiva%20y%20sostenible,el%20empleo%20y%20los%20ingresos.>
- [6] BBVA, «Consejo mundial de construcción sostenible,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-green-building-council-el-movimiento-global-por-la-edificacion-sostenible/>.
- [7] U.S. Green Building Council, «About USGBC,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.usgbc.org/about>. [Último acceso: 04 March 2023].
- [8] L. Gao, Y. Zheng, D. Yang, L. Zhu, S. Li y H. Jin, «Criterial equation of carbon neutrality for power systems,» *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, vol. 66, nº 31, p. 3932–3936. , 2021.
- [9] F. Amoruso, U. Dietrich y T. Schuetze, «Integrated BIM-Parametric Workflow-Based Analysis of Daylight Improvement for Sustainable Renovation of an Exemplary Apartment in Seoul, Korea.» *Sustainability*, vol. 11, nº 9, p. 2699, 2020.
- [10] C. Chavarry y Rodríguez, «Sistema de operaciones y mantenimiento LEED AP para la disminución del consumo energético y emisiones de CO2,» *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, vol. 5, 2020.
- [11] S. Valera, «Medio ambiente y representación social: una visita a la ciudad como representación social,» *Psicología y medio ambiente: aspectos psicosociales, educativos y metodológicos*, pp. 133-147, 2002.
- [12] L. Janssens, T. Kuppens, I. Mulà, E. Staniskiene, y A. Zimmermann, «Do European quality assurance frameworks support the integration of transformative learning for sustainable development in higher education?» *International Journal of Sustainability in Higher Education*, pp. 148-173, 2022.
- [13] Agencia Internacional de Energía (AIE), «Global Energy and CO2 Status Report 2020,» [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling-in-buildings>.
- [14] Global Heat Health Information Network, «Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2021-2030,» 2022. [En línea]. Available: <https://ghhin.org/>.

- [15] The Global Status Report 2017, «Consejo Mundial de la Energía,» [En línea].
- [16] Green Building Facts, «Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos (USGBC),» [En línea].
- [17] Instituto de Recursos Mundiales, «Accelerating Building Efficiency,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.wri.org/publication/accelerating-building-efficiency>.
- [18] Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), «Saving Energy in Multifamily Buildings,» [En línea].