

ISBN: 978-9942-44-832-3

DOI: <https://doi.org/10.47460/Autana.Book.10>

# **INNOVADORAS TECNOLOGÍAS PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE CO2 EN EDIFICIOS RESIDENCIALES**



  
**AutanaBooks**  
*Engineering & Services*

# Autores



## **Carlos Magno Chavarry Vallejos**

Doctor en Ingeniería Civil (UNFV), Doctor en Proyectos (UNINI - México), Máster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos (UEA-España) Maestro en Gerencia de la Construcción Moderna (UNFV), Máster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos (UDP), Magíster en Gestión Estratégica Empresarial (USJB), Maestro en Administración Ejecutiva de Negocios (EMBA-UNW), Máster en Gestión Integrada: Medio Ambiente, Calidad y Prevención (UNINI - México).

<https://orcid.org/0000-0003-0512-8954>

Universidad Ricardo Palma



## **Joaquín Samuel Támara Rodríguez**

Doctor en Ingeniería Civil (UNFV), Maestro en Ciencias e Ingeniería con Mención en Gestión Ambiental (UNASAM), Ingeniero Civil (URP). Profesional con experiencia en Gestión, Diseño y Construcción de Obras Viales.

<https://orcid.org/0000-0002-4568-9759>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



## **Liliana Janet Chavarría Reyes**

Candidata a Doctora en Ingeniería Civil, Maestra en Gerencia de la Construcción Moderna, Ex jefa del Laboratorio de Ensayo de Materiales de Escuela Profesional de Ingeniería Civil (EPIC) Universidad Ricardo Palma.

<https://orcid.org/0000-0002-1759-2132>

Universidad Ricardo Palma



## **Jaime Walter Blas Cano**

Doctor en Ingeniería Civil, Magister en Ingeniería Estructural, Magister en Dirección de la Construcción, Doctor en Ingeniería Ambiental, Candidato a Magister en Ingeniería Geotecnia de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

<https://orcid.org/0000-0002-0919-9306>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Elio Alejandro Milla Vergara**

Ingeniero Civil de la UNASM, Maestro en Ingeniería Geotécnica de la UNI; Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo sostenible de la UNFV. Docente principal de la Facultad de Ingeniería Civil - UNASM; Decano de la Facultad de Ingeniería Civil  
<https://orcid.org/0000-0001-9931-0970>  
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Reynaldo Melquiades Reyes Roque**

Ingeniero Civil de la UNASM, Maestro en Ingeniería de Recursos Hídricos - UNASM; Maestro en Ingeniería Geotécnica - UNI; Doctor en ingeniería Civil - UNFV; Doctor en Filosofía (Ph.D) mención en Ingeniería Civil.  
<https://orcid.org/0000-0002-9408-0069>  
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Luis Armando Terry Vascones**

Ingeniero Civil egresado de la URP, Maestro en Ecología y Gestión Ambiental, Estudios concluidos en el doctorado en Ingeniería Civil, Docente en la Facultad de Ingeniería Civil, Docente la Escuela de Ingeniería Civil de la UNASM,  
<https://orcid.org/0000-0003-4553-3217>  
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Oscar Fredy Alva Villacorta**

Ingeniero Civil egresado de la UNASM, Maestro en Ciencias e Ingeniería con mención en Dirección de la Construcción, Docente en la Facultad de Ingeniería Civil, Docente la Escuela de Ingeniería Civil de Universidad Alas Peruanas  
<https://orcid.org/0000-0003-4085-7378>  
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**David Minaya Huerta**

Doctor y Maestro en ingeniería Civil , Ingeniero Civil de la UNASAM, Experiencia Laboral en Gestión, Consultoría y Ejecución en obras públicas y privadas, Actualmente Catedrático en la Facultad de Ingeniería Civil - UNASAM (Pregrado Y Postgrado).

<https://orcid.org/0009-0008-6619-0114>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Carla Grisselle Poma González**

Ingeniera Civil de la UNASAM, Ingeniera de sistemas e Informática, Maestra en recursos Hídricos de la UNASAM, Estudios concluidos de Doctorado, con especialidad en recursos hídricos y topografía. Docente Universitaria en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM.

<https://orcid.org/0009-0009-0867-8055>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Allende Elías Gómez Ramírez**

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo". Maestro en Educación con Mención en Docencia, Currículo Investigación. Estudios de Doctorado en Ingeniería Civil <https://orcid.org/0000-0003-2601-4526>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo



**Andres Avelino Valencia Gutierrez**

Doctor en educación, Maestro en Gerencia de la Construcción moderna, Decano de la facultad de Ingeniería Civil-Universidad Nacional Federico Villarreal, miembro de la comisión de acreditación de la EPIC-FIA de la Universidad San Martín de Porres.

<https://orcid.org/0000-0002-8873-189X>

Universidad Ricardo Palma

# **INNOVADORAS TECNOLOGÍAS PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE CO2 EN EDIFICIOS RESIDENCIALES**

Copyright de AutanaBooks S.A.S  
Editora en jefe: Dra. Franyelit Suárez  
Diagramación: Adrián Hauser  
Primera Edición, Quito-Ecuador  
Todos los derechos reservados

**ISBN: 978-9942-44-832-3**

**DOI: <https://doi.org/10.47460/Autana.Book.10>**

ISBN: 978-9942-44-832-3



No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

**Previa a la publicación de este libro todos los capítulos  
fueron sometidos a la revisión por pares ciegos.**

Todas las imágenes de portadas utilizadas en el diseño de este documento, son tomadas de la galería del software CANVA, Número de licencia: 03422-17578080



# Contenido

<b>Capítulo 1</b> La Trayectoria hacia la Descarbonización	13
<b>Capítulo 2</b> Cimentando el cambio con innovación tecnológica	24
<b>Capítulo 3</b> Energía renovable: más allá de los techos solares	43
<b>Capítulo 4</b> Diseñando el mañana: edificaciones de consumo casi nulo	55
<b>Capítulo 5</b> Prospectivas futuras	67
<b>Capítulo 6</b> Desafíos y oportunidades	102
<b>Bibliografía</b>	126

*“Compartimos la Tierra no solo con los seres humanos sino con todas las demás criaturas”*

Dalai Lama

## Prólogo

En el vertiginoso transcurso de los años, mientras nuestra sociedad prospera y se expande, hemos desarrollado un tejido intricado de edificaciones que nos cobijan, nos resguardan y nos definen. Estas estructuras han sido testigos mudos de nuestras alegrías, penas, avances y tropiezos a lo largo de generaciones. Pero, a medida que las ciudades crecen y se multiplican, el eco del progreso se encuentra entrelazado con la sombra de un desafío crítico: el cambio climático.

Este libro surge en un punto de inflexión, en un momento en que nuestras decisiones pueden moldear el destino de nuestro planeta y el futuro de las próximas generaciones. "Innovadoras Tecnologías para Mitigar las Emisiones de CO2 en Edificios Residenciales " no es simplemente un compendio técnico, sino una llamada a la acción, para repensar la manera en que concebimos, construimos y vivimos en nuestros hogares.

Cada página de este libro es un tributo a la idea de que, aunque enfrentamos un desafío global, nuestras respuestas pueden ser locales y poderosas. La búsqueda de la sostenibilidad no es solo un camino hacia la reducción de emisiones, sino una oportunidad para transformar nuestros espacios en lugares que respiran en armonía con la naturaleza. A través de las líneas de esta obra, exploraremos las rutas que nos permiten abrazar la eficiencia energética, las energías renovables, la electrificación y la innovación industrial como pilares fundamentales para un futuro habitable.

En cada capítulo, no solo encontrará el lector datos y análisis, sino historias de personas y comunidades que están dando pasos audaces hacia la descarbonización. Historias de arquitectos visionarios, ingenieros apasionados y residentes comprometidos que se niegan a aceptar un estatus quo insostenible. Así cada capítulo se sumerge en la ciencia y la tecnología de una vida sostenible, como herramientas para el cambio, como un eslabón en la cadena de una transformación más amplia.

Este libro es una invitación a imaginar un futuro donde nuestras edificaciones sean símbolos de innovación y resiliencia, donde nuestras decisiones individuales y colectivas se sumen en una marea de cambio positivo. Es un llamado a unirnos en esta causa común, a mirar más allá de los ladrillos y el concreto, y a reconocer que nuestros hogares son parte de un ecosistema más amplio. Juntos, podemos tejer un futuro en el que las edificaciones multifamiliares sean faros de esperanza en un mundo en transición.

En estas páginas, descubriremos que no solo estamos construyendo edificios, sino también un legado. Un legado de respeto por nuestro planeta y por aquellos que heredarán lo que dejamos atrás. Que este libro sea un faro de inspiración para todos los que se aventuran a cambiar el rumbo, a transformar la comodidad en compromiso y a construir no solo para el presente, sino para un mañana más brillante y sostenible.

Dra. Franyelit Suárez  
Editora en jefe  
AutanaBooks

## Introducción

En la búsqueda de un futuro más limpio y sostenible, las edificaciones multifamiliares se destacan como una pieza fundamental del rompecabezas. El desafío de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes de estas estructuras nos impulsa a explorar tecnologías de descarbonización revolucionarias. A medida que la conciencia ambiental crece, la industria de la construcción se enfrenta a la responsabilidad de adoptar soluciones que no solo minimicen el impacto ambiental, sino que también establezcan nuevos estándares para la eficiencia energética y el diseño ecoamigable.

En este libro se presenta una investigación donde se ha abordado un desafío crucial en el contexto actual, que es la descarbonización de las edificaciones multifamiliares en la ciudad de Lima Metropolitana en Perú. A través de un enfoque integral que abarca la eficiencia energética, la adopción de energías renovables, la electrificación, la modelación de biomasa y la innovación industrial, se busca no solo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también transformar la forma en que concebimos, construimos y habitamos nuestros espacios residenciales. Este enfoque no solo se traduce en beneficios medioambientales, sino que también impacta en la competitividad, la productividad y la calidad de vida de los residentes.

El libro está estructurado por cinco capítulos:

### Capítulo 1: La Trayectoria hacia la Descarbonización

En este capítulo, exploraremos el trasfondo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares y su contribución al cambio climático. Analizaremos la importancia de abordar este problema mediante la implementación de tecnologías avanzadas que promuevan la descarbonización y establezcan un camino hacia la sostenibilidad. Además, se detalla el contexto que ha motivado esta investigación, que es la urgente necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### Capítulo 2: Cimentando el Cambio con Innovación Tecnológica

Aquí nos sumergiremos en un apasionante viaje a través de las últimas tecnologías desarrolladas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificios residenciales. Desde sistemas de energía solar integrados en la arquitectura hasta soluciones de eficiencia energética basadas en inteligencia artificial, exploraremos cómo estas innovaciones están transformando la forma en que concebimos, construimos y habitamos nuestras viviendas.

### Capítulo 3: Energías Renovables: Más Allá de los Techos Solares

Las energías renovables desempeñan un papel crucial en la descarbonización de edificaciones multifamiliares. En este capítulo, examinaremos cómo las tecnologías emergentes, como la captura de energía geotérmica y eólica, están siendo adaptadas para su aplicación en entornos urbanos. También consideraremos cómo la combinación de diversas fuentes renovables puede llevarnos hacia un futuro energético más limpio y resiliente. Además, se detallan todos los elementos metodológicos que condujeron a la realización de la investigación.

### Capítulo 4: Diseñando el Mañana: Edificaciones de Consumo Casi Nulo

La eficiencia energética y el diseño orientado hacia la sostenibilidad son elementos esenciales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares. En este capítulo, exploraremos conceptos como los edificios de consumo casi nulo, donde la combinación de diseño inteligente, aislamiento eficiente y sistemas de gestión energética proporciona un enfoque holístico para minimizar el impacto ambiental.

### Capítulo 5: Prospectivas futuras

En este capítulo se despliegan los resultados del análisis cuantitativo y cualitativo. Se incorporan gráficos y curvas de control para el análisis de calidad y riesgo. A partir de estos resultados, se derivan conclusiones significativas que responden a las preguntas de investigación planteadas. Se ofrecen recomendaciones basadas en los hallazgos y se vislumbran futuras líneas de investigación. Se presentan todos los elementos hallados en el proceso de elaboración de esta investigación.

### Capítulo 6: Desafíos y Oportunidades

Finalmente, abordaremos los desafíos prácticos, económicos y regulatorios que acompañan a la implementación de estas tecnologías de descarbonización en edificaciones multifamiliares. A través de un análisis en profundidad, evaluaremos las oportunidades que surgen al superar estos obstáculos y cómo la colaboración entre gobiernos, industria y sociedad puede acelerar la adopción de soluciones sostenibles.

# CAPÍTULO 1

## LA TRAYECTORIA HACIA LA DESCARBONIZACIÓN

En este capítulo, exploraremos el trasfondo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares y su contribución al cambio climático. Analizaremos la importancia de abordar este problema mediante la implementación de tecnologías avanzadas que promuevan la descarbonización y establezcan un camino hacia la sostenibilidad. Además, se detalla el contexto que ha motivado esta investigación, que es la urgente necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La trayectoria hacia la descarbonización es un viaje esencial en la lucha global contra el cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta travesía abarca una serie de estrategias, tecnologías y enfoques destinados a eliminar o reducir drásticamente la huella de carbono en diversos sectores, desde la energía y la industria hasta el transporte y la construcción. Su objetivo fundamental es llevar a la sociedad hacia un estado en el cual las emisiones netas de carbono sean cercanas a cero.

En este camino, la descarbonización implica un conjunto de pasos clave:

**1. Transformación Energética:** Uno de los cimientos fundamentales de la descarbonización es la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica. Reemplazar gradualmente los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, con energías más sostenibles es esencial para reducir drásticamente las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la generación de electricidad y la calefacción. La transformación energética es un proceso fundamental en la búsqueda de una sociedad más sostenible y libre de emisiones de carbono. Consiste en cambiar radicalmente la forma en que producimos, distribuimos y consumimos energía, alejándonos de los combustibles fósiles altamente contaminantes y migrando hacia fuentes de energía limpias y renovables. Esta transformación es esencial para abordar el cambio climático, reducir la contaminación del aire y mejorar la seguridad energética a nivel global.

*Fuentes de Energía Limpia y Renovable:*

La transformación energética implica un giro hacia fuentes de energía que no generen emisiones significativas de gases de efecto invernadero. Esto incluye la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa. Estas fuentes son inherentemente más sostenibles y menos perjudiciales para el medio ambiente en comparación con los combustibles fósiles. Además, a medida que avanza la tecnología, se vuelven cada vez más eficientes y económicamente viables.

*Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>:*

Uno de los principales objetivos de la transformación energética es reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Al depender menos de los combustibles fósiles, que liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> cuando se queman, podemos disminuir significativamente la huella de carbono de nuestras actividades diarias.

### *Descentralización de la Generación de Energía:*

La transformación energética también está asociada con una mayor descentralización de la generación de energía. A medida que más hogares, empresas y comunidades adoptan tecnologías de generación distribuida, como paneles solares y turbinas eólicas pequeñas, se reduce la dependencia de las grandes plantas de energía centralizadas que a menudo funcionan con combustibles fósiles.

### *Generación de Empleo y Desarrollo Económico:*

La transición hacia fuentes de energía limpias también tiene el potencial de impulsar la creación de empleo y el desarrollo económico. La industria de energías renovables, incluida la fabricación, instalación y mantenimiento de equipos, está en constante crecimiento y ofrece oportunidades laborales en una variedad de campos.

### *Innovación Tecnológica:*

La transformación energética impulsa la innovación tecnológica. A medida que se invierte más en investigaciones para mejorar la eficiencia de las tecnologías de energías renovables, almacenamiento de energía y redes inteligentes, se abren nuevas oportunidades para soluciones más eficientes y rentables.

### *Desafíos y Oportunidades:*

A pesar de sus beneficios, la transformación energética también presenta desafíos, como la intermitencia de algunas fuentes renovables y la necesidad de desarrollar sistemas de almacenamiento de energía más avanzados. Sin embargo, estos desafíos también crean oportunidades para la innovación y la creación de soluciones más robustas y flexibles.

2. **Eficiencia Energética:** Reducir el consumo de energía es igualmente crucial. Mejorar la eficiencia energética en edificaciones, industrias y procesos esenciales puede disminuir la demanda de energía y, por lo tanto, las emisiones. Esto implica adoptar tecnologías más eficientes, mejorar el aislamiento térmico, optimizar los sistemas de calefacción y refrigeración, y fomentar prácticas de uso de energía más conscientes.

La eficiencia energética es un concepto fundamental en la búsqueda de un uso responsable y sostenible de los recursos energéticos disponibles. Se refiere a la optimización de la cantidad de energía necesaria para realizar una actividad, proceso o tarea específica, con el objetivo de obtener el máximo rendimiento con el mínimo consumo de recursos. La eficiencia energética juega un papel esencial en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la mitigación del cambio climático, al disminuir la demanda de combustibles fósiles y otros recursos no renovables.

## **Importancia de la Eficiencia Energética:**

*La eficiencia energética es importante por varias razones:*

**Reducción de Emisiones:** Al reducir la cantidad de energía utilizada para realizar una tarea, se disminuye la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociados con la generación de energía. Esto contribuye directamente a la mitigación del cambio climático.

**Ahorro de Recursos:** Utilizar menos energía significa una menor dependencia de recursos no renovables, como el petróleo, el gas y el carbón. Esto ayuda a conservar los recursos naturales y a reducir la presión sobre los ecosistemas.

**Economía de Costos:** La eficiencia energética puede generar ahorros significativos en costos operativos, ya que se requiere menos energía para llevar a cabo una actividad. Esto es especialmente relevante para hogares, empresas e industrias que buscan reducir sus gastos.

**Mejora de la Competitividad:** Las empresas y los países que adoptan prácticas de eficiencia energética suelen ser más competitivos en términos económicos y ambientales. La eficiencia puede aumentar la productividad y mejorar la imagen de sostenibilidad.

**Desarrollo Tecnológico:** La búsqueda de la eficiencia energética fomenta la innovación y el desarrollo de tecnologías más avanzadas. Esto puede generar nuevas oportunidades de empleo y contribuir al crecimiento económico.

## **Áreas de Aplicación:**

*La eficiencia energética se aplica en diversos sectores:*

**Edificaciones:** Mejorar el aislamiento térmico, adoptar iluminación LED, utilizar equipos y electrodomésticos eficientes, y diseñar edificios con ventilación natural son ejemplos de prácticas de eficiencia energética en edificaciones.

**Transporte:** Utilizar vehículos más eficientes en consumo de combustible, promover el transporte público y fomentar la movilidad sostenible son formas de abordar la eficiencia energética en el transporte.

**Industria:** Optimizar procesos de producción, implementar sistemas de cogeneración de energía y reducir las pérdidas energéticas son enfoques clave para mejorar la eficiencia en la industria.

**Generación de Energía:** Incrementar la eficiencia de las plantas de generación eléctrica, así como la integración de fuentes de energía renovable, son formas de aumentar la eficiencia en la generación de energía.

## **Políticas y Medidas:**

Para promover la eficiencia energética, se requieren políticas gubernamentales, incentivos y regulaciones que fomenten la adopción de prácticas y tecnologías eficientes. La etiqueta energética en electrodomésticos, los estándares de construcción sostenible y los programas de incentivos para la adopción de energías renovables son ejemplos de medidas implementadas en muchos países.

**3. Electrificación:** En muchos sectores, como el transporte y la calefacción, se está promoviendo la electrificación. Reemplazar vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos y adoptar sistemas de calefacción eléctrica en lugar de usar combustibles fósiles puede ayudar a eliminar las emisiones de CO<sub>2</sub> directamente relacionadas con la quema de gasolina, diésel u otros combustibles fósiles. La electrificación es un proceso clave en la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible. Implica reemplazar el uso de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural, con la electricidad como fuente principal de energía en diversos sectores, como el transporte, la calefacción y la industria. La electrificación es una estrategia fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar hacia la descarbonización de la economía.

## **Importancia de la Electrificación:**

La electrificación ofrece varios beneficios importantes:

**Reducción de Emisiones:** Al eliminar el uso de combustibles fósiles en sectores intensivos en energía, como el transporte y la calefacción, la electrificación puede reducir drásticamente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros contaminantes del aire.

**Mayor Eficiencia Energética:** Los sistemas eléctricos son inherentemente más eficientes que los motores de combustión interna en los vehículos o los sistemas de calefacción a base de combustibles fósiles. La electrificación puede mejorar la eficiencia energética general del sistema.

**Diversificación de Fuentes de Energía:** Al depender de la electricidad, se crea una mayor flexibilidad en la elección de fuentes de generación de energía. Esto permite la integración más fácil de fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica.

**Menor Contaminación Local:** Los sistemas eléctricos tienden a generar menos contaminantes locales, como óxidos de nitrógeno y partículas finas, en comparación con los motores de combustión interna.

## **Aplicaciones de la Electrificación:**

La electrificación puede aplicarse en diversas áreas:

**Transporte:** La transición hacia vehículos eléctricos, como autos, autobuses y bicicletas eléctricas, es una de las áreas más prominentes de electrificación. Los vehículos eléctricos (VE) no emiten gases de escape y se cargan con electricidad, lo que puede provenir de fuentes renovables.

**Calefacción y Refrigeración:** En lugar de depender de combustibles fósiles para la calefacción y el enfriamiento de edificios, se pueden usar bombas de calor eléctricas, que transfieren calor de una fuente a otra utilizando electricidad.

**Industria:** En la industria, la electrificación puede implicar el uso de equipos y procesos eléctricos en lugar de equipos que funcionan con combustibles fósiles. Por ejemplo, la electrificación de hornos y calderas.

## **Desafíos de la Electrificación:**

Aunque la electrificación ofrece muchos beneficios, también presenta desafíos:

**Infraestructura de Carga:** Para los vehículos eléctricos, se necesita una infraestructura de carga pública y privada más amplia y conveniente.

**Generación de Electricidad:** La electrificación puede aumentar la demanda de electricidad, lo que destaca la importancia de contar con una generación de electricidad más limpia y renovable.

**Almacenamiento de Energía:** La electrificación en sectores como el transporte puede requerir avances en tecnologías de almacenamiento de energía para manejar la variabilidad de la demanda y la oferta.

**4. Captura y Almacenamiento de Carbono:** La tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CAC) busca capturar las emisiones de CO<sub>2</sub> en su fuente y luego almacenarlas de manera segura y permanente bajo tierra o en otros lugares adecuados. Esto puede ser especialmente relevante en industrias donde la emisión cero es difícil de lograr. La captura y almacenamiento de carbono (CAC), también conocido como captura y almacenamiento de carbono geológico (CACG), es una tecnología clave en la lucha contra el cambio climático. Esta tecnología se enfoca en capturar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generado por fuentes industriales o de energía antes de que llegue a la atmósfera, y luego almacenarlo de manera segura y permanente en formaciones geológicas subterráneas. El CAC tiene como objetivo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y ayudar a limitar el calentamiento global al evitar que grandes cantidades de este gas lleguen a la atmósfera.

## **Proceso de Captura y Almacenamiento de Carbono:**

El proceso de CAC generalmente involucra tres etapas principales:

*Captura:* El CO<sub>2</sub> se captura en su fuente antes de ser liberado a la atmósfera. Esto puede ocurrir en instalaciones industriales, plantas de energía a base de combustibles fósiles o incluso en procesos de producción de hidrógeno.

*Transporte:* Una vez capturado, el CO<sub>2</sub> se transporta a través de tuberías o medios similares hasta sitios adecuados para el almacenamiento.

*Almacenamiento:* El CO<sub>2</sub> se inyecta bajo tierra en formaciones geológicas subterráneas adecuadas, como antiguos yacimientos de petróleo y gas, acuíferos salinos o rocas sedimentarias. Estas formaciones actúan como reservorios naturales que pueden retener el CO<sub>2</sub> de manera segura durante miles de años.

## **Importancia del CAC:**

La captura y almacenamiento de carbono es crucial por varias razones:

*Reducción de Emisiones:* Al capturar y almacenar CO<sub>2</sub>, se evita que este gas de efecto invernadero llegue a la atmósfera, reduciendo significativamente las emisiones y su contribución al cambio climático.

## **Desafíos y Consideraciones:**

El CAC enfrenta varios desafíos y consideraciones:

*Tecnología y Costos:* La captura de CO<sub>2</sub> es un proceso energéticamente intensivo y costoso. El desarrollo de tecnologías de captura más eficientes y rentables es esencial.

*Almacenamiento Seguro:* Garantizar que el CO<sub>2</sub> almacenado permanezca de manera segura y no regrese a la atmósfera en el futuro es una preocupación crítica. Se requieren investigaciones geológicas exhaustivas.

*Regulación y Permisos:* La implementación del CAC requiere regulaciones sólidas y permisos adecuados para asegurar que se sigan las mejores prácticas y se minimicen los riesgos.

*Equidad y Justicia:* Se debe considerar la equidad en la distribución de los beneficios y riesgos del CAC, especialmente en comunidades cercanas a los sitios de almacenamiento.

5. *Cambio en los Patrones de Consumo*: La descarbonización también requiere un cambio en los patrones de consumo, desde la elección de alimentos con menor huella de carbono hasta la adopción de estilos de vida más sostenibles. La producción de alimentos, la moda y otros sectores contribuyen significativamente a las emisiones, y un cambio hacia prácticas más sostenibles puede tener un impacto considerable.

El cambio en los patrones de consumo se refiere a la modificación de la forma en que las personas, comunidades y sociedades en general utilizan los recursos naturales, los bienes y los servicios. En el contexto del cambio climático y la sostenibilidad, este cambio implica adoptar hábitos y decisiones que reduzcan la huella ecológica, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos y minimizando el impacto ambiental.

### **Importancia del Cambio en los Patrones de Consumo:**

**El cambio en los patrones de consumo es esencial por varias razones:**

*Reducción de Emisiones*: Muchas actividades de consumo, como la producción y el transporte de bienes, generan emisiones de gases de efecto invernadero. Al cambiar hacia prácticas más sostenibles, se pueden reducir estas emisiones.

*Conservación de Recursos*: Consumir de manera más consciente y moderada ayuda a conservar recursos naturales, como agua, energía, minerales y tierra. Esto es crucial para la preservación de ecosistemas y la biodiversidad.

*Mitigación de Impacto Ambiental*: El consumo excesivo y la producción de residuos pueden tener un impacto negativo en el entorno. Al cambiar los patrones de consumo, se puede reducir la contaminación y la degradación ambiental.

*Promoción de la Sostenibilidad*: El cambio en los patrones de consumo fomenta una mentalidad de sostenibilidad, en la que las personas consideran el impacto a largo plazo de sus decisiones y acciones.

### **Estrategias para el Cambio en los Patrones de Consumo:**

Existen diversas estrategias para promover un cambio positivo en los patrones de consumo:

*Consumo Consciente*: Tomar decisiones informadas sobre lo que se compra, buscando productos duraderos, de alta calidad y respetuosos con el medio ambiente.

**Reducción del Consumo:** Cuestionar la necesidad real de adquirir nuevos bienes y reducir el consumismo impulsivo.

**Preferencia por Productos Sostenibles:** Optar por productos etiquetados como orgánicos, locales, de comercio justo o con menor huella de carbono.

**Alimentación Sostenible:** Adoptar dietas más basadas en plantas, reducir el desperdicio de alimentos y apoyar la producción local y sostenible.

**Movilidad Sostenible:** Utilizar medios de transporte más limpios y eficientes, como caminar, andar en bicicleta o utilizar el transporte público.

**Reducción de Residuos:** Minimizar el uso de productos de un solo uso, reciclar y reutilizar materiales cuando sea posible.

**Economía Circular:** Promover un modelo económico en el que los productos, materiales y recursos se mantengan en uso el mayor tiempo posible y se reciclen al final de su vida útil.

#### *Desafíos y Consideraciones:*

El cambio en los patrones de consumo enfrenta desafíos, como la influencia de la publicidad y la cultura del consumismo. Además, la capacidad de realizar cambios puede variar según la ubicación geográfica, los recursos disponibles y las condiciones socioeconómicas.

#### *Educación y Conciencia:*

La educación y la conciencia son fundamentales para impulsar el cambio en los patrones de consumo. A medida que las personas comprenden la conexión entre sus elecciones de consumo y el impacto ambiental, están mejor equipadas para tomar decisiones más sostenibles.

La trayectoria hacia la descarbonización es un reto global que exige la colaboración de gobiernos, empresas, comunidades y ciudadanos. Además de los aspectos tecnológicos, también implica cambios en la política, la regulación y la conciencia pública. Si bien puede ser un camino desafiante, es fundamental para garantizar un futuro habitable y saludable para las generaciones venideras.

Considerando estas premisas, y reconociendo la importancia de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, en este libro se analizaron los siguientes problemas de investigación:

## **Problema General:**

Las tecnologías de descarbonización y su impacto en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en Edificaciones Multifamiliares de Lima Metropolitana.

## **Problemas Específicos:**

a. ¿Cómo afectan las tecnologías de descarbonización desde la perspectiva de la eficiencia energética a la producción y consumo en Edificaciones Multifamiliares? ¿En qué medida mejoran la productividad, competitividad y disminuyen la huella ambiental en zonas urbanas a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones?

b. ¿Cuál es la contribución de las tecnologías de descarbonización con un enfoque en energía renovable en la transformación de la generación y consumo de energía en Edificaciones Multifamiliares? ¿Cómo facilitan un mayor ahorro energético y promueven la adopción acelerada de fuentes de energía renovable?

c. ¿De qué manera las tecnologías de descarbonización, priorizando la electrificación, reemplazan gradualmente los equipos y dispositivos alimentados por combustibles fósiles en Edificaciones Multifamiliares, mediante la implementación de tecnología eléctrica moderna?

d. ¿Cómo influyen las tecnologías de descarbonización con un enfoque en la modelación de la biomasa en la evaluación y selección de diferentes alternativas energéticas en Edificaciones Multifamiliares? ¿Cómo se compara la eficiencia de estas alternativas y cómo se logra optimizar su rendimiento energético a través de simulaciones más eficientes, garantizando un diseño sustentable en términos de energía?

e. ¿Qué impacto tienen las tecnologías de descarbonización con énfasis en la industrialización en la fase de diseño y desarrollo de Edificaciones Multifamiliares sostenibles? ¿Cómo contribuyen a alcanzar la neutralidad de emisiones de carbono y qué rol desempeñan en la consecución de la eficiencia y sostenibilidad en el ámbito de la edificación?

Y partiendo de este análisis se formulan los siguientes objetivos:

## **Objetivo general**

Determinar las Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> empleadas en las edificaciones multifamiliares en la ciudad de Lima Metropolitana, Perú.

## Objetivos específicos

1.Determinar desde el enfoque de la eficiencia energética la forma de cambiar la producción y consumo, mejorar la productividad, la competitividad y reducir la huella del impacto medioambiental durante el ciclo de vida de la edificación.

2.Determinar desde el enfoque de energía renovable la forma de generar y consumir energía y obtener el mayor ahorro energético acelerando la implementación de energías renovables.

3.Determinar 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.

4.Determinar desde el enfoque de la modelación de la biomasa y establecer diferentes alternativas energéticas, comparar la eficiencia de cada una de ellas, definir un modelo que optimice su rendimiento energético, crear simulaciones mucho más económicas y garantizar un diseño sustentable en términos de energía.

5.Determinar la tecnología desde el enfoque de la industrialización y obtener la eficiencia y sostenibilidad en la fase de diseño para digitalizar e impulsar la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono.

# CAPÍTULO 2

## **CIMENTANDO EL CAMBIO CON INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

Aquí nos sumergiremos en un apasionante viaje a través de las últimas tecnologías desarrolladas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificios residenciales. Desde sistemas de energía solar integrados en la arquitectura hasta soluciones de eficiencia energética basadas en inteligencia artificial, exploraremos cómo estas innovaciones están transformando la forma en que concebimos, construimos y habitamos nuestras viviendas.

## Paneles Solares Integrados:

Los paneles solares fotovoltaicos se han vuelto más eficientes y asequibles. Se pueden integrar en techos, fachadas y ventanas, permitiendo a los edificios residenciales generar su propia energía limpia.

Los paneles solares integrados, también conocidos como paneles solares fotovoltaicos integrados (BIPV, por sus siglas en inglés), tienen su origen en la búsqueda de formas más estéticas y eficientes de incorporar la energía solar en la arquitectura. Aunque los paneles solares convencionales ya existían, la idea de integrarlos directamente en elementos de construcción como techos y fachadas comenzó a ganar popularidad en las últimas décadas debido a su potencial para lograr una mayor aceptación estética y una mayor eficiencia energética.

*Existen varios tipos de paneles solares integrados:*

**Paneles Solares para Techos:** Estos paneles se integran directamente en el diseño del techo, reemplazando los materiales de techo convencionales. Pueden ser tejas solares que se asemejan a tejas tradicionales o láminas solares que se montan sobre el techo.



Figura 1. Panel solar de techo  
Fuente: IA de Canva

**Paneles Solares para Fachadas:** Se colocan en las fachadas de los edificios y pueden ser transparentes, semitransparentes u opacos, permitiendo que la luz pase a través de ellos en algunos casos.



Figura 2. Panel solar de fachada  
Fuente: IA de Canva



Paneles Solares para Ventanas: Se incorporan en ventanas y tragaluces, aprovechando el espacio vertical disponible para la generación de energía solar.

Figura 3. Panel solar de ventana

Fuente: ALUMED

<https://alumedistemas.com/ventanas-solares/>

*Los paneles solares integrados tienen diversas aplicaciones en la arquitectura y la construcción:*

**Edificios Residenciales:** Pueden utilizarse en techos, fachadas y ventanas de viviendas, generando energía y reduciendo las facturas de electricidad.

**Edificios Comerciales:** Los paneles solares integrados pueden ser incorporados en oficinas, centros comerciales, hoteles y otros edificios comerciales.

**Edificios Públicos:** También se pueden utilizar en edificios públicos como escuelas, hospitales y bibliotecas.

La fabricación de paneles solares integrados involucra la incorporación de celdas solares en elementos de construcción. Las celdas solares pueden ser monocristalinas, policristalinas o de película delgada. Los paneles solares integrados suelen ser más flexibles y adaptables en términos de forma y tamaño, lo que permite su integración en diferentes partes del edificio.

La conexión de los paneles solares integrados depende del tipo de sistema y de la configuración del edificio. Los paneles se conectan en serie o en paralelo para formar matrices que generan la energía necesaria. La energía generada puede utilizarse directamente en el edificio o ser redirigida a la red eléctrica.

## Almacenamiento de Energía:

Las baterías de almacenamiento permiten a los edificios residenciales almacenar el exceso de energía generada por fuentes renovables, como paneles solares. Esto permite utilizar esa energía durante las horas pico de demanda o cuando las fuentes renovables no estén disponibles.

Las tecnologías de almacenamiento de energía desempeñan un papel crucial en la transición hacia un sistema energético más eficiente, flexible y sostenible. Estas tecnologías permiten capturar y almacenar energía en momentos de exceso de producción para su posterior liberación cuando la demanda es alta o cuando las fuentes de generación no están disponibles. Esto equilibra la oferta y la demanda de energía, mejora la resiliencia de la red y facilita la integración de fuentes de energía renovable intermitente, como la solar y la eólica. Aquí tienes información importante sobre las tecnologías de almacenamiento de energía:

### *Tipos de Tecnologías de Almacenamiento:*

**Baterías:** Son dispositivos electroquímicos que almacenan energía en forma química y la liberan en forma de electricidad cuando se necesita. Las baterías de iones de litio son las más comunes en aplicaciones residenciales y comerciales debido a su alta densidad de energía y eficiencia.

**Almacenamiento Térmico:** Almacena energía en forma de calor utilizando materiales que pueden retener y liberar calor cuando sea necesario. Los sistemas de almacenamiento térmico se utilizan en aplicaciones como calefacción y refrigeración de edificios y en plantas de energía solar concentrada.



Figura 4. Baterías  
Fuente: IA de Canva

**Almacenamiento de Aire Comprimido:** Comprime aire en tanques durante períodos de baja demanda y lo libera para generar electricidad cuando la demanda es alta. Este método es eficiente para el almacenamiento de energía a gran escala.

**Almacenamiento de Hidrógeno:** Convierte la electricidad excedente en hidrógeno, que puede almacenarse y posteriormente ser utilizado en pilas de combustible para generar electricidad cuando sea necesario.

**Volantes de Inercia:** Almacenan energía cinética rotacional utilizando un volante que gira a alta velocidad. Cuando se necesita energía, el volante desacelera y la energía cinética se convierte en electricidad.

### *Aspectos Importantes:*

**Eficiencia:** La eficiencia de almacenamiento se refiere a cuánta energía se almacena en comparación con la cantidad de energía utilizada para almacenarla y luego liberarla. Una alta eficiencia es importante para minimizar pérdidas de energía.

**Capacidad y Escalabilidad:** La capacidad de almacenamiento se refiere a cuánta energía puede almacenar un sistema. La escalabilidad se relaciona con la capacidad de aumentar el almacenamiento según sea necesario.

**Durabilidad y Ciclos de Vida:** La durabilidad y el número de ciclos de carga y descarga que una tecnología de almacenamiento puede soportar son cruciales para su viabilidad económica a largo plazo.

**Tiempo de Respuesta:** Algunas tecnologías de almacenamiento pueden liberar energía rápidamente (segundos a minutos), mientras que otras son más adecuadas para el almacenamiento a largo plazo (horas a días).

**Costos:** Los costos iniciales, operativos y de mantenimiento son factores determinantes en la elección de una tecnología de almacenamiento. En muchos casos, los costos están disminuyendo a medida que las tecnologías maduran y se adoptan en mayor medida.

**Aplicaciones:** Las tecnologías de almacenamiento se utilizan en diversas aplicaciones, desde la generación de energía a gran escala hasta el almacenamiento residencial y comercial. Pueden ayudar a suavizar las fluctuaciones de la demanda y la generación, respaldar sistemas eléctricos durante apagones y permitir la integración de energía renovable en la red.

**Sistemas de Gestión de Energía:** Las tecnologías de gestión energética utilizan sensores y software para controlar y optimizar el uso de la energía en un edificio. Pueden ajustar la iluminación, la calefacción y la refrigeración en función de la ocupación y las condiciones climáticas, reduciendo así el consumo de energía.

Las tecnologías de gestión energética (GEM) se centran en optimizar y controlar el consumo de energía de manera eficiente. Su objetivo es reducir los costos energéticos, mejorar la eficiencia operativa y minimizar la huella ambiental. Algunas características clave incluyen:

**Monitorización:** GEM permite el seguimiento en tiempo real del consumo de energía y otros parámetros relevantes.

**Control:** Proporciona capacidades para ajustar sistemas y equipos para optimizar el consumo.

**Automatización:** GEM automatiza procesos para reducir el consumo de energía sin intervención humana constante.

**Análisis:** Ofrece análisis de datos para identificar patrones, ineficiencias y oportunidades de mejora.

*Existen diferentes tipos de sistemas de gestión de energía:*

**Sistemas de Control de Edificios (BMS):** Controlan la iluminación, climatización y otros sistemas en edificios para garantizar su funcionamiento eficiente.

**Sistemas de Control Industrial (ICS):** Se aplican en la industria para optimizar procesos y maquinaria.

**Sistemas de Gestión de Energía (EMS):** Se enfocan en la monitorización y control de consumos energéticos en tiempo real.

**Herramientas de Análisis Energético:** Ayudan a evaluar patrones de consumo, identificar ineficiencias y modelar estrategias de ahorro.

*Para su implementación utiliza las siguientes herramientas:*

**Sensores y Dispositivos IoT:** Proporcionan datos en tiempo real sobre el consumo de energía y otros parámetros.

**Software de Análisis y Monitoreo:** Permite visualizar datos, realizar análisis y tomar decisiones informadas.

**Sistemas de Automatización:** Controlan sistemas y equipos automáticamente según los parámetros establecidos.

**Algoritmos de Optimización:** Utilizados para programar operaciones y ajustar sistemas de manera eficiente.

*Sus principales aplicaciones son:*

**Edificios:** Optimizan la iluminación, climatización y sistemas de energía en edificios comerciales y residenciales.

**Industria:** Controlan el consumo de energía en procesos industriales para reducir costos y mejorar la eficiencia.

**Transporte:** Gestionan flotas de vehículos eléctricos y optimizan la carga y descarga de baterías.

Es importante mencionar que los costos de implementación varían según la escala y complejidad del sistema. Para edificios residenciales, las soluciones de GEM pueden ser asequibles, mientras que para la industria y aplicaciones a gran escala, los costos pueden ser más significativos debido a la inversión en hardware y software. Sin embargo, los ahorros de energía y la mejora en la eficiencia suelen resultar en un retorno de inversión a largo plazo.

### **Ventilación y Climatización Eficiente:**

Los sistemas de climatización y ventilación de alta eficiencia energética, como los sistemas de bomba de calor y la recuperación de calor, reducen el consumo energético al mantener temperaturas cómodas en los edificios sin gastar excesiva energía.

Las tecnologías de ventilación y climatización eficiente se centran en proporcionar un ambiente interior cómodo y saludable, minimizando el consumo energético y reduciendo el impacto ambiental. Estas tecnologías optimizan la distribución del aire, el control de la temperatura y la humedad, y el filtrado del aire para lograr una climatización más eficiente.

*Existen diferentes tipos:*

**Ventilación Natural:**

Utiliza la circulación de aire natural a través de aberturas, ventanas y sistemas de ventilación para refrescar y renovar el aire interior.

**Sistemas de Aire Acondicionado Eficiente:**

Incluyen sistemas de refrigeración y calefacción que se han optimizado para maximizar la eficiencia energética.

Ventilación Mecánica Controlada (VMC): Emplea ventiladores y sistemas automatizados para controlar el flujo de aire, mejorando la calidad del aire interior.

Sistemas de Climatización Radiante: Utilizan superficies como pisos o techos para calentar o enfriar el aire de manera uniforme, mejorando la comodidad y reduciendo la demanda de energía.

*Sus principales partes y secciones son:*

Unidades de Ventilación: Incluyen ventiladores y filtros para introducir aire fresco y eliminar el aire viciado.

Intercambiadores de Calor: Permiten transferir calor o frío entre el aire entrante y el aire saliente para precalentar o enfriar el aire de ventilación.

Sistemas de Distribución: Utilizan conductos y difusores para distribuir el aire acondicionado de manera uniforme en los espacios.

Sensores y Controladores: Monitorizan las condiciones interiores y ajustan automáticamente la ventilación y la climatización según sea necesario.

*Las fases que cumple un sistema de este tipo son:*

Entrada de Aire Fresco: Se introduce aire exterior y se filtra para asegurar la calidad del aire.

Acondicionamiento: El aire se calienta o enfría según las necesidades de confort.

Distribución: El aire acondicionado se distribuye a través de sistemas de conductos y difusores.

Recirculación y Extracción: El aire viciado se extrae y, en algunos casos, se recircula para mejorar la eficiencia energética.

*Sus principales aplicaciones son:*

Residencial: Se aplica en viviendas para proporcionar una climatización cómoda y mejorar la calidad del aire interior.

Comercial: Oficinas, centros comerciales, restaurantes y otros espacios comerciales utilizan estas tecnologías para crear un ambiente confortable para los empleados y clientes.

Comercial: Oficinas, centros comerciales, restaurantes y otros espacios comerciales utilizan estas tecnologías para crear un ambiente confortable para los empleados y clientes.

Industrial: En instalaciones industriales, se utilizan sistemas de ventilación y climatización para mantener condiciones óptimas de trabajo y productividad.

Hospitales y Centros de Salud: Estos espacios requieren una climatización y ventilación precisas para garantizar la salud y el bienestar de los pacientes.

### **Materiales de Construcción Sostenibles:**

El uso de materiales de construcción con menor huella de carbono, como hormigón de bajo contenido de CO<sub>2</sub>, aislamientos naturales y maderas certificadas, contribuye a reducir las emisiones en la fase de construcción y durante la vida útil del edificio.

Las tecnologías de materiales de construcción sostenibles se centran en el desarrollo y uso de materiales que tienen un menor impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Estos materiales están diseñados para ser eficientes en términos de energía, reducir el consumo de recursos naturales y minimizar los residuos y emisiones asociados a la construcción y demolición.

*Los principales tipos son:*

#### **Materiales de Bajo Contenido de Carbono:**

Materiales como el hormigón de bajo contenido de CO<sub>2</sub> y el acero reciclado reducen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su producción.

#### **Materiales Reciclados y Reciclables:**

Utilizan materiales provenientes de la recuperación y reciclaje, como el vidrio reciclado, la madera recuperada y el acero reciclado.

#### **Materiales Renovables:**

Incluyen materiales de origen natural, como la madera certificada y la paja, que se renuevan más rápidamente que los materiales tradicionales.

#### **Materiales de Aislamiento Eficiente:**

Materiales como la celulosa, el corcho y la lana de oveja se utilizan para aislar edificios y mejorar su eficiencia energética.

*Las principales ventajas son:*

**Reducción de Impacto Ambiental:** Estos materiales minimizan el agotamiento de recursos naturales, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la generación de residuos.

**Eficiencia Energética:** Los materiales de construcción sostenibles a menudo tienen mejores propiedades de aislamiento, lo que reduce el consumo de energía para la calefacción y la refrigeración.

**Calidad del Aire Interior:** Algunos materiales sostenibles emiten menos compuestos orgánicos volátiles (COVs), mejorando la calidad del aire interior.

**Innovación y Diseño Creativo:** La búsqueda de materiales sostenibles fomenta la innovación en la industria de la construcción y permite la creación de diseños únicos.

*Las principales aplicaciones son:*

**Viviendas Sostenibles:** Los materiales sostenibles se utilizan en la construcción de casas y edificios residenciales que buscan reducir su huella ambiental.

**Edificios Comerciales:** Oficinas, tiendas y otros edificios comerciales pueden beneficiarse de la eficiencia energética y la imagen sostenible que proporcionan estos materiales.

**Infraestructura Pública:** Proyectos de infraestructura, como puentes y carreteras, también pueden integrar materiales de construcción sostenibles.

*Ejemplos de Materiales:*

**Hormigón de Bajo Contenido de CO<sub>2</sub>:** Utiliza menos cemento y agrega sustitutos de cemento, como cenizas volantes, para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Madera Certificada:** La madera de bosques gestionados de manera sostenible reduce la tala excesiva y promueve la regeneración forestal.

**Aislamiento de Celulosa:** Hecho de papel reciclado, es un material de aislamiento eficiente y no tóxico.

**Bloques de Construcción de Tierra Comprimida:** Utilizan tierra local y agua para crear bloques sostenibles y de bajo impacto.

## Automatización y Domótica:

Los sistemas de automatización y domótica permiten a los residentes controlar y programar diferentes aspectos del hogar, como la iluminación, la climatización y los electrodomésticos, lo que puede resultar en un uso más eficiente de la energía.

Las tecnologías de automatización y domótica se centran en la automatización de tareas y sistemas en el hogar u oficina para mejorar la comodidad, la eficiencia energética, la seguridad y la conveniencia. Estas tecnologías permiten controlar y programar diferentes aspectos del entorno, desde la iluminación y la climatización hasta los electrodomésticos y sistemas de seguridad.

*Las principales funciones son:*

**Control Remoto:** Permite el control desde dispositivos móviles, como smartphones y tabletas, incluso cuando no estás en casa.

**Programación:** Permite programar escenarios y rutinas automáticas, como ajustar la iluminación según el horario o la temperatura.

**Integración:** Puede integrar diferentes sistemas, como iluminación, climatización y seguridad, para funcionar de manera conjunta.

**Sensores y Detección:** Utiliza sensores de movimiento, humedad, temperatura, entre otros, para activar o desactivar dispositivos automáticamente.

*Las principales aplicaciones son:*

**Iluminación Automatizada:** Ajusta automáticamente la intensidad de la luz según la hora del día o la presencia de personas en la habitación.

**Climatización Eficiente:** Controla la calefacción y el aire acondicionado para optimizar la temperatura y reducir el consumo energético.

**Control de Electrodomésticos:** Enciende y apaga electrodomésticos como neveras, lavadoras y secadoras de manera remota o programada.

**Sistemas de Seguridad:** Integra cámaras de seguridad, sensores de movimiento y alarmas para proteger el hogar.

Entretenimiento: Controla sistemas de audio y video, así como la distribución de contenido multimedia.

*Los beneficios de usar estas tecnologías son:*

Eficiencia Energética: La automatización puede reducir el consumo energético al ajustar los sistemas según la necesidad real.

Conveniencia: La capacidad de controlar y programar sistemas desde un dispositivo central proporciona mayor comodidad.

Seguridad: Los sistemas de seguridad automatizados mejoran la protección y notifican sobre eventos inusuales.

Ahorro de Tiempo: Las tareas diarias pueden automatizarse, lo que ahorra tiempo y permite enfocarse en otras actividades.

Personalización: La domótica permite personalizar la experiencia según las preferencias individuales.

*Ejemplos de Tecnologías:*

Asistentes Virtuales: Dispositivos como Amazon Echo y Google Home permiten controlar dispositivos mediante comandos de voz.

Termostatos Inteligentes: Ajustan automáticamente la temperatura en función de las preferencias y la detección de presencia.

Sistemas de Automatización Centralizados: Plataformas como Control4 o Crestron permiten la integración de múltiples sistemas.

Sistemas de Seguridad Inteligente: Cámaras, sensores y alarmas integrados en una única solución de seguridad.

Iluminación LED Inteligente: Las bombillas LED consumen mucho menos energía que las tradicionales y tienen una vida útil más larga. Los sistemas de iluminación LED inteligente pueden ajustar el nivel de luz según la necesidad, lo que ahorra energía.

La iluminación LED inteligente combina la eficiencia de la tecnología LED con la capacidad de control y automatización. Estas tecnologías permiten ajustar el color, la intensidad y la distribución de la luz de manera remota o programada. La iluminación LED inteligente no solo mejora la eficiencia energética, sino que también proporciona un mayor nivel de personalización y comodidad en los entornos iluminados.

*Las principales funciones son:*

**Control de Color:** Permite ajustar el color de la luz, creando ambientes diversos y adecuados para diferentes actividades.

**Control de Intensidad:** Ajusta la intensidad de la luz para adaptarse a las necesidades de iluminación en diferentes momentos.

**Programación:** Permite programar escenas y cambios de iluminación según el horario o las preferencias.

**Control Remoto:** Puede ser controlada desde dispositivos móviles, asistentes virtuales o sistemas de automatización.

*Las principales aplicaciones son:*

**Hogares Inteligentes:** Permite crear ambientes acogedores y eficientes en el hogar, ajustando la iluminación según las actividades y el tiempo del día.

**Oficinas y Espacios Comerciales:** La iluminación se adapta a las necesidades de iluminación de diferentes áreas y mejora la eficiencia energética.

**Espacios Públicos:** En lugares como plazas, parques y calles, la iluminación inteligente puede adaptarse según la presencia de personas o el nivel de luz natural.

**Instalaciones Deportivas:** Permite ajustar la iluminación en canchas y estadios para actividades deportivas y eventos.

*Los beneficios que presenta este tipo de tecnología son:*

**Eficiencia Energética:** Las luces LED ya son eficientes, y la capacidad de controlarlas permite un uso aún más eficiente.

**Personalización:** Se pueden crear escenas y ambientes según la actividad o el estado de ánimo.

**Confort Visual:** La iluminación adecuada puede mejorar la concentración y el bienestar.

**Ahorro de Costos:** Al ajustar la iluminación según la necesidad, se reducen los costos de energía.

**Longevidad:** Las luces LED tienen una vida útil más larga que las tecnologías tradicionales.

*Ejemplos de Tecnologías:*

**Bombillas y Focos LED Inteligentes:** Se pueden controlar y ajustar mediante aplicaciones móviles.

**Sistemas de Iluminación Centralizados:** Plataformas como Philips Hue y Lutron permiten el control de múltiples luces desde una única interfaz.

**Sensores y Automatización:** Los sensores de movimiento y luminosidad pueden activar o ajustar la iluminación según la presencia de personas o la luz natural.

**Control por Voz:** Asistentes virtuales como Amazon Alexa o Google Assistant permiten controlar la iluminación mediante comandos de voz.

**Electrodomésticos Eficientes:** Los electrodomésticos con certificación energética, como lavadoras, secadoras, refrigeradores y cocinas, son más eficientes en el consumo de energía y agua, lo que reduce la huella de carbono de un hogar.

Las tecnologías de electrodomésticos eficientes se diseñan para reducir el consumo de energía y recursos, minimizando el impacto ambiental y los costos operativos. Estos electrodomésticos utilizan tecnologías avanzadas y diseño inteligente para maximizar la eficiencia energética sin comprometer el rendimiento.

*Los principales tipos son:*

**Electrodomésticos de Cocina Eficientes:** Incluyen hornos, cocinas, refrigeradores y lavavajillas diseñados para consumir menos energía y agua durante su funcionamiento.

**Electrodomésticos de Lavandería Eficientes:** Lavadoras y secadoras de ropa que utilizan menos agua y energía, reduciendo el impacto ambiental y los costos.

**Electrodomésticos de Climatización Eficientes:** Aire acondicionado, calefacción y sistemas de agua caliente que maximizan la eficiencia energética.

*Los beneficios que presenta este tipo de tecnología son:*

**Ahorro de Energía:** Los electrodomésticos eficientes utilizan menos energía, lo que se traduce en facturas de energía más bajas.

**Reducción de Emisiones:** Al consumir menos energía, estos electrodomésticos disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Menos Consumo de Agua:** Los electrodomésticos eficientes de lavandería y cocina a menudo usan menos agua, contribuyendo al ahorro de recursos hídricos.

**Durabilidad:** Muchos electrodomésticos eficientes están diseñados para durar más tiempo, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes.

**Valor Agregado:** Los electrodomésticos eficientes pueden aumentar el valor de una propiedad y mejorar su calificación de eficiencia energética.

*Ejemplos de Tecnologías:*

**Electrodomésticos con Certificación ENERGY STAR:** Esta etiqueta identifica productos que cumplen con estándares de eficiencia energética.

**Tecnología de Compresores Inverter:** Presente en aires acondicionados y refrigeradores, ajusta la potencia del compresor según la demanda, reduciendo el consumo de energía.

**Electrodomésticos Inteligentes:** Pueden ser controlados y programados remotamente para optimizar su uso.

**Tecnología de Lavado con Burbujas:** Utilizada en lavadoras, crea burbujas que penetran las telas de manera eficiente, reduciendo la necesidad de agua caliente.

**Sistemas de Agua Caliente Eficientes:** Utilizan tecnología de calentamiento avanzada para reducir el consumo de energía en la producción de agua caliente.

**Sensores y Monitorización:** La instalación de sensores y sistemas de monitorización en los edificios permite detectar consumos ineficientes y ajustar los sistemas para optimizar la eficiencia energética.

Las tecnologías de sensores y monitorización se enfocan en la captura de datos y la supervisión en tiempo real de diferentes variables físicas, químicas o biológicas en entornos diversos. Estos sistemas utilizan sensores y dispositivos de recopilación de datos para brindar información precisa que puede ser analizada y utilizada para tomar decisiones informadas.

*Las principales funciones son:*

**Captura de Datos:** Los sensores registran información en tiempo real sobre condiciones ambientales, estado de equipos, presencia de personas, entre otros.

**Transmisión de Datos:** Los datos capturados se transmiten a sistemas de monitorización centralizados o aplicaciones móviles para su análisis y visualización.

**Alertas y Notificaciones:** Los sistemas de monitorización pueden generar alertas y notificaciones en caso de condiciones anormales o situaciones críticas.

**Análisis de Datos:** Los datos recopilados se analizan para identificar patrones, tendencias y oportunidades de mejora.

*Algunas de las aplicaciones de estas tecnologías son:*

**Gestión Energética:** Sensores monitorizan el consumo de energía y ayudan a identificar áreas de derroche.

**Seguridad:** Los sistemas de seguridad utilizan sensores para detectar intrusiones, incendios y otras situaciones de riesgo.

**Control Ambiental:** Sensores de temperatura, humedad y calidad del aire ayudan a mantener un entorno cómodo y saludable.

**Industria:** Los sensores se usan para supervisar la maquinaria, controlar la producción y prevenir fallos.

*Los beneficios de usar estas tecnologías son:*

**Detección Temprana:** Los sensores pueden detectar problemas antes de que se conviertan en situaciones graves.

**Eficiencia:** La monitorización permite optimizar el uso de recursos como energía y agua.

**Seguridad:** Los sistemas de seguridad basados en sensores aumentan la protección de personas y propiedades.

**Toma de Decisiones Informadas:** Los datos en tiempo real facilitan la toma de decisiones basadas en información actualizada.

## Ejemplos de Tecnologías:

**Sensores de Movimiento:** Detectan la presencia de personas y activan sistemas de iluminación o seguridad.

**Sensores de Temperatura y Humedad:** Monitorizan las condiciones ambientales para ajustar la climatización y prevenir problemas de humedad.

**Sistemas de Monitorización de Energía:** Controlan y registran el consumo eléctrico para identificar oportunidades de ahorro.

**Sistemas de Seguridad con Cámaras y Sensores:** Supervisan áreas y activan alarmas en caso de eventos inusuales.

**Sensores de Calidad del Aire:** Detectan contaminantes en el aire interior y exterior para mejorar la calidad del ambiente.

**Rehabilitación Energética:** Las técnicas de rehabilitación energética mejoran la eficiencia de edificios existentes mediante la instalación de aislamiento térmico, la renovación de sistemas de climatización y la mejora de la envolvente del edificio.

Las tecnologías de rehabilitación energética se centran en la mejora de la eficiencia energética y la reducción del consumo en edificios y estructuras existentes. Estas tecnologías buscan optimizar sistemas y componentes para minimizar la demanda de energía, reducir las emisiones de carbono y mejorar el confort interior.

## Beneficios:

**Ahorro Energético:** La rehabilitación energética reduce significativamente el consumo de energía, lo que se traduce en menores facturas y una menor huella ambiental.

**Mejora del Confort:** Al optimizar sistemas de climatización, aislamiento y ventilación, se logra un ambiente interior más cómodo.

**Valor Añadido:** La rehabilitación energética aumenta el valor de la propiedad y puede mejorar su calificación de eficiencia energética.

**Cumplimiento Normativo:** En muchos lugares, la rehabilitación energética es requerida por regulaciones para reducir emisiones y mejorar la sostenibilidad.

## Ejemplos de Tecnologías:

**Aislamiento Térmico:** Mejora la envolvente del edificio para reducir las pérdidas de calor o frío, como el uso de aislantes en paredes, techos y suelos.

**Ventanas Eficientes:** La instalación de ventanas de doble acristalamiento con baja transmitancia térmica reduce las fugas de calor.

**Sistemas de Climatización Eficiente:** Sustituir sistemas obsoletos por tecnologías más eficientes, como bombas de calor o sistemas de climatización radiante.

**Iluminación LED:** Reemplazar las lámparas incandescentes o fluorescentes por iluminación LED reduce el consumo energético en iluminación.

**Paneles Solares:** La instalación de paneles solares fotovoltaicos puede generar energía renovable para el edificio.

## Aplicaciones:

**Viviendas Particulares:** Los propietarios pueden realizar mejoras en sus hogares para reducir el consumo de energía y mejorar la comodidad.

**Edificios Comerciales y Oficinas:** La rehabilitación energética en estos espacios puede generar ahorros significativos y mejorar la imagen corporativa.

**Edificios Públicos:** Escuelas, hospitales y otros edificios públicos pueden beneficiarse de la rehabilitación para reducir costos operativos.

**Patrimonio Arquitectónico:** Se pueden aplicar tecnologías de rehabilitación en edificios históricos para mejorar su eficiencia sin comprometer su valor estético.

## **Soluciones de Eficiencia Energética basadas en Inteligencia Artificial: Características, Beneficios, Aplicaciones y Ejemplos**

### Características:

Las soluciones de eficiencia energética basadas en inteligencia artificial (IA) utilizan algoritmos y modelos de aprendizaje automático para analizar datos y optimizar el consumo de energía. Estas tecnologías aprovechan el poder de la IA para identificar patrones, tomar decisiones informadas y ajustar sistemas en tiempo real para mejorar la eficiencia energética.

**Automatización:** Los sistemas de eficiencia energética basados en IA pueden ajustar automáticamente sistemas y procesos para optimizar el consumo de energía.

**Ahorro de Costos:** La reducción del consumo de energía se traduce en ahorros significativos en costos operativos.

**Sostenibilidad Ambiental:** Al reducir el consumo de energía, se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto ambiental.

#### *Aplicaciones:*

**Gestión Energética en Edificios:** La IA optimiza la climatización, iluminación y otros sistemas en edificios para minimizar el consumo de energía.

**Industria:** En fábricas y plantas, la IA puede optimizar la operación de maquinaria y sistemas de producción para maximizar la eficiencia energética.

**Transporte:** La IA se utiliza para optimizar rutas de transporte y gestión de flotas, reduciendo el consumo de combustible.

**Generación de Energía:** En la generación de energía renovable, la IA ayuda a predecir la producción y ajustar la distribución según la demanda.

#### *Ejemplos de Soluciones:*

**Sistemas de Gestión Energética:** Utilizan IA para analizar datos en tiempo real y tomar decisiones automatizadas sobre el uso de energía en edificios y plantas.

**Predictive Maintenance:** La IA puede predecir fallos en equipos antes de que ocurran, evitando pérdidas de energía y costosas reparaciones.

**Optimización de Redes Eléctricas:** En la distribución de energía, la IA ajusta la carga y la distribución para mantener el equilibrio y reducir pérdidas.

**Sistemas de Iluminación Inteligente:** Utilizan sensores y IA para ajustar la iluminación según la presencia de personas y la luz natural.

**Sistemas de Control de Energía en Vehículos:** En vehículos eléctricos, la IA gestiona la carga y la descarga de la batería de manera eficiente.

# CAPÍTULO 3

## **ENERGÍAS RENOVABLES: MÁS ALLÁ DE LOS TECHOS SOLARES**

Las energías renovables desempeñan un papel crucial en la descarbonización de edificaciones multifamiliares. En este capítulo, examinaremos cómo las tecnologías emergentes, como la captura de energía geotérmica y eólica, están siendo adaptadas para su aplicación en entornos urbanos. También consideraremos cómo la combinación de diversas fuentes renovables puede llevarnos hacia un futuro energético más limpio y resiliente. Además, se detallan todos los elementos metodológicos que condujeron a la realización de la investigación.

## Captura de Energía Geotérmica en Entornos Urbanos:

La energía geotérmica implica aprovechar el calor almacenado en el interior de la Tierra para generar electricidad o proporcionar calefacción y refrigeración. En entornos urbanos, esta tecnología se puede aplicar de varias maneras:

**Sistemas de Calefacción y Refrigeración Geotérmica:** Los edificios urbanos pueden utilizar bombas de calor geotérmicas para calefacción y refrigeración. Estos sistemas aprovechan la temperatura constante del suelo a poca profundidad para transferir calor durante el invierno y enfriar durante el verano.

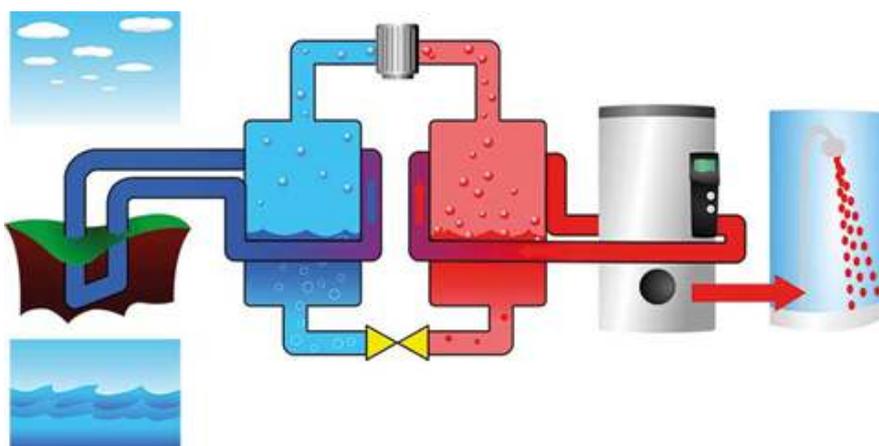


Figura 5. Sistemas de Calefacción y Refrigeración Geotérmica  
Fuente: (INPER geoproyectos, 2013)

**Generación de Electricidad:** En ciudades con actividad volcánica o zonas geotérmicamente activas, es posible generar electricidad mediante plantas geotérmicas. Se perforan pozos profundos para acceder al vapor y al agua caliente bajo tierra, que se utiliza para girar turbinas y generar electricidad.

**Instalaciones de Energía de Residuos Urbanos:** Algunas ciudades están experimentando con la captura de calor a partir de sistemas de gestión de residuos. El calor liberado por la descomposición de los residuos se puede utilizar para generar energía geotérmica.



Figura 6. Torres eléctricas  
Fuente: IA de Canva

## Energía Eólica en Entornos Urbanos:

La energía eólica implica convertir la energía cinética del viento en electricidad. Aunque es más común ver parques eólicos en áreas rurales o costeras, también hay esfuerzos para adaptar esta tecnología a entornos urbanos:



Figura 7. Fuentes de energía renovable

Fuente: IA de Canva

**Turbina Eólica Urbana:** Se están diseñando turbinas eólicas más pequeñas y de perfil bajo que son adecuadas para instalación en techos de edificios altos. Estas turbinas pueden aprovechar los vientos generados por la geometría de la ciudad y proporcionar energía local.

**Energía Eólica en Infraestructuras Urbanas:** Algunas ciudades están integrando la energía eólica en su infraestructura, como utilizar turbinas en postes de alumbrado público o en sistemas de transporte público.



Figura 8. Energía eólica

Fuente: IA de Canva

**Energía Eólica de Baja Altura:** En zonas urbanas donde los vientos son más suaves y turbulentos debido a la presencia de edificios altos, se están desarrollando tecnologías que aprovechan la energía eólica a baja altura utilizando estructuras como rejillas, deflectores y dispositivos de captura de viento.

La adaptación de estas tecnologías emergentes en entornos urbanos presenta desafíos únicos, como la limitación de espacio, la interferencia con la estética urbana y la necesidad de integrarse con la infraestructura existente. Sin embargo, a medida que la demanda de energía limpia aumenta y las tecnologías mejoran, es probable que veamos más avances en la aplicación exitosa de la captura de energía geotérmica y eólica en áreas urbanas.

La combinación de diversas fuentes renovables es clave para avanzar hacia un futuro energético más limpio, sostenible y resiliente. La dependencia de una sola fuente de energía puede llevar a vulnerabilidades en el suministro y a problemas medioambientales. Aquí te presento cómo la combinación de diferentes fuentes renovables puede contribuir a un futuro energético más positivo

### 1. Diversificación del Suministro Energético:

La combinación de fuentes renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa ayuda a diversificar el suministro energético. Esto reduce la dependencia de los combustibles fósiles y disminuye el riesgo asociado con la volatilidad de los precios y la disponibilidad de recursos no renovables.

El uso de energía renovable en el hogar puede aportar con el planeta, con tu familia y tu comunidad.



Figura 9. Utilización de fuentes diversas de energía  
Fuente: (interempresas, 2022)

## **2. Complementariedad de Fuentes:**

Diferentes fuentes renovables tienen patrones de generación que pueden complementarse entre sí. Por ejemplo, la generación solar es más intensa durante el día, mientras que la generación eólica puede ser más constante durante todo el día. Combinar estas fuentes ayuda a cubrir las fluctuaciones y asegura un suministro más constante.

## **3. Estabilidad del Sistema Eléctrico:**

La intermitencia inherente de algunas fuentes renovables, como la solar y la eólica, puede mitigarse mediante la combinación con fuentes estables y predecibles como la hidroeléctrica y la geotérmica. Esto contribuye a la estabilidad del sistema eléctrico y reduce la necesidad de recurrir a fuentes no renovables para satisfacer la demanda en momentos de baja generación renovable.

## **4. Resiliencia ante Desastres Naturales:**

Diversificar las fuentes de energía reduce la vulnerabilidad del sistema energético ante desastres naturales. Por ejemplo, una red eléctrica que depende exclusivamente de una central eléctrica grande podría quedar inutilizable en caso de un desastre que afecte a esa planta. En cambio, con una mezcla de fuentes distribuidas, la red puede ser más resistente y recuperarse más rápidamente.

## **5. Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero:**

La combinación de fuentes renovables permite una mayor reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al eliminar gradualmente la dependencia de los combustibles fósiles, se disminuye la huella de carbono y se contribuye a combatir el cambio climático.

### *1. Descarbonización del Sector Energético:*

La combinación de fuentes renovables permite la descarbonización del sector energético al reemplazar gradualmente la generación de energía a partir de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles son una fuente principal de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero. Al utilizar fuentes de energía renovable, se evita la liberación de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y se contribuye a reducir la concentración de gases que atrapan el calor en la atmósfera.

## *2. Disminución de la Huella de Carbono:*

La generación de energía a partir de fuentes renovables, como la solar, la eólica, la hidroeléctrica y la biomasa, implica procesos que generan emisiones mucho menores en comparación con los procesos de combustión de combustibles fósiles. Esto disminuye significativamente la huella de carbono de la producción de energía y, por ende, del conjunto de actividades humanas que dependen de ella.

## *3. Incentivos para la Transición Energética:*

La combinación de fuentes renovables brinda incentivos económicos y ambientales para acelerar la transición hacia un sistema energético más limpio. A medida que las tecnologías renovables se vuelven más competitivas en términos de costos en comparación con los combustibles fósiles, se crea un ambiente favorable para que los gobiernos, las empresas y los individuos adopten estas fuentes en lugar de las convencionales. Esto acelera la reducción de emisiones y promueve la sostenibilidad a largo plazo.

## *4. Contribución a los Compromisos Climáticos:*

Muchos países y regiones tienen compromisos y objetivos relacionados con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en línea con los acuerdos internacionales como el Acuerdo de París. La combinación de fuentes renovables es un medio crucial para cumplir con estos compromisos al proporcionar una vía para reemplazar las fuentes de energía que contribuyen al cambio climático por opciones más limpias y sostenibles.

## **6. Impulso a la Innovación Tecnológica:**

La combinación de fuentes renovables impulsa la innovación tecnológica al fomentar la investigación y el desarrollo en una variedad de áreas. Esto puede resultar en mejoras en la eficiencia, el almacenamiento de energía y la gestión de la red eléctrica.

### *1. Innovación en Eficiencia Energética:*

La combinación de diferentes fuentes renovables crea una dinámica competitiva que fomenta la búsqueda constante de mejoras en la eficiencia energética. A medida que diferentes tecnologías de generación compiten entre sí por ofrecer una mayor relación entre la energía generada y los recursos utilizados, se produce una presión para optimizar y mejorar el rendimiento de los sistemas. Esta competencia en la eficiencia se traduce en avances tecnológicos que reducen las pérdidas de energía durante la conversión y distribución, lo que a su vez aumenta la cantidad de energía utilizable.

## *2. Avances en Almacenamiento de Energía:*

Una de las limitaciones de muchas fuentes renovables, como la solar y la eólica, es su naturaleza intermitente. La necesidad de almacenar la energía generada en momentos de exceso para su uso cuando la generación es baja ha impulsado la investigación en tecnologías de almacenamiento de energía más eficientes y asequibles. La combinación de fuentes renovables crea una demanda creciente de soluciones de almacenamiento innovadoras, como baterías de alta capacidad, sistemas de almacenamiento térmico y tecnologías de almacenamiento químico. Estas innovaciones tienen aplicaciones más allá del sector energético y pueden influir en el desarrollo de dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos.

## *3. Desarrollo de la Gestión de la Red Eléctrica:*

La integración de múltiples fuentes renovables en la red eléctrica presenta desafíos de gestión y equilibrio de la oferta y la demanda. Para optimizar la utilización de estas fuentes variables, se requiere un mayor desarrollo de la tecnología de gestión de red, incluyendo sistemas de pronóstico más precisos, sistemas de control avanzados y soluciones de redes inteligentes (smart grids). Estos avances permiten una gestión más eficiente y dinámica de la red eléctrica, lo que a su vez maximiza la utilización de la energía renovable disponible y mejora la confiabilidad del suministro.

## *4. Innovaciones en Integración de Sistemas:*

La combinación de fuentes renovables también impulsa la innovación en la integración de sistemas, ya que las tecnologías de generación, almacenamiento y gestión deben trabajar juntas de manera sincronizada y eficiente. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas de control y plataformas digitales que pueden coordinar y optimizar la operación de diversas fuentes en tiempo real. Estos avances no solo tienen aplicaciones en el sector energético, sino que también se extienden a otros campos, como la automatización industrial y la Internet de las cosas (IoT).

## **Aspectos Metodológicos**

Como consecuencia del aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> que generan un fuerte impacto en el planeta tierra a través del efecto invernadero, el director de proyectos tiene que analizar las tecnologías de descarbonización en las especificaciones técnicas del proyecto con la finalidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Carpio & Carrasco, 2021), consideraron cinco modelos con diferentes geometrías en función de su relación entre superficie expuesta y volumen. Adicionalmente, se eligieron tres soluciones constructivas para que su transmitancia térmica fuera cumpliendo paulatinamente con los valores exigidos por la normativa térmica según la zona climática considerada.

Se establecieron igualmente otros parámetros para todas las simulaciones para que su comparación fuera objetiva. (Khahro et al., 2021), estudiaron la utilización desde un enfoque de modelado de información (BIM) para la toma de decisiones ambientalmente sostenibles para reducir el desperdicio de energía en los proyectos. Inicialmente, los factores beneficiosos de BIM en green en edificios fueron identificados en la literatura y luego clasificados, con base en opiniones de expertos recopiladas mediante un conjunto de cuestionarios. Utilizaron el índice promedio para el análisis de datos y validaron mediante la realización de análisis energéticos a través de BIM 3D. (Brooks et al., 2021), analizaron el ciclo de vida del carbono considerando la implementación adicional de tecnologías limpias y bajas en carbono para reducir el carbono incorporado y operativo.

## **Clasificación de la investigación**

### **Método de la investigación**

El método es el deductivo, debido que mediante la observación se identificó las causas de generación de emisiones como la ubicación del proyecto, la electrificación, los materiales, los equipos y artefactos utilizados en sus instalaciones y obtener las conclusiones que expliquen o relacionen los fenómenos estudiados. Es de orientación aplicada, ya que se pretende establecer los criterios en el diseño y construcción empleando tecnologías de descarbonización, también es de enfoque cuantitativo porque se presentan los porcentajes de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional e internacional por medio de consultas a publicaciones realizadas sobre el tema y de acuerdo con el tipo de fuente de recolección de datos es proyectiva, debido a que la información se recogerá de acuerdo con los objetivos establecidos en el estudio.

### **Tipos de la investigación**

La investigación es de tipo descriptiva, porque se determinó y/o describió las principales causas de éxito y/o fracaso de los diseños y procedimientos constructivos para identificarlos y establecer las tecnologías de descarbonización adecuada; también es de tipo correlacional y explicativa, ya que, reconoce la relación entre las tecnologías de descarbonización y las emisiones de CO<sub>2</sub>, brindando el conocimiento necesario para el mejoramiento de los procedimientos e identificación de los factores, de tal manera que se establezca una cultura de descarbonización con las prácticas utilizadas en la organización (Hernández, 2014).

### **Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo, porque se establecieron las causas que originan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Siendo un estudio cuantitativo porque se determinó frecuencias, promedios e intervalos de confianza que sirven como referencia para definir los lineamientos de gestión para el plan de mejora y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Diseño de la investigación**

De acuerdo con la técnica de contrastación es no experimental, debido a que se realizó sin manipular deliberadamente las variables, sin construir ninguna situación, sino que se

observaron las situaciones y condiciones ya existentes. De acuerdo con la direccionalidad la investigación es transversal y prospectiva, ya que se recolectaron los datos en un tiempo único. El diseño de estudio es de cohorte porque el fenómeno estudiado tiene causa en el presente y efecto en el futuro.

## Población y muestra

La población está determinada por las edificaciones multifamiliares construidas en la ciudad de Lima Metropolitana entre los años 2021 y 2022, registradas en el Programa FondoMivivienda y mediante un muestreo intencionado con criterios de inclusión y exclusión se determinó el tamaño de muestra. La población (N) son 240 proyectos inmobiliarios. La unidad de análisis son los profesionales de los proyectos con conocimientos de las especificaciones técnicas (tabla 1) y la unidad de observación son los proyectos inmobiliarios.

Tabla 1. Unidades de análisis

Personal	Funciones
Gerente	Dirigir, ejecutar, verificar y apoyar los requerimientos de insumos y otras necesidades para la ejecución del proyecto.
Ingeniero jefe de obra	Ejecutar la obra de acuerdo con las especificaciones técnicas, efectuando los respectivos controles de calidad, optimizando el uso de los recursos de equipo mecánico y mano de obra.
Ing. de oficina técnica	Liderar y supervisar la elaboración de presupuestos, normas de construcción y modelos de costos.
Administrador de obra	Administrar el presupuesto y flujo de caja, gestionar administrativamente el proyecto (control documentario contables, elaboración de plantillas de sueldo, reintegros, etc.).

## Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión: el personal entrevistado debe conocer las herramientas, documentos o conocimiento que posee la empresa constructora para planificar/gestionar la Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente, para lo cual se requiere:

-Gerentes, Ingeniero jefe de obra, Ingeniero de oficina técnica y administrador con más de un año de experiencia en la construcción de edificaciones multifamiliares.

-Gerentes, Ingeniero jefe de obra, Ingeniero de oficina técnica y administrador con conocimiento Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

Los criterios de exclusión: personal entrevistado que desconozca los activos de los procesos de la organización con relación a la Seguridad y Salud Ocupacional y Medio Ambiente, para lo cual no se tomará en cuenta a los profesionales:

Gerentes, Ingeniero jefe de obra, Ingeniero de oficina técnica y administrador con trabajo temporal.

Gerentes, Ingeniero jefe de obra, Ingeniero de oficina técnica y administrador de vacaciones o de viaje, para no perjudicar la planificación de la toma de la información.

### **Muestra**

Para el cálculo de la muestra se empleó una población (N=240), se estableció un 95% de confiabilidad y 5 % de error muestral (1)

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

Donde k es 1.96 (Nivel de confianza al 95 %), N está representado por los 240 proyectos inmobiliarios, p tiene el valor de 0.5 (proporción esperada 50%), por lo tanto q es también 0.5 (1-p = 0.5), el valor de e es 0.05 (Error muestral) y finalmente n está representado por los 148 proyectos inmobiliarios a ser estudiados.

### **Muestreo**

El tipo de Muestreo es el Aleatorio Sistemático (MAS) (2), porque se elige un proyecto inmobiliario al azar y a partir de ella, a intervalos constantes, se eligen las demás hasta completar la muestra.

$$MAS = N/n = 240 / 148 = 1.62 \quad (2)$$

### **Variable independiente**

Tecnologías de descarbonización (eficiencia energética, electrificación, energía renovable, modelación e industrialización).

### **Variable dependiente**

Reducción de emisiones de CO2 (Producción y consumo y productividad, Competitividad, Impacto medio ambiental, Ciclo de vida de la edificación, Generar y consumir energía, Ahorro energético, Energías renovables, Equipo del edificio y artefactos domésticos, Quema de combustibles fósiles, Tecnología eléctrica moderna, Alternativas energéticas, Modelo del edificio, Rendimiento energético, Simulaciones económicas, Diseño sustentable en términos de energía, Eficiencia y sostenibilidad, Diseño integral y digitalizado, Edificación sostenible y Neutralidad de las emisiones de carbono).

## Instrumentos de medición y técnicas

El método empleado es la encuesta transversal y la técnica la entrevista personal, dirigido a gerentes, administradores, jefes de obra y/o otro profesional encargado de la parte técnica de la obra. El instrumento de recolección de datos es un cuestionario semiestructurado, constituida de preguntas cerradas, con valores politómicas. Validez del instrumento, 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 (Tabla 2). Para el grado de relación entre las variables se solicitó la opinión de los 5 profesionales, quienes analizaron el grado de relación entre las tecnologías de descarbonización y la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para la fiabilidad y consistencia del instrumento se utilizó el Alfa de Cronbach, donde se medió las correlaciones y la solidez interna entre las variables.

Los valores resultantes, después de tabular la calificación emitida por los expertos se presenta en la siguiente Tabla 2:

**Tabla 2.** Valores del nivel de validez de los cuestionarios.

Valores	Niveles de validez
91-100	Excelente
81-90	Muy Bueno
71-80	Bueno
61-70	Regular
51-60	Deficiente

Dada la validez del instrumento por juicio de expertos, donde el cuestionario obtuvo un valor de 94.66%, se deduce una validez con calificativo de excelente por encontrarse dentro del rango del 91 -100 en valores.

### Procedimientos

Se realizaron encuestas para determinar la relación de la eficiencia energética, electrificación, energía renovable, modelación e industrialización y las emisiones de CO2. Una vez estudiado estos factores se estableció un plan de mejora, para dar validez mediante la aplicación de conceptos de sostenibilidad con tecnologías de descarbonización para 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.

El programa utilizado es el IBM SPSS Statistic 25 para analizar los datos y formular hipótesis, establecer relaciones entre las variables e identificar tendencias. Para el análisis de las variables y determinó la existencia o inexistencia de independencia entre las variables tecnología de descarbonización y emisiones de CO2.

#### Grado de relación entre las variables

Se solicitó la opinión de cinco profesionales expertos, quienes analizaron e emitieron los resultados que se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Grado de relación entre las variables tecnologías de descarbonización y reducción de emisiones CO2

Ítem	Mínimo	Máximo	Evaluación
1	90.00%	100.00%	Excelente
2	80.00%	89.99%	Alta
3	70.00%	79.99%	Aceptable
4	60.00%	69.99%	Regular
5	0.00%	59.99%	Baja

# CAPÍTULO 4

## **DISEÑANDO EL MAÑANA: EDIFICACIONES DE CONSUMO CASI NULO**

La eficiencia energética y el diseño orientado hacia la sostenibilidad son elementos esenciales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares. En este capítulo, exploraremos conceptos como los edificios de consumo casi nulo, donde la combinación de diseño inteligente, aislamiento eficiente y sistemas de gestión energética proporciona un enfoque holístico para minimizar el impacto ambiental.

La eficiencia energética y el diseño orientado hacia la sostenibilidad son elementos esenciales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares. En este capítulo, exploraremos conceptos como los edificios de consumo casi nulo, donde la combinación de diseño inteligente, aislamiento eficiente y sistemas de gestión energética proporciona un enfoque holístico para minimizar el impacto ambiental.

## 1. Edificios de Consumo Casi Nulo (nZEB, por sus siglas en inglés)

Los edificios de consumo casi nulo son construcciones altamente eficientes desde el punto de vista energético, diseñados para minimizar el consumo de energía y reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la operación del edificio. Estos edificios están diseñados para requerir una cantidad mínima de energía y para cubrir la mayor parte de sus necesidades de energía con fuentes renovables o de bajo impacto ambiental.

### *Eficiencia Energética como Pilar Central:*

La eficiencia energética es el núcleo de los edificios de consumo casi nulo. Estos edificios se caracterizan por un diseño arquitectónico y estructural optimizado para reducir al máximo las pérdidas y ganancias de energía. Desde la disposición de las ventanas hasta la elección de materiales, cada aspecto del diseño se evalúa cuidadosamente para minimizar la necesidad de calefacción, refrigeración y otros consumos energéticos.

### *Reducción Drástica de Emisiones:*

El objetivo principal de los nZEB es reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la operación del edificio. Al requerir una cantidad mínima de energía, estos edificios disminuyen considerablemente su huella de carbono y contribuyen a mitigar el calentamiento global y el cambio climático.

### *Integración de Fuentes Renovables:*

Los nZEB aprovechan al máximo las fuentes de energía renovable y de bajo impacto ambiental. Esto incluye la incorporación de paneles solares fotovoltaicos en los techos, sistemas de calefacción y refrigeración geotérmica, y otras soluciones que aprovechan la energía del sol, el viento y la tierra. Esta combinación permite generar energía in situ y, en algunos casos, incluso alimentar el exceso de energía a la red.

### *Enfoque Holístico y Diseño Integral:*

La eficiencia energética de los nZEB no se logra solo a través de tecnologías y materiales avanzados, sino también mediante un enfoque integral en el diseño del edificio. La orientación, la captura de luz natural, la ventilación eficiente y la gestión térmica son solo algunos de los elementos considerados para optimizar el uso de energía y garantizar el bienestar de los ocupantes.

### *Contribución a Objetivos de Sostenibilidad:*

Los nZEB desempeñan un papel crucial en la consecución de objetivos de sostenibilidad a nivel local, regional y global. En muchos casos, los gobiernos y las organizaciones establecen estándares y regulaciones que requieren que los edificios nuevos cumplan con ciertos criterios de eficiencia energética. Los nZEB representan una respuesta concreta a estos desafíos, mostrando que la tecnología y el diseño pueden converger para crear construcciones que sean tanto respetuosas con el medio ambiente como cómodas para sus habitantes.

## 2. Diseño Inteligente

El diseño inteligente en los edificios de consumo casi nulo implica considerar factores como la orientación del edificio, la disposición de ventanas y aberturas, la captura de luz solar y el aprovechamiento de la ventilación natural. Estos aspectos se optimizan para maximizar la eficiencia energética, minimizar la necesidad de calefacción, refrigeración y iluminación artificial, y proporcionar un entorno interior cómodo y saludable. Este enfoque va más allá de la simple planificación estructural y abarca una sinfonía de factores que convergen para dar forma a un edificio que es no solo una obra de ingeniería, sino también un oasis de confort y responsabilidad ambiental.

En primer lugar, la orientación del edificio emerge como un elemento fundamental en este baile coreografiado de eficiencia. El análisis meticuloso de la trayectoria del sol durante todo el año guía la disposición y ubicación del edificio en el terreno. Las fachadas y aberturas se diseñan con una mirada atenta hacia el sol, permitiendo que los rayos solares entren estratégicamente en el interior para calentar y bañar los espacios en luz natural, reduciendo así la necesidad de iluminación artificial y calefacción. Las ventanas, esas miradas al mundo exterior, se convierten en componentes activos del diseño. Se ajustan cuidadosamente en tamaño y ubicación, no solo para ofrecer vistas panorámicas, sino también para facilitar la ventilación cruzada. Esta estrategia inteligente reduce la dependencia de sistemas de climatización convencionales, ya que se aprovecha la brisa exterior para mantener una temperatura interior agradable.

La captura de la luz solar se convierte en una forma de arte en sí misma. La arquitectura se convierte en una suerte de lienzo que juega con las sombras y la iluminación, adaptándose al paso del sol a lo largo del día y las estaciones. Los materiales de construcción se seleccionan no solo por su estética, sino también por su capacidad para reflejar o absorber el calor solar, regulando así la temperatura interna de manera natural y reduciendo la carga en los sistemas de climatización. La ventilación natural, como un susurro constante en los oídos del diseño, cobra una importancia crucial. Los espacios se organizan de manera que el flujo de aire sea una constante refrescante. Los patios interiores, los atrios y los tragaluces se convierten en conductos invisibles que permiten que el aire circule, manteniendo un ambiente fresco y oxigenado sin depender en exceso de sistemas mecánicos que consumen energía.

En última instancia, el diseño inteligente de estos edificios trasciende los límites de la eficiencia energética. Se convierte en un compromiso con el bienestar humano y el medio ambiente. Estos espacios no solo son menos demandantes en términos de energía, sino que también ofrecen un refugio donde la luz natural abraza cada rincón y la brisa murmura su canción en los oídos de los ocupantes. La salud y el confort se integran con la estética y la funcionalidad en una danza armoniosa.

### **3. Aislamiento Eficiente**

El aislamiento eficiente es esencial para reducir la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. Se utilizan materiales de aislamiento de alta calidad en paredes, techos y suelos para mantener una temperatura interior constante con menos necesidad de utilizar sistemas de calefacción o refrigeración. En esta búsqueda incansable por optimizar la eficiencia energética, el empleo de materiales de aislamiento de alta calidad se convierte en una clave maestra que desbloquea el potencial de confort y sostenibilidad en el entorno construido.

Cuando los rigores del invierno hacen acto de presencia, el aislamiento se convierte en un escudo protector que reduce de manera significativa la pérdida de calor. Los materiales de aislamiento de última generación, como espumas de poliuretano de celdas cerradas o paneles aislantes de fibra mineral, son aplicados meticulosamente en las paredes, techos y suelos de estos edificios visionarios. Estos guardianes térmicos impiden que el calor interno se disipe hacia el frío exterior, manteniendo un ambiente acogedor en los espacios habitables y evitando la necesidad constante de sistemas de calefacción, que a menudo consumen gran cantidad de energía. En los abrasadores días de verano, este mismo aislamiento se transforma en un baluarte contra la ganancia excesiva de calor. Los rayos del sol, ardientes y persistentes, encuentran en estos materiales una barrera efectiva que evita que el calor se acumule en el interior. Esta estrategia de defensa térmica reduce drásticamente la demanda de sistemas de refrigeración, ya que el edificio se mantiene como un oasis de frescura incluso en las jornadas más calurosas.

Además de su función termorreguladora, estos materiales de aislamiento ofrecen un sinfín de ventajas adicionales. Actúan como un escudo acústico, amortiguando los ruidos exteriores y creando una atmósfera tranquila en el interior. También contribuyen a la conservación de los recursos naturales, al permitir un uso más moderado de la energía y, por ende, reducir la huella de carbono asociada al funcionamiento de los edificios.

#### **Existen varios tipos de aislamiento térmico:**

**Fibra de vidrio:** Este es uno de los aislantes más conocidos y utilizados. Se compone de finas fibras de vidrio que atrapan el aire y ralentizan la transferencia de calor. Es versátil y se encuentra en forma de rollos o paneles.



Figura 10. Fibra de vidrio para aislamiento térmico

Fuente: (MALVAR, 2020)

**Espuma de poliestireno expandido (EPS):** También conocida como corcho blanco, es una espuma rígida que es eficiente tanto en términos de aislamiento térmico como acústico. Se utiliza en paredes, techos y suelos.



Figura 11. Espuma de poliestireno extendido para aislamiento térmico

Fuente: (POLEPS, 2020)

Espuma de poliuretano (PUR): Esta espuma es de celdas cerradas y es altamente eficiente en términos de aislamiento. Se aplica en forma líquida y se expande para llenar los espacios, creando una capa aislante hermética.



Figura 12. Espuma de poliuretano para aislamiento térmico  
Fuente: (Ecogreenhome, 2022)



Lana mineral: Hecha de materiales como roca o escoria, la lana mineral es resistente al fuego y ofrece un buen rendimiento tanto en aislamiento térmico como acústico.

Figura 13. Lana mineral para aislamiento térmico  
Fuente: (Rehabitar, 2022)

Aerogel: Conocido como el material sólido más ligero del mundo, el aerogel tiene un valor de aislamiento excepcional debido a su baja densidad y estructura altamente porosa. Sin embargo, es un material más costoso y menos común.



Figura 14. Aerogel para arquitectura  
Fuente: (Nano-aerogel en arquitectura, 2013)

**Celulosa:** Este aislante se produce a partir de papel reciclado y tratado para resistir el fuego y los insectos. Se utiliza a menudo en forma de papel suelto para insuflar en cavidades de paredes y áticos.

**Poliestireno extruido (XPS):** Similar al EPS, el XPS es una espuma rígida que ofrece un alto valor de aislamiento y es resistente a la humedad, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en zonas húmedas.

**Aislamiento de cáñamo:** Fabricado a partir de fibras de cáñamo, este aislante es respetuoso con el medio ambiente y ofrece propiedades térmicas y acústicas.

**Poliisocianurato (PIR):** Similar al PUR pero con una mayor resistencia a la humedad, el PIR es utilizado en aplicaciones que requieren altas propiedades de aislamiento.

**Vidrio celular:** Este material es similar al vidrio y se utiliza en forma de bloques. Ofrece aislamiento térmico y permite la entrada de luz natural.

#### 4. Sistemas de Gestión Energética

Los edificios de consumo casi nulo incorporan sistemas de gestión energética avanzados que permiten un control y seguimiento precisos del consumo energético. Estos sistemas pueden ajustar automáticamente la calefacción, refrigeración, iluminación y otros sistemas en función de la demanda y las condiciones ambientales, lo que optimiza la eficiencia energética y reduce el consumo innecesario. Estos edificios están diseñados y construidos con el objetivo primordial de minimizar su demanda energética y maximizar la eficiencia en el uso de los recursos disponibles. Para lograr este propósito, se emplean diversas estrategias y tecnologías avanzadas, entre las que se destaca la implementación de sistemas de gestión energética.



Figura 15. Aislamientos térmicos  
Fuente: (FoB, 2018)

Los sistemas de gestión energética avanzados que se integran en los edificios de consumo casi nulo representan un paso adelante en la automatización y optimización de la utilización de energía. Estos sistemas cuentan con sensores y dispositivos inteligentes distribuidos estratégicamente por todo el edificio para capturar datos en tiempo real sobre variables como la temperatura, la humedad, la luminosidad y la presencia de personas. Mediante la recopilación continua de información, el sistema de gestión energética puede tomar decisiones informadas para ajustar de manera automatizada y precisa los sistemas de climatización, iluminación y otros equipos que influyen en el consumo energético. Un aspecto clave de estos sistemas es su capacidad para adaptarse de manera dinámica a las condiciones cambiantes. Por ejemplo, si la temperatura exterior aumenta repentinamente, el sistema puede ajustar la refrigeración para mantener un ambiente interior confortable sin desperdiciar energía en exceso. Además, si un área del edificio no está ocupada, el sistema puede reducir o apagar la iluminación y ajustar la temperatura para evitar el consumo innecesario. Esta flexibilidad y adaptabilidad permiten una gestión energética altamente eficiente y personalizada, lo que conduce a un consumo energético total significativamente más bajo.

Otro beneficio destacado de los sistemas de gestión energética en los edificios de consumo casi nulo es su capacidad para generar informes detallados sobre el consumo y el rendimiento energético. Estos informes proporcionan a los propietarios y administradores del edificio datos valiosos sobre cómo se está utilizando la energía, lo que les permite tomar decisiones informadas para optimizar aún más la eficiencia y realizar ajustes continuos en los sistemas.

## 5. Uso de Energías Renovables

Para cubrir el consumo de energía restante, los edificios de consumo casi nulo integran fuentes de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, sistemas de energía eólica pequeña o sistemas de calefacción y refrigeración geotérmica. Estas fuentes de energía limpia reducen la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de implementar sistemas de gestión energética avanzados, los edificios de consumo casi nulo adoptan una estrategia integral para abordar la cobertura del consumo energético remanente de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Una de las características más destacadas de estos edificios es su capacidad para incorporar diversas fuentes de energía renovable, que desempeñan un papel fundamental en la reducción de la huella ecológica y en la transición hacia un futuro energético más limpio y sostenible.

Entre las fuentes de energía renovable que se integran en estos edificios, los paneles solares fotovoltaicos son una de las soluciones más comunes y efectivas. Los techos y las superficies expuestas del edificio se convierten en campos de captación de energía solar mediante la instalación de células fotovoltaicas. Estas células convierten directamente la radiación solar en electricidad, que puede ser utilizada para alimentar sistemas eléctricos internos, cargar baterías de almacenamiento o incluso inyectar el excedente de energía a la red eléctrica local, obteniendo así compensaciones económicas o créditos energéticos. Además de la energía solar, los edificios de consumo casi nulo también pueden incorporar sistemas de energía eólica pequeña. Estos sistemas consisten en turbinas de viento de tamaño reducido, ubicadas en la azotea o en las cercanías del edificio, que aprovechan la energía cinética del viento para generar electricidad. Aunque la contribución de la energía eólica a menudo es complementaria a la solar, es especialmente valiosa en áreas donde las condiciones de viento son favorables y puede operar de manera sinérgica con otras fuentes de energía.

Otra alternativa es la implementación de sistemas de calefacción y refrigeración geotérmica. Estos sistemas aprovechan la temperatura constante del suelo a cierta profundidad para climatizar el edificio de manera eficiente. A través de una red de tuberías enterradas, se intercambia calor con el suelo, permitiendo la calefacción en invierno y la refrigeración en verano. La geotermia es una fuente de energía estable y de bajo impacto ambiental, ya que no produce emisiones directas ni depende de factores climáticos externos. La integración de estas fuentes de energía renovable no solo contribuye a cubrir el consumo energético restante de los edificios de consumo casi nulo, sino que también reduce significativamente la dependencia de los combustibles fósiles. Esto tiene un impacto directo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que estas fuentes de energía limpia generan electricidad sin liberar dióxido de carbono ni otros contaminantes asociados con los métodos tradicionales de generación energética.

## **6. Eficiencia de los Equipos y Aparatos**

Además del diseño y la infraestructura del edificio, se prestan especial atención a la eficiencia de los equipos y aparatos utilizados en el interior, como electrodomésticos, iluminación y sistemas de climatización. La elección de equipos de alta eficiencia contribuye al objetivo general de reducir el consumo de energía. Además del enfoque en el diseño y la infraestructura del edificio, se otorga una atención minuciosa a la eficiencia de los equipos y aparatos utilizados en el interior de los edificios de consumo casi nulo. Estos equipos juegan un papel esencial en la búsqueda de la optimización energética, ya que sus características de consumo y rendimiento influyen directamente en la cantidad de energía utilizada en las operaciones diarias del edificio. A través de la selección cuidadosa y el uso de tecnologías avanzadas, se busca maximizar la eficiencia y minimizar el derroche energético en cada aspecto de la vida útil del edificio.

Los electrodomésticos son una de las áreas en las que se presta una atención particular. Al elegir electrodomésticos de alta eficiencia energética, se asegura que los dispositivos cotidianos, como lavadoras, secadoras, lavavajillas y refrigeradores, consuman la menor cantidad posible de energía durante su funcionamiento. Los estándares y certificaciones de eficiencia energética, como Energy Star, son guías útiles para identificar los productos que cumplen con criterios rigurosos de eficiencia y ahorro energético.

La iluminación también se aborda con una perspectiva de eficiencia. La transición a sistemas de iluminación LED (diodos emisores de luz) es una práctica común en edificios de consumo casi nulo. Estas luces consumen menos energía, tienen una vida útil más larga y son ajustables en términos de intensidad y temperatura de color, lo que permite una iluminación adaptativa y agradable. Además, la implementación de sensores de luz y movimiento permite que las luces se enciendan o apaguen automáticamente según la presencia de personas y la luz natural disponible, reduciendo así el uso innecesario de energía.

Los sistemas de climatización, otro componente crítico en la gestión energética, también se eligen y operan con un enfoque en la eficiencia. La utilización de equipos de calefacción y refrigeración con clasificación de eficiencia energética óptima garantiza que el ambiente interior se mantenga confortable con un consumo mínimo de energía. Además, la integración de sistemas de climatización zonificados permite controlar la temperatura en áreas específicas, evitando el calentamiento o enfriamiento excesivo de espacios no utilizados.

Es importante destacar que la selección de equipos y aparatos de alta eficiencia energética es un componente esencial en la estrategia global de reducción de consumo energético en los edificios de consumo casi nulo. Estas decisiones no solo contribuyen directamente al objetivo de minimizar el consumo de energía, sino que también tienen un impacto positivo en la comodidad de los ocupantes y en la economía a largo plazo, al reducir los costos operativos y el mantenimiento. El enfoque en la eficiencia de los equipos completa la visión holística de estos edificios, que combinan diseño, tecnología y prácticas avanzadas para alcanzar un nuevo estándar en construcción sostenible y responsabilidad ambiental.

## **7. Ciclo de Vida del Edificio**

El enfoque holístico de los edificios de consumo casi nulo también implica considerar el ciclo de vida completo del edificio, desde la etapa de diseño y construcción hasta la operación y el eventual desmantelamiento. Se buscan materiales sostenibles, técnicas de construcción de bajo impacto y estrategias de gestión de residuos para minimizar el impacto ambiental en todas las etapas. Este concepto considera no solo la fase operativa del edificio, sino también sus impactos ambientales, sociales y económicos a lo largo del tiempo. Comprender y gestionar el ciclo de vida de un edificio es esencial para lograr la sostenibilidad a largo plazo y tomar decisiones informadas que beneficien tanto al entorno como a las personas que lo utilizan.

*El Ciclo de Vida del Edificio suele dividirse en varias etapas:*

**Planificación y Diseño:** En esta fase inicial, se establecen los objetivos del proyecto, se diseña la arquitectura y se definen las estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética. Se consideran aspectos como la ubicación, la orientación, los materiales a utilizar y las tecnologías a implementar.

**Construcción:** Durante esta etapa, se lleva a cabo la construcción del edificio siguiendo las especificaciones y el diseño previamente establecidos. Aquí se considera la eficiencia en el uso de materiales y recursos, así como la minimización de desperdicios y la adopción de prácticas constructivas sostenibles.

**Operación y Uso:** Esta fase abarca la vida útil activa del edificio, donde se lleva a cabo su operación, mantenimiento y gestión diaria. Aquí se pueden implementar sistemas de gestión energética, monitoreo de consumos y ajustes para maximizar la eficiencia y el confort de los ocupantes.

**Renovación y Rehabilitación:** A medida que avanza el tiempo, es posible que el edificio requiera renovaciones o mejoras para mantener su funcionalidad y eficiencia. La optimización energética y la adopción de tecnologías más avanzadas pueden formar parte de estas renovaciones.

**Desmantelamiento o Demolición:** Al final de la vida útil del edificio, se debe decidir cómo se llevará a cabo su desmantelamiento o demolición. Aquí es importante considerar la gestión de residuos y la posible reutilización de materiales para reducir los impactos ambientales.

El enfoque del Ciclo de Vida del Edificio va más allá de la fase operativa y considera los aspectos económicos y ambientales a lo largo de todas estas etapas. Esto implica evaluar el impacto ambiental de los materiales utilizados, la eficiencia energética, la calidad del aire interior, el uso del agua y la durabilidad de la estructura. Además, se toman en cuenta aspectos económicos, como los costos de construcción, operación y mantenimiento a lo largo del tiempo.

Para evaluar y comparar diferentes enfoques de sostenibilidad y tomar decisiones informadas, se utilizan herramientas y metodologías como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que cuantifica los impactos ambientales a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida del edificio. Esta información permite a los diseñadores, constructores y propietarios tomar decisiones basadas en datos para minimizar los impactos negativos y maximizar los beneficios a largo plazo.

En conjunto, la combinación de diseño inteligente, aislamiento eficiente, sistemas de gestión energética y el uso de fuentes de energía renovable en los edificios de consumo casi nulo representa un enfoque integral para reducir drásticamente el consumo de energía y las emisiones de carbono asociadas con la operación de los edificios. Estos conceptos se han convertido en una parte fundamental de los esfuerzos globales para abordar el cambio climático y avanzar hacia una infraestructura más sostenible y resiliente.

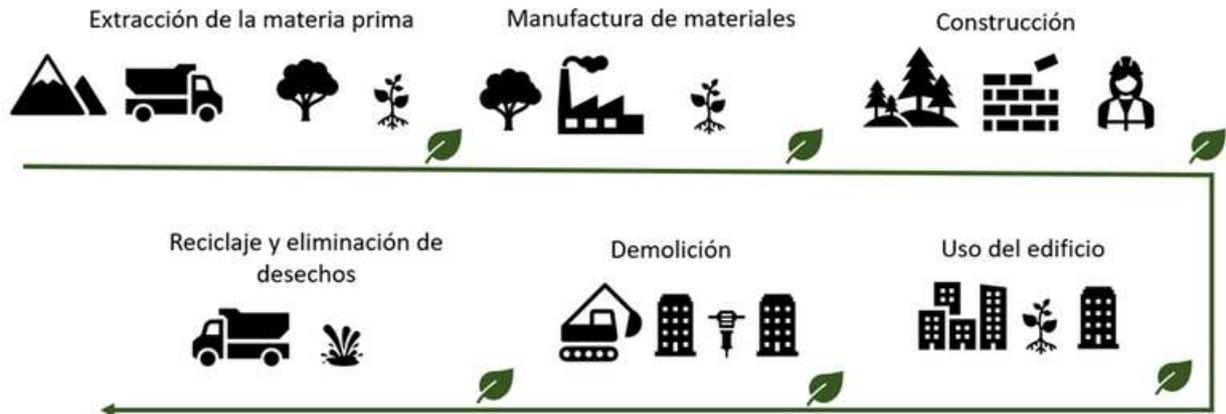


Figura 16. Ciclo de vida útil de un edificio  
Fuente: elaboración propia tomado de ECONOVA (2018)

# CAPÍTULO 5

## **PROSPECTIVAS FUTURAS**

En este capítulo se despliegan los resultados del análisis cuantitativo y cualitativo. Se incorporan gráficos y curvas de control para el análisis de calidad y riesgo. A partir de estos resultados, se derivan conclusiones significativas que responden a las preguntas de investigación planteadas. Se ofrecen recomendaciones basadas en los hallazgos y se vislumbran futuras líneas de investigación. Se presentan todos los elementos hallados en el proceso de elaboración de esta investigación.

Se presentan las principales características de los proyectos inmobiliarios estudiados:

En la tabla 4, se muestran un total 148 edificios que en el presente año se encuentran en ejecución del Programa Fondo Mivivienda en diferentes zonas de en Lima Metropolitana, en donde se inspeccionó y se llenó una guía de observación con la finalidad de identificar los procedimientos que siguen en la etapa de diseño de edificaciones multifamiliares.

Tabla 4. Número de pisos, número de departamentos, área de los departamentos y costo por m<sup>2</sup> de los proyectos de edificios del Programa Fondo Mivivienda de Lima metropolitana

Estadísticos	Nro. Pisos	Nro. Dptos.	Área	CostoxMP Dólar
Recuento	148	148	148	148
Media	10	50	75	1315
Mediana	8	40	77	1210
Moda	5	22	75	1150
Mínimo	3h	3	35	650
Máximo	20	210	140	2200
Rango	17	217	105	1550

En el estudio se observó que las construcciones de edificios multifamiliares tienen en promedio 10 pisos, siendo las más frecuentes las construcciones de 5 pisos, además cuentan con 50 departamentos en promedio por proyecto. El área construida varía entre 35 m<sup>2</sup> a 140 m<sup>2</sup>, con un área promedio de 75 m<sup>2</sup> y un costo promedio de 1,315 U.S. dólar por m<sup>2</sup>.

En la figura 17, se muestran la distribución de los proyectos del Programa Fondo Mivivienda que en el presente año que se encuentran trabajando en diferentes zonas de Lima Metropolitana.

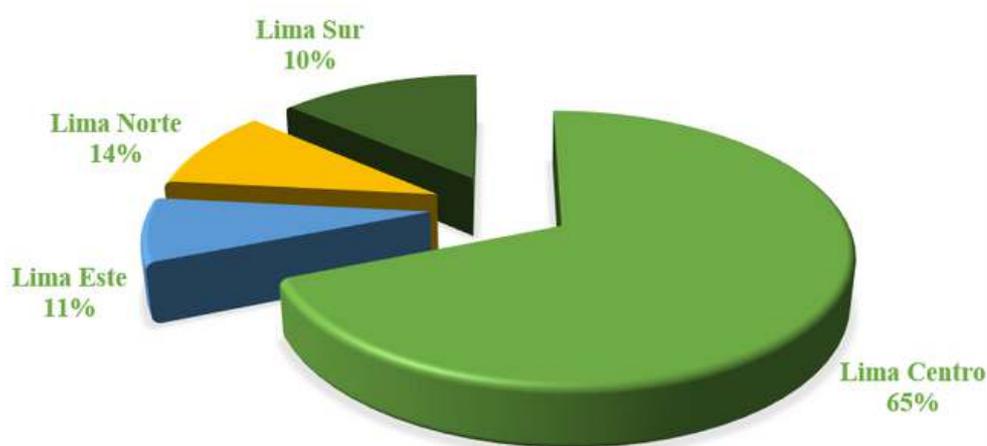


Figura 17. Distribución de proyectos del Programa Fondo Mivivienda de Lima Metropolitana

En la figura 18, se indican que el 46% de los proyectos del Programa Fondo Mivivienda que se vienen ejecutando en Lima Metropolitana tienen entre de 6 a 10 pisos, el 23% hasta 5 pisos, el 17% entre 16 a 20 pisos y el 14 %entre 11 a 15 pisos.

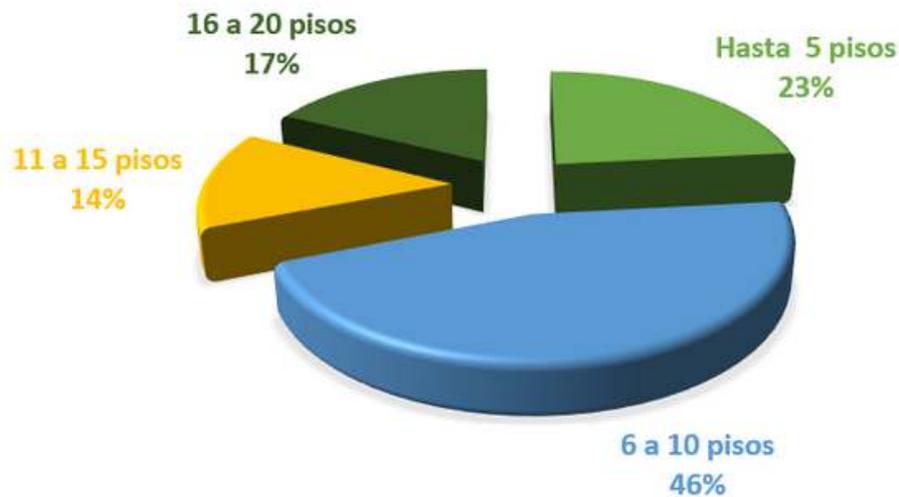


Figura 18. Número de pisos de los proyectos del Programa Fondo Mivivienda de Lima Metropolitana

Según la figura 19, el 47% de los proyectos en ejecución en Lima Metropolitana del Programa Fondo Mivivienda, tienen de área construida entre inferiores a 110 metros cuadrados.



Figura 19. Área por departamentos en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda de Lima Metropolitana

### Consistencia interna del instrumento de la investigación

Polit y Hungler (2010) al igual que Burns y Grove (2004), afirman que no hay normas para determinar qué coeficiente de confiabilidad resulta aceptable, pero que en general es aceptable hasta un valor mínimo de 0,70. Otros autores como Sturmey (2005) y Llarena (2008) consideran un coeficiente de confiabilidad de alfa de Cronbach aceptable mínimo de 0,60.

Se realizó el procesamiento de datos en el programa estadístico SPSS versión 22 y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5, siguiendo lo establecido por Polit y Hungler, (2010), al igual que Burns y Grove (2004), quienes afirman que no hay normas para determinar qué coeficiente de confiabilidad resulta aceptable, pero que en general es aceptable hasta un valor mínimo de 0,70.

Tabla 5. Estadística de fiabilidad – Resumen Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Número de elementos
0,972	26

Las correlaciones de cada uno de las 26 preguntas analizadas con la prueba total son positivas, siendo las más elevadas la pregunta 20 con una correlación total de elementos corregida de 0,862 que es una correlación positiva muy fuerte. Los resultados alcanzados muestran que la consistencia interna para medir la fiabilidad del instrumento utilizando en el programa SPSS es excelente, con un Alfa de Cronbach 0,972 en la construcción de los edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

## Estadística descriptiva de la investigación

### a. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética

Para cambiar la forma de producción y consumo, mejorar la productividad, la competitividad y reducir la huella del impacto medioambiental de las zonas urbanas a lo largo del ciclo de vida de la edificación. Se observó que en el 12,16% de viviendas, los diseños y las especificaciones técnicas de las instalaciones eléctricas consideran bombillas de bajo consumo como LED o LFC, aprovechan al máximo la luz natural y eligen colores claros para las paredes de las oficinas e instalan sistemas de regulación, mientras que 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% informan a los administradores de las edificaciones 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 un promedio del 38,00% son aceptables para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

#### b. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable.

El 9,46% de las edificaciones, 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 estén funcionando, elegir electrodomésticos y sistemas de ahorro de energía, mientras que el 4,05% miden y verifican los ahorros energéticos para conocer cuáles son los ahorros reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación, además, buscan implementar energías renovables en su limpieza para no generar impacto al medio ambiente y sustituyen las tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía. El 1,35% 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 utilizadas desde el enfoque de energía renovable, en un promedio del 30,00% son aceptables para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

#### c. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación.

Se observó que el 8,78% de las edificaciones, aíslan 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 las edificaciones, considera que el diseño de las instalaciones eléctricas en las edificaciones está orientado 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 en un promedio del 34,00% es aceptable para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

#### a. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación.

El 5,41% de las empresas encuentra un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, mientras que el 4,73% de las empresas genera diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto y solamente el 2,76% 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 en un promedio del 25,00% es aceptable para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

#### d. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización.

El 4,05% de los encuestados confirmó que la empresa donde labora digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono, mientras que el 3,38% realizan un seguimiento regular del patrón de consumo e identifican funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes y descarbonizan en los procesos de fabricación de sus materiales. El 2,03% afirmó que buscan sistemas constructivos en seco fácilmente desmontables y separables para introducir los materiales en otros procesos de economía circular y obtienen la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral. La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización en un promedio del 25% es aceptable para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

#### Resumen general de las tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO2

En la tabla 6 se muestran los principales elementos estudiados para el análisis de las tecnologías de descarbonización para las emisiones de CO2.

Tabla 6. Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO2 en Edificaciones Multifamiliares en Lima Metropolitana

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Objetivo general	Muy frecuentemente	182	4.73%	4.73%
	Frecuentemente	988	25.68%	30.41%
	Ocasionalmente	1195	31.06%	61.46%
	Raramente	856	22.25%	83.71%
	Nunca	627	16.29%	100.00%
	Total	3848		

Se observa que las tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO2 en edificaciones, en un promedio del 30,41% son aceptables para este fin en los proyectos del Programa Fondo Mivivienda de Lima Metropolitana.

## Pruebas de normalidad

Los resultados obtenidos del SPSS, la normalidad en cada una de las 26 preguntas, para un  $n \leq 50$  fue realizada con la prueba de Shapiro-Wilk. La prueba de normalidad indicó que este estudio proviene de una población que no sigue una distribución normal, por lo tanto, para contrastación de las hipótesis se utilizaran pruebas no paramétricas debido a que los resultados son valores de significancia menores a  $\text{sig.} = p \leq 5,05$

Grado de asociación entre variables

La correlación total de elementos corregidos es el índice de homogeneidad. Entonces estos datos nos indican que existe una correlación, por lo que va de 0 a 1.

Tabla 7. Correlaciones binarias por Spearman

<b>Relación</b>	<b>Rango</b>
Correlación negativa perfecta	-0.91 a -1.00
Correlación negativa muy fuerte	-0.76 a -0.90
Correlación negativa considerable	-0.51 a -0.75
Correlación negativa media	-0.11 a -0.50
Correlación débil	-0.01 a -0.10
No existe correlación	0
Correlación positiva débil	+0.01 a +0.10
Correlación positiva media	+0.11 a +0.50
Correlación positiva considerable	+0.51 a +0.75
Correlación positiva muy fuerte	+0.76 a +0.90
Correlación positiva perfecta	+0.91 a +1.00

Fuente: Hernández & Fernández, 1998

De los resultados obtenidos por la prueba de fiabilidad del instrumento y la información obtenida podemos interpretar que tenemos un promedio de 0,745 de correlación positiva considerable, lo que refleja la existencia de una relación entre las preguntas planteadas.

## Contrastación de hipótesis

### Hipótesis general

**Hipótesis alterna (Ha):** El empleo de las tecnologías de descarbonización reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en edificaciones multifamiliares de Lima Metropolitana.

**Hipótesis nula (H0):** Las tecnologías de descarbonización no reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en Edificaciones Multifamiliares de Lima Metropolitana.

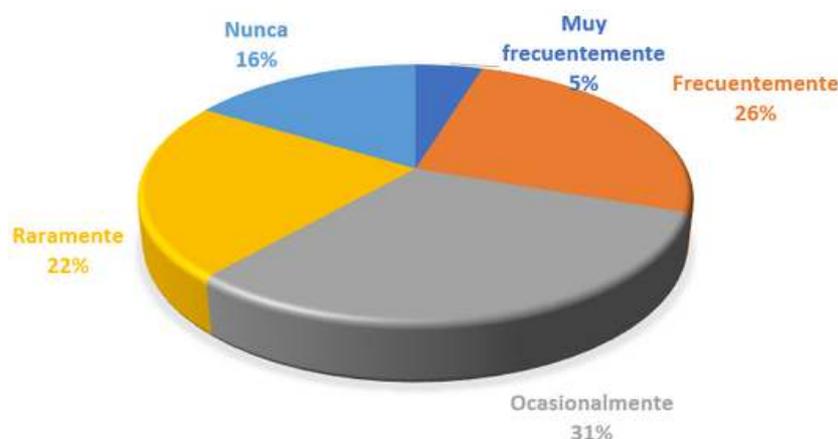


Figura 20. Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en Edificaciones Multifamiliares en Lima Metropolitana

Se observa que solo un pequeño porcentaje de las edificaciones utilizan muy frecuentemente tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 95,00% de los proyectos se pueden implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana (figura 20).

### Hipótesis específicas

#### Hipótesis específica (a)

**Hipótesis alterna (Ha):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética cambia la forma de producción y consumo, mejora la productividad, la competitividad y reduce la huella del impacto medioambiental en las zonas urbanas a lo largo del ciclo de vida de la edificación.

**Hipótesis nula (H0):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética no cambia la forma de producción y consumo, no mejora la productividad, la competitividad y ni reduce la huella del impacto medioambiental en las zonas urbanas a lo largo del ciclo de vida de la edificación.

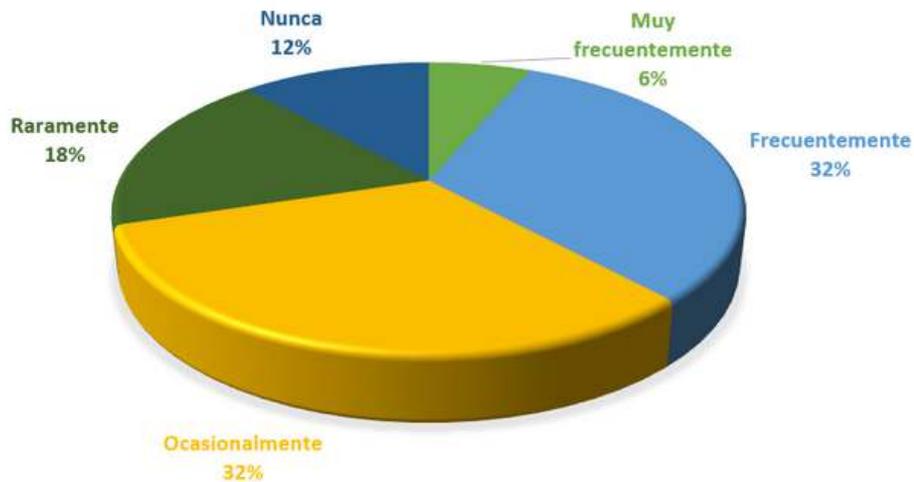


Figura 11. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética

Se observa que muy pocas empresas utilizan muy frecuentemente tecnologías de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 94,00% de los proyectos se pueden implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

Hipótesis específica (b)

**Hipótesis alterna (Ha):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable para cambia la forma de generar y consumir energía, obtiene mayor ahorro energético y acelera la implementación de energías renovables.

**Hipótesis nula (H0):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable no cambia la forma de generar y consumir energía, no obtiene mayor ahorro energético y ni acelera la implementación de energías renovables.

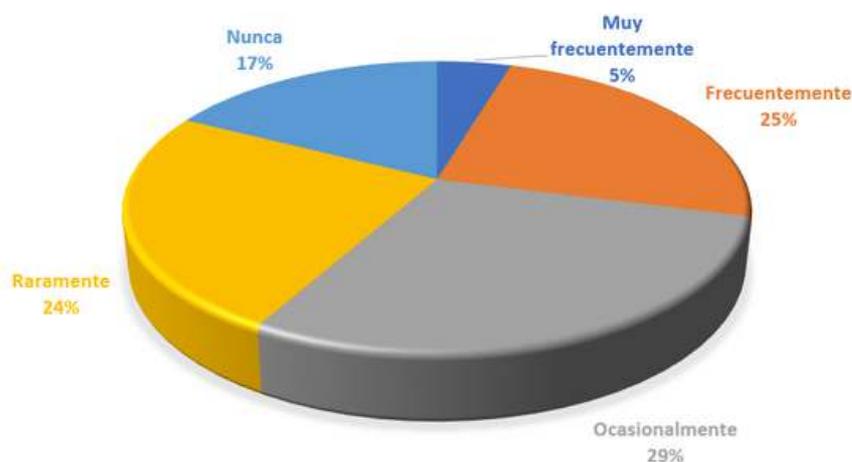


Figura 21. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable

Se observa que el 5,00% de las empresas utilizan muy frecuentemente tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 95.00% de los proyectos se puede implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

### Hipótesis específica (c)

**Hipótesis alterna (Ha):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación reemplaza los equipos del edificio y artefactos domésticos eliminando progresivamente la quema de combustibles fósiles por tecnología eléctrica moderna.

**Hipótesis nula (H0):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación no reemplaza los equipos del edificio y artefactos domésticos eliminando progresivamente la quema de combustibles fósiles por tecnología eléctrica moderna.

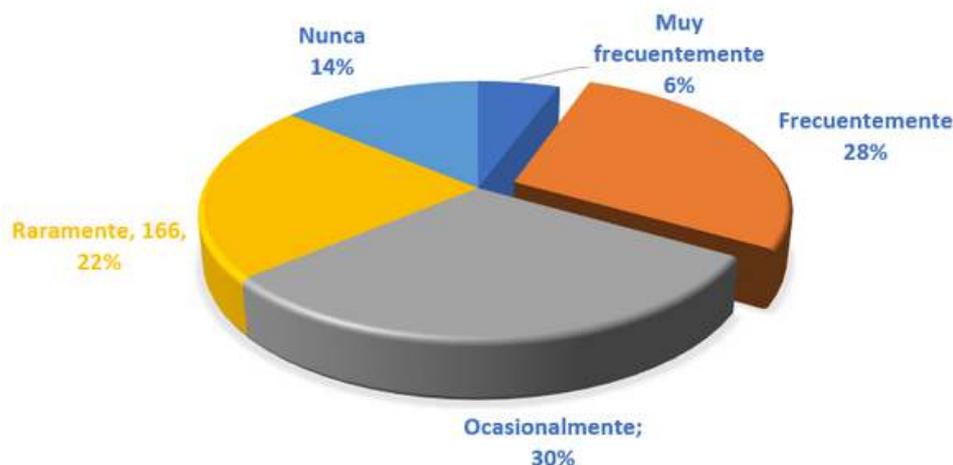


Figura 22. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación

Se observa que el 6,00% de las empresas utilizan muy frecuentemente tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 94.00% de los proyectos se puede implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

### Hipótesis específica (d)

**Hipótesis alterna (Ha):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación establece diferentes alternativas energéticas y compara la eficiencia de cada una de ellas, encuentra un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, crea simulaciones mucho más económicas y garantiza un diseño sustentable en términos de energía.

**Hipótesis nula (H0):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación no establece diferentes alternativas energéticas y compara la eficiencia de cada una de ellas, no encuentra un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, ni crea simulaciones mucho más económicas y garantiza un diseño sustentable en términos de energía.

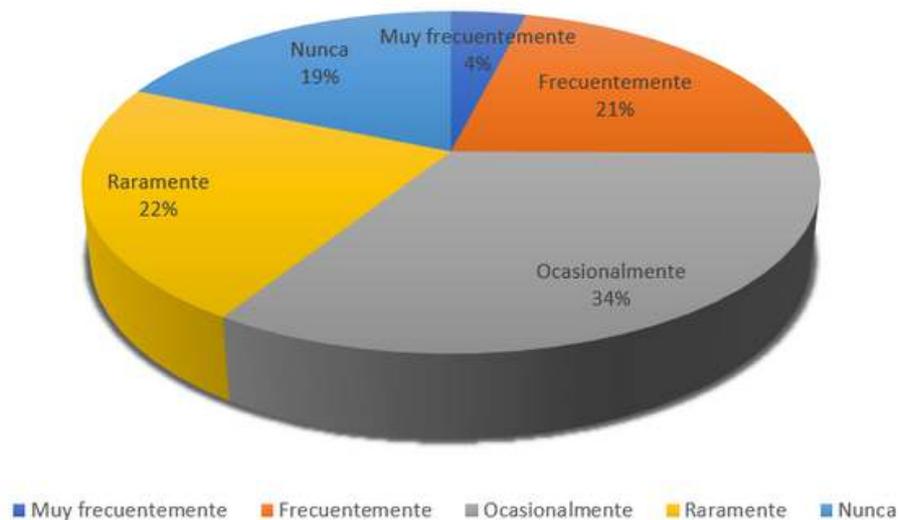


Figura 23. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación

El 4,00% utilizan muy frecuentemente tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 96.00% de los proyectos se puede implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

### Hipótesis específica (e)

**Hipótesis alterna (Ha):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización obtiene la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral y digitalizado e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono.

**Hipótesis nula (H0):** La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización no obtiene la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral y no digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono.

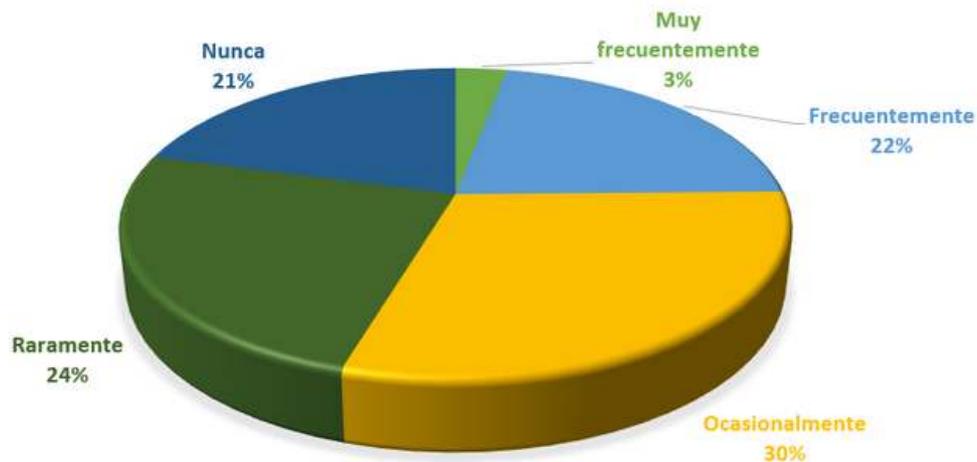


Figura 24. Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización

El 3,00% utilizan muy frecuentemente tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización, por consiguiente, se acepta la hipótesis de investigación, es decir, en un 97.00% de los proyectos se puede implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios multifamiliares del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

## Desarrollo de la solución al problema

### Análisis de calidad

Existen diversas técnicas cualitativas y pocas técnicas cuantitativas como las gráficas, que permiten determinar si la prestación de un servicio se encuentra bajo control; es decir, verificar si la calidad está dentro de los estándares establecidos por la empresa o institución, o fuera de ellos. El estudio muestra gráficas de control para medias de un proceso de aplicación a fin de identificar las áreas con deficiencias e implementar mejoras en los procesos. El análisis cuantitativo efectuó la evaluación de la información disponible sobre los riesgos del proyecto mediante gráficas de control y establecer los procesos que requieren mayor estudio y que necesitan de mejoras para cumplir con los objetivos del presente estudio. (Zeynalian, 2018), indican que el análisis de riesgo programático avanzado y el modelo de dirección son métodos desarrollados que pueden ser usados para el análisis de riesgo y los propósitos de dirección considerando las variables del estudio.

## Análisis cuantitativo

En el análisis cuantitativo se realizó la evaluación de la información disponible sobre los riesgos del proyecto, para ayudar a la clarificación y evaluación de la importancia del riesgo para el proyecto. En el análisis cuantitativo se consideró las gráficas de control, para comprender cuales son los procesos que requieren mayor control y que necesitan mejoras para cumplir con las metas de los proyectos.

En el control estadístico de la calidad se establecieron límites de control (LSC y LIC) alrededor de la media por cada proceso. La regla empírica establece que, el 99.74% de todas las observaciones en una distribución normal estarán dentro de este rango (tabla 8).

Tabla 8. Control estadístico para establecer límites de control

Porcentaje de los promedios de las muestras (%)	Número de errores estándar dentro de la media de la población
68.26	1 error (+ 1 s)
95.44	2 errores (+ 2 s)
99.74	3 errores (+ 3 s)

Fuente: (Anderson, 2004)Anderson, Sweeney y Williams (2004).

Con base estas premisas, la Figura 16 muestra los puntos 6, 10, 19, 24, 25 y 26 están fuera de control por debajo del 35.00%. Se debe tener mayor énfasis en esos 6 procesos, y realizar un análisis de riesgos, para tenerlo en cuenta y mejorarlos.

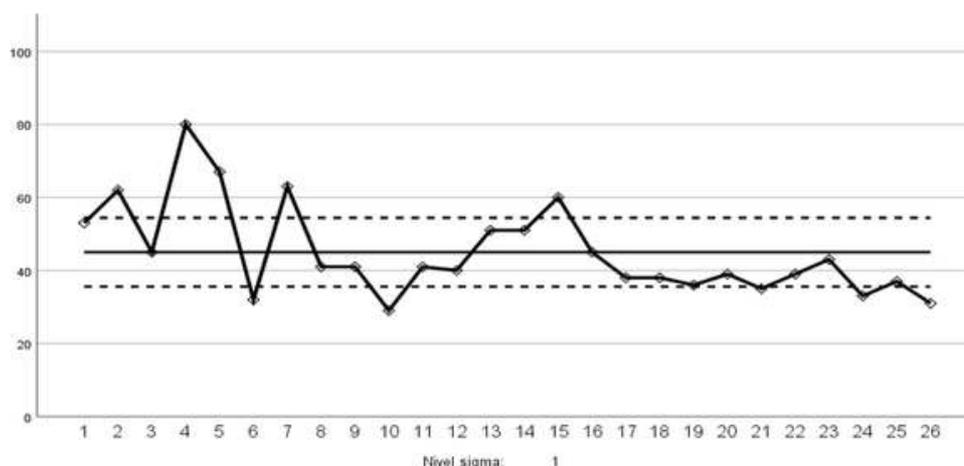


Figura 25. Análisis cuantitativo - Gráfico de control (porcentaje)

La tabla 9 muestra el grado de control de los procesos de la zona estudiada.

Tabla 9. Grado de control de los procesos en la zona de riesgo del Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana.

Ítem	Descripción	Relación
1	6. ¿Informan a los administradores de las edificaciones que por cada grado que suban o bajen la temperatura puede suponer hasta un 7% más en tu consumo y que la temperatura operativa recomendada según el Reglamento instalaciones térmicas en los edificios (RITE) es de entre 23°C y 25 °C, en verano y entre 21 °C y 23 °C en invierno?	Baja*
2	10. ¿La empresa 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?	Baja*
3	19. ¿La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones?	Baja*
4	24. ¿La empresa donde labora digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono?	Baja*
5	25. ¿Establen un seguimiento regular del patrón de consumo e identificar funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes?	Baja*
6	26. ¿Los edificios que construyen están en los procesos de construcción, en la descarbonización de los procesos de fabricación de sus materiales?	Baja*

### Análisis cualitativo

El análisis cualitativo consistió en priorizar los riesgos para tomar acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos, para mejorar el desempeño de los procesos del proyecto concentrando los riesgos de alta prioridad.

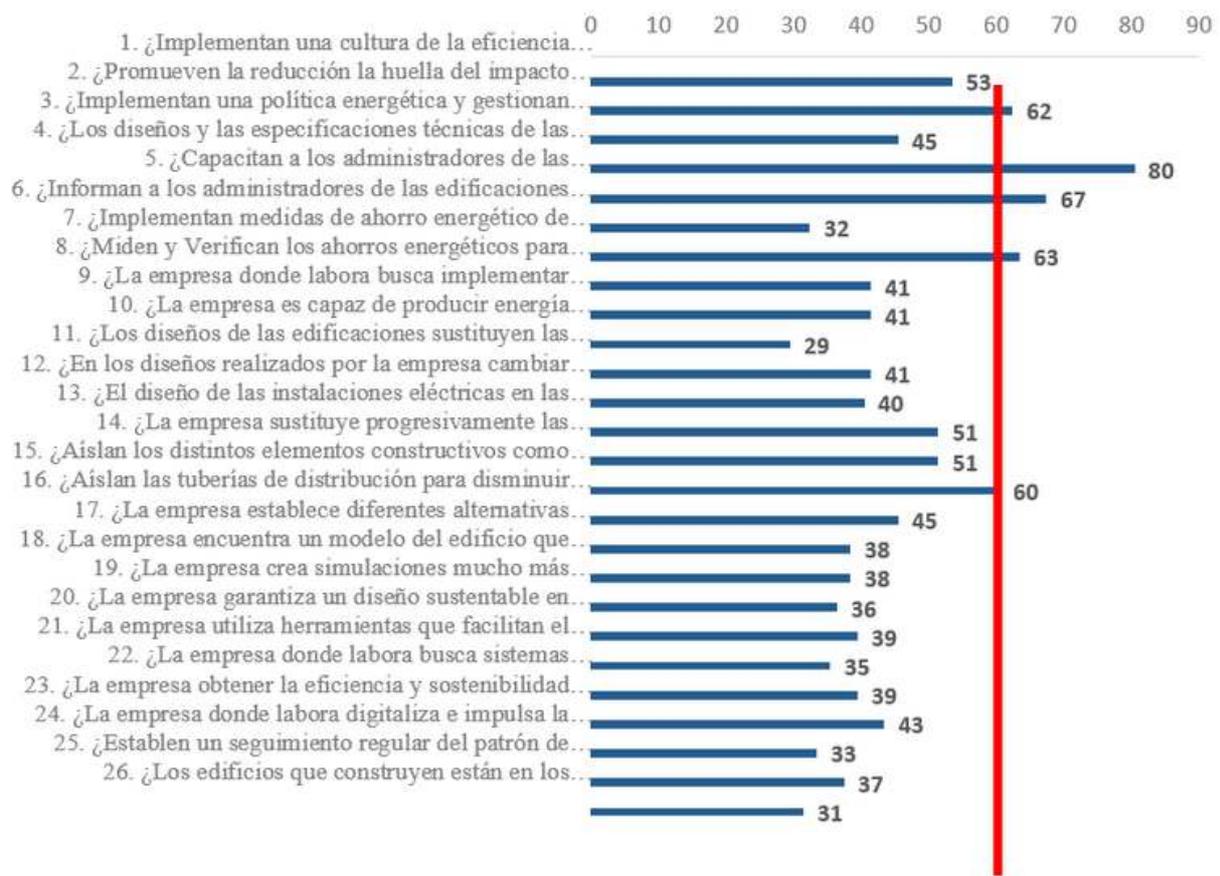


Figura 26. Análisis cualitativo – Histograma de frecuencias (porcentaje)

Se analizó el impacto correspondiente sobre los objetivos del proyecto como la inducción a la reducción de las emisiones del CO<sub>2</sub>, para lo cual se estudió las restricciones del proyecto en cuanto al diseño. Estas evaluaciones reflejaron la actitud frente a los riesgos, tanto del equipo del proyecto como de otros interesados. Para el análisis de los datos cualitativos se optó por establecer una mejora en aquellos procesos que utilizan de igual o menor al 60.00% los procedimientos que utilizan las tecnologías de descarbonización.

Se analizó el impacto correspondiente sobre los objetivos del proyecto, para lo cual se estudió las tecnologías propuestas. Según lo mostrado en la tabla 20 se pondrá énfasis en el plan de mejora los procesos que se encuentra en la zona de riesgo.

### Actividades específicas que contiene la solución

La solución práctica de la propuesta estrategia fue mediante un análisis de riesgo, utilizando tablas personalizadas cruzadas en los procesos de alto riesgo y que necesitan ser controlados, para ser implementados. En las siguientes tablas se analizaron los procesos que están fuera de control vs procesos del análisis cualitativo que influyen en la reducción del CO<sub>2</sub>.

Tabla 10. Administradores de las edificaciones vs la política energética y gestión de aspectos energéticos en las instalaciones eléctricas

		3. ¿Implementan una política energética y gestionan adecuadamente los aspectos energéticos derivados de su actividad en las instalaciones eléctricas?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
6. ¿Informan a los administradores de las edificaciones que por cada grado que suban o bajen la temperatura puede suponer hasta un 7% más en tu consumo y que la temperatura operativa recomendada según el Reglamento instalaciones térmicas en los edificios?	Muy frecuentemente	0	2	1	0	0	3
	Frecuentemente	2	21	5	0	1	29
	Ocasionalmente	1	9	17	4	0	31
	Raramente	1	6	21	9	2	39
	Nunca	1	2	18	16	9	46
Total		5	40	62	29	12	148

La tabla 10 indica, que en 2 ( $2/148 \times 100 = 1.35\%$ ) proyectos frecuentemente los administradores de las edificaciones están informados de que por cada grado que suban o bajen la temperatura puede suponer hasta un 7.00% más de consumo y que frecuentemente los proyectos implementan una política energética y gestionan adecuadamente los aspectos energéticos en las instalaciones eléctricas de la edificación

Tabla 11. Energía renovable con un costo muy competitivo vs. ahorros energéticos reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación

		8. ¿Miden y Verifican los ahorros energéticos para conocer cuáles son los ahorros reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
10. ¿La empresa 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?	Muy frecuentemente	1	1	0	0	0	2
	Frecuentemente	3	17	6	1	0	27
	Ocasionalmente	1	9	16	11	3	40
	Raramente	0	4	9	13	7	33
	Nunca	1	4	11	12	18	46
Total		6	35	42	37	28	148

La tabla 11 indica, que hasta en 4 ( $4/148 \times 100 = 2.70\%$ ) proyectos frecuentemente la empresa 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 y que frecuentemente miden y verifican los ahorros energéticos para conocer cuáles son los ahorros reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación.

Tabla 12. Energía renovable con un costo muy competitivo mediante la utilización de recursos naturales inagotables vs. el impacto al medio ambiente

		9. ¿La empresa donde labora busca implementar energías renovables es su limpieza para no generar impacto al medio ambiente?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
10. ¿La empresa 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?	Muy frecuentemente	2	0	0	0	0	2
	Frecuentemente	2	20	3	1	1	27
	Ocasionalmente	0	8	21	7	4	40
	Raramente	0	4	12	13	4	33
	Nunca	2	3	15	15	11	46
Total		6	35	51	36	20	148

La tabla 12 indica, que en 4 ( $4/148 \times 100 = 1.35\%$ ) proyectos muy frecuentemente la empresa 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 y que busca implementar energías renovables es su limpieza para no generar impacto al medio ambiente.

Tabla 13, Energía renovable con un costo muy competitivo mediante la utilización de recursos naturales inagotables vs. diseños de las edificaciones con tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía

		11. ¿Los diseños de las edificaciones sustituyen las tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
10. ¿La empresa 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?	Muy frecuentemente	2	0	0	0	0	2
	Frecuentemente	3	18	4	2	0	27
	Ocasionalmente	0	7	22	10	1	40
	Raramente	0	3	7	19	4	33
	Nunca	1	7	4	16	18	46
Total		6	35	37	47	23	148

La tabla 13 indica, que en 5 ( $5/148 \times 100 = 3.38\%$ ) proyectos muy frecuentemente la empresa 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 y los diseños de las edificaciones sustituyen las tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía.

Tabla 14. Simulaciones económicas con enfoque de eficiencia energética vs. herramientas que facilitan el análisis energético en el diseño de una edificación

		21. ¿La empresa utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño de una edificación?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
19. ¿La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones?	Muy frecuentemente	4	1	0	0	0	5
	Frecuente	1	19	11	0	0	31
	Ocasionalmente	0	8	24	5	3	40
	Raramente	0	2	14	19	2	37
	Nunca	0	0	2	10	23	35
Total		5	30	51	34	28	148

La tabla 14 indica, que hasta en 5 ( $5/148 \times 100 = 3.38\%$ ) proyectos muy frecuentemente la empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones y utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño.

Tabla 15. Neutralidad de las emisiones de carbono vs. diseños enfocados en edificaciones sostenibles

		12. ¿En los diseños realizados por la empresa cambiar la forma de generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
24. ¿La empresa donde labora digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono?	Muy frecuentemente	5	1	0	0	0	6
	Frecuente	0	18	8	1	0	27
	Ocasionalmente	2	8	23	14	2	49
	Raramente	0	4	11	14	4	33
	Nunca	0	2	7	11	13	33
Total		7	33	49	40	19	148

La tabla 15 indica, que hasta en 5 ( $5/148 \times 100 = 3.38\%$ ) proyectos frecuentemente la empresa digitaliza e impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono y los diseños realizados por la empresa cambian la forma de generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles.

Tabla 16. Consumo de energía mediante sensores inteligentes vs. simulaciones con un enfoque de eficiencia energética

		19. ¿La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
25. ¿Establecen un seguimiento regular del patrón de consumo e identificar funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes?	Muy frecuentemente	4	1	0	0	0	5
	Frecuentemente	1	20	8	2	1	32
	Ocasionalmente	0	6	18	8	2	34
	Raramente	0	4	11	21	7	43
	Nunca	0	0	3	6	25	34
Total		5	31	40	37	35	148

La tabla 16 indica, que hasta en 5 ( $5/148 \times 100 = 3.38\%$ ) proyectos frecuentemente establecen un seguimiento regular del patrón de consumo e identificar funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes y crean simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones.

Tabla 17. Descarbonización de los procesos de fabricación de sus materiales vs pérdidas térmicas que hacen que el consumo de energía sea mayor del necesario

		16. ¿Aíslan las tuberías de distribución para disminuir pérdidas térmicas que hacen que el consumo de energía sea mayor del necesario?					Total
		Muy frecuente	Frecuente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca	
26. ¿Los edificios que construyen están en los procesos de construcción, en la descarbonización de los procesos de fabricación de sus materiales?	Muy frecuentemente	2	3	0	0	0	5
	Frecuentemente	2	15	8	1	0	26
	Ocasionalmente	1	11	21	10	2	45
	Raramente	0	7	8	13	6	34
	Nunca	0	4	8	12	14	38
Total		5	40	45	36	22	148

La tabla 17 indica, que hasta en 4 ( $4/148 \times 100 = 2.70\%$ ) proyectos frecuentemente descarbonizan en los procesos de fabricación sus materiales y aíslan las tuberías de distribución para disminuir pérdidas térmicas para que el consumo de energía sea mayor del necesario.

## Indicadores o criterios a través del plan de mejora

### Procesos para optimizar en el plan de mejora

En la tabla 18, se muestra los procesos que se deben de mejorar para optimizar la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En las tablas 19, 20, 21, 22 y 23 se presenta los planes de mejoras por cada una de las tecnologías de descarbonización estudiadas en la presente investigación.

## Procedimientos para el plan de mejora (PM)

Tabla 18. Propuesta de mejora desde el enfoque de la eficiencia energética

Ítems	Propuesta de mejora
PM-1-1	Informar a los administradores de las edificaciones que por cada grado que suban o bajen la temperatura puede suponer hasta un 7% más en su consumo y que la temperatura operativa recomendada según el Reglamento Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) es de entre 23 °C y 25 °C, en verano y entre 21 °C y 23 °C en invierno, implementando una cultura de eficiencia energética en la empresa mediante formación e información a los trabajadores favoreciendo al acceso a la documentación técnica sobre ahorro de energía.
PM-1-2	Implementar una política energética y de gestión adecuada en aspectos energéticos derivados de su actividad en las instalaciones eléctricas de la edificación, utilizando herramientas que identifiquen las actividades que consumen más energía para minimizar los consumos energéticos de sus instalaciones y sistemas de forma integrada incrementando la eficiencia energética.

Tabla 19. Propuesta de mejora desde el enfoque de la energía renovable.

Ítems	Propuesta de mejora
PM-2-4	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, midiendo y verificando los ahorros energéticos para conocer cuáles son los ahorros reales de un equipo o artefacto utilizados en la edificación.
PM-2-5	Implementar energías renovables que no generan impacto al medio ambiente y que están relacionadas a la generación de CO <sub>2</sub> que contribuyen al aumento del efecto invernadero generadas por el consumo de energía en hogares u oficinas y el consumo fantasma originado por aparatos conectados permanentemente a la red eléctrica como el televisor, monitor de computador, lámparas, teléfonos móviles, entre otros.
PM-2-6	Sustituir las tecnologías térmicas o hidráulicas por equipos o artefactos que consuman menos energía, evaluando la compra de artefactos modernos, teniendo en cuenta el ahorro energético, calidad de vida, mantenimiento (repuestos), entre otros criterios que serán determinados por los usuarios.

Tabla 20. Propuesta de mejora desde el enfoque de la electrificación

Ítems	Propuesta de mejora
PM-0-1	Diseñar los proyectos inmobiliarios cambiando la forma de generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles buscando desarrollar prácticas y medidas de eficiencia en el uso y consumo de agua y energía, mejorando técnicas usando tecnologías limpias o renovables que ayuden a reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> .
PM-0-2	Diseñar las instalaciones eléctricas en las edificaciones orientadas a obtener el mayor ahorro energético capaz de generar, recibir, almacenar y distribuir energía térmica y eléctrica de forma inteligente, manteniendo las condiciones técnicas, espaciales y formales de la edificación.
PM-0-3	Sustituir progresivamente las tecnologías que utilizan combustibles fósiles por tecnologías que usan electricidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando energías renovables, como la eólica y la solar.
PM-0-4	Aislar las tuberías de distribución para disminuir pérdidas térmicas que hacen que el consumo de energía sea mayor del necesario, reduciendo pérdidas de energía evitando las condensaciones superficiales, el contacto accidental en superficies calientes, el riesgo de congelación de tuberías en el exterior de los edificios y el posible incremento de temperatura del agua de consumo humano.

Tabla 21. Propuesta de mejora desde el enfoque modelación de la biomasa

Ítems	Propuesta de mejora
PM-3-8	Generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles generando parámetros como la ocupación prevista, horarios de funcionamiento, cargas internas, termostatos o niveles de iluminación. Obtener energía y transformarla, en energía eléctrica como el viento, el agua o el sol, entre otras.
PM-3-9	Ubicar adecuadamente la edificación creando un archivo de clima al modelo con información de la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, estos datos da en valores medios y también en días extremos que sirven para dimensionar los equipos de aire acondicionado y calefacción.
PM-3-10	Utilizar combustibles fósiles por tecnologías que provienen solamente de fuentes renovables, como sensores de calidad del aire. Usar ventilación de recuperación de energía, después de gastar toda la energía para calentar o enfriar un edificio. Electrificar alejará a los edificios de los combustibles fósiles sucios, logrando que la red sea más limpia mediante la expansión de las energías renovables, como la eólica y la solar.
PM-3-11	Introducir las características de la envolvente determinada por la geometría de la edificación ya que es la capa del edificio en contacto con el exterior y que define el comportamiento térmico. Definir los parámetros térmicos de la envolvente, cómo los aislamientos, los puentes térmicos, cubiertas, fachadas, medianeras, vidrios, forjados en contacto con espacios no acondicionados, entre otros.

Tabla 22. Propuesta de mejora desde el enfoque de la industrialización

Ítems	Propuesta de mejora
PM-4-17	Digitalizar e impulsar la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono buscando sistemas constructivos en seco fácilmente desmontables y separables para introducir los materiales en otros procesos de economía circular.
PM-4-18	Obtener la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral por su construcción y equipamiento, para ello se debe conseguir un alto nivel de eficiencia reduciendo el consumo de energía, agua y otros recursos para disminuir la contaminación.
PM-4-19	Establecer un seguimiento regular del patrón de consumo e identificar funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes. Conocer los excesos de consumo instalando medidores para supervisar o monitorear la energía eléctrica, con el objeto de identificar las desviaciones o mermas del consumo energético.
PM-4-20	Considerar en los procesos de fabricación de materiales en la construcción de tal manera de causar el menor impacto ambiental, incorporando criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética, durabilidad, recursos renovables, tecnologías limpias y materiales residuales.

### Recomendaciones para la propuesta de mejora (PR):

En la tabla 26, se muestran las recomendaciones propuestas por la presente investigación para que se tome en cuenta por cada una de las tecnologías de descarbonización estudiadas.

Tabla 23. Recomendación para la propuesta de mejora

Ítems	Recomendaciones para la propuesta de mejora
<p><b>PR-1</b> <b>Enfoque de la eficiencia energética</b></p>	<p>Capacitar a los miembros del equipo de trabajo en términos de eficiencia energética y que se identifiquen con la problemática para generar proyectos sostenibles, que hayan leído el Reglamento Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE), favoreciendo al acceso a la documentación técnica sobre ahorro de energía. Implementar una política energética y de gestión adecuada en aspectos energéticos derivados de su actividad en las instalaciones eléctricas de la edificación, para minimizar los consumos energéticos de sus instalaciones y sistemas de forma integrada.</p>
<p><b>PR-2</b> <b>Enfoque de la energía renovable</b></p>	<p>Mantener en los diseños una política de producir energía renovable muy competitivo mediante la utilización de recursos naturales inagotables, como el sol, el viento, el agua o la biomasa, implementando energías renovables que no generan impacto al medio ambiente y que están relacionadas a la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen al aumento del efecto invernadero. Estar informado sobre las nuevas tecnologías que permitan que consuman menos energía, teniendo en cuenta el ahorro energético, calidad de vida, mantenimiento, entre otros criterios mencionados en el estudio.</p>
<p><b>PR-3</b> <b>Enfoque de la electrificación</b></p>	<p>Generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles buscando desarrollar prácticas y medidas de eficiencia en el uso y consumo de agua y energía, mejorando técnicas usando tecnologías limpias o renovables que ayuden a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Desarrollar en forma inteligente, condiciones técnicas, de sustitución progresiva de tecnologías que utilizan combustibles fósiles por tecnologías que usan electricidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando energías renovables, como la eólica y la solar.</p>
<p><b>PR-4</b> <b>Enfoque modelación de la biomasa</b></p>	<p>Obtener energía y transformarla, en energía eléctrica como el viento, el agua o el sol, entre otras. Crear un archivo de clima al modelo con información de la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, estos datos da en valores medios y también en días extremos que sirven para dimensionar los equipos de aire acondicionado y calefacción.</p>
<p><b>PR-5</b> <b>Enfoque de la industrialización</b></p>	<p>Realizar diseños en forma integral teniendo en cuenta su construcción y equipamiento para ello se debe conseguir un alto nivel de eficiencia reduciendo el consumo de energía, agua y otros recursos para disminuir la contaminación. Identificar procesos de fabricación de materiales en la construcción incorporando criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética, durabilidad, recursos renovables, tecnologías limpias y materiales residuales.</p>

## Evaluación de las tecnologías de descarbonización

### Tecnología de descarbonización: enfoque de la eficiencia energética.

La finalidad es cambiar la forma de producción y consumo, mejorar la productividad, la competitividad y reducir la huella del impacto medioambiental de las zonas urbanas a lo largo del ciclo de vida de la edificación. Krarti et al. (2017) indican que los beneficios económicos, ambientales y sociales se cuantifican tanto para establecer estándares de eficiencia energética más estrictos para edificios nuevos como para realizar modificaciones energéticas en edificios existentes a fin de mejorar la eficiencia energética puede proporcionar múltiples beneficios, entre ellos: La refrigeración de espacios es responsable de más del 60.00% del consumo total de electricidad, el uso de sistemas de refrigeración energéticamente eficientes tiene el potencial de

reducir el consumo anual de energía hasta en un 28.00% obteniendo ahorros adicionales del 20.00% con la adición de aislamiento térmico en paredes y techos. Otros autores (Krarti et al., 2017b), indican que los conjuntos óptimos de medidas de eficiencia energética pueden generar ahorros de más del 60.00% tanto en el consumo anual de energía como en la demanda eléctrica máxima para todos los tipos de edificios.

Tanto los edificios nuevos como los existentes pueden beneficiarse de conjuntos óptimos de estrategias de eficiencia energética que pueden identificarse fácilmente mediante un análisis de simulación detallado, logrando una reducción de al menos un 25.00% en el consumo de energía. Los beneficios de los programas de eficiencia energética incluyen reducciones de emisiones de carbono (asociadas con la reducción de la cantidad de combustible necesaria para generar electricidad), ahorros en el uso de combustible (asociados con ahorros anuales en el uso de energía) y reducción de la inversión en la construcción de futuras centrales eléctricas (asociado con el ahorro de demanda eléctrica pico). Las emisiones de carbono para generar electricidad de un 25.00% del Ahorro de demanda máxima es 43 MW.

Tabla 24. Beneficios económicos y ambientales por envolvente de edificios con aislamiento térmico

Tipo de construcción	Ahorro anual de uso de energía (GWh/año)	Ahorro de demanda máxima (MW)	Ahorro anual de emisiones de CO <sub>2</sub> (10 <sup>3</sup> Ton/año)	Ahorros anuales en costos de energía (millones de dólares/año)	Ahorro en demanda máxima (millones de dólares)
Edificios residenciales	186	43	92	19	52
Edificios comerciales	85	20	42	8	24
Edificios Gubernamentales	40	9	20	4	11
Total	311	73	154	31	87

Fuente (Krarti et al., 2017b)

### Tecnología de descarbonización: enfoque de energía renovable.

La finalidad es cambiar la forma de generar y consumir energía, obtener el mayor ahorro energético y acelerar la implementación de renovables. Szymańska et al. (2023) determinaron en qué medida los hogares cumplen con energías renovables que aporten a sus necesidades y qué factores favorecen su instalación. Se identificó la transición percibida por los miembros del hogar. El consumo de energía renovable en el 2020 fue de 16,10%. En su estructura predominan las instalaciones fotovoltaicas con una cuota del 52,00%.

Los colectores solares térmicos y la caldera de biomasa representan las principales fuentes de calor del sistema cuando se necesita refrigeración, los colectores solares térmicos aportan calor al módulo de sorción, que se conecta en cascada con la bomba de calor, suministrando así refrigeración del espacio con alta eficiencia, y se describe claramente en la siguiente sección. La calefacción de espacios puede obtenerse directamente por calor solar o, alternativamente, por la biomasa o mediante la bomba de calor. Las principales características del sistema híbrido propuesto incluyen el aprovechamiento del calor solar en un amplio rango de temperatura, de 15 °C a 95 °C y una innovadora configuración de bomba de calor.

### **Tecnología de descarbonización: enfoque de la electrificación.**

La finalidad es reemplazar el equipo del edificio y artefactos domésticos eliminando progresivamente la quema de combustibles fósiles en la edificación por tecnología eléctrica moderna. Chavarry & Rodríguez (2020) condicionan el departamento con equipos y/o artefactos, cambiándolos por los existentes, esto permitió que se genere menor consumo energético disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el caso de los servicios generales solo se propuso cambiar todos los equipos de iluminación en el edificio reemplazando los focos incandescentes por focos led (ahorradores), manteniéndose los equipos existentes tanto como es el caso de los elevadores de personas y de minusválidos, equipo elevador de automóviles y los equipos de bombas de agua (tabla 25).

Tabla 25. Listado de equipos y/o artefactos existentes en el área de servicios generales

Equipo y/o artefacto	Potencia
Equipo de 2 Electrobombas CPM 670, caudal 9.6 m <sup>3</sup> /h.	3HP/1492 watts
Ascensor de Vehiculos, carga útil 3,500 kg, velocidad 4m/seg.	9 CV
Ascensor de Personas 10 paradas, capacidad 6 personas. velocidad 0.7 m/seg.	3.1 kw o 4.2 CV
Ascensor de discapacitados, capacidad 2 persona = 100 Kg.	1 kw
Fluorescentes de 100 Watts ubicados en los 20 puntos de estacionamientos y 48 focos incandescentes en hall de recepción, exteriores, jardín, counter y escaleras de emergencia.	100 watts

Fuente: (Chavarry & Rodríguez, 2020)

Se obtuvieron los siguientes resultados: La facturación del consumo energético e índice del costo de energía según lo reportado por los recibos emitidos por la empresa de distribución de electricidad indica que el consumo en los tres meses de estudio fue de primer mes 297.60 Kw/h, segundo mes 313.25 kw/h y tercer mes 300.10 Kw/h.

En referencia a los consumos de los servicios generales del edificio, estos incluyen el gasto generado por el ascensor de vehículos, el ascensor de personas y de discapacitados, el servicio que brinda los equipos del cuarto de bombas y los servicios de iluminación y tomacorrientes de los 3 sótanos y el hall de ingreso y el salón. De acuerdo con la verificación de los recibos emitidos por la empresa de distribución y abastecimiento de electricidad el consumo realizado en el primer mes fue 1022.66 kw/h, segundo mes 1055.98 kw/h y tercer mes 1055.71 kw/h (tabla 27).

Tabla 27. Consumo energético y emisión de CO<sub>2</sub>, por departamento, edificación y servicios generales según grupo de control y/o experimental

Descripción	Opción (a): Grupo de control (antes) (kw/h)	Opción (b): Grupo experimental (después) (kw/h)
Consumo energético del departamento típico	300.10	174.3086
Consumo energético de los siete departamentos	2,100.70	1,220.1602
Consumo energético de los servicios generales	1,055.71	387.39348
Consumo energético del edificio	3,156.41	1,607.5537
Emisión de CO <sub>2</sub>	946,923.00	482,266.11
Reducción total de la emisión de CO <sub>2</sub>		49.07%

Se deduce que por departamento se tendría un consumo promedio antes de  $3,156.41/7 = 450.92$  kw/h y después de  $1707.55/7 = 229.65$ kw/h.

### Tecnología de descarbonización: enfoque de la modelación.

La finalidad es establecer diferentes alternativas energéticas y comparar la eficiencia de cada una de ellas, encontrar un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, crear simulaciones mucho más económicas y garantizar un diseño sustentable en términos de energía. Amoruso et al. (2019) mencionan que el sistema envolvente proporciona un aumento del 15.00% para el factor de luz natural, el 30.00% para la autonomía de la luz natural y el 15.00% para la iluminación útil de la luz natural, en comparación con la condición de la unidad de apartamento existente. (Montiel-Santiago et al., 2020a), obtuvieron el modelo energético del edificio, donde se definió el sistema de climatización, se realizó la configuración energética del edificio y se asignaron sus características ocupacionales.

Posteriormente se realizaron la simulación y análisis energético con el complemento de REVIT, INSIGHT en la nube. Finalmente, analizaron la visualización e interacción con los resultados obtenidos en esta plataforma a través de diagramas de rendimiento directamente en un modelo virtual (Figura 27 ).

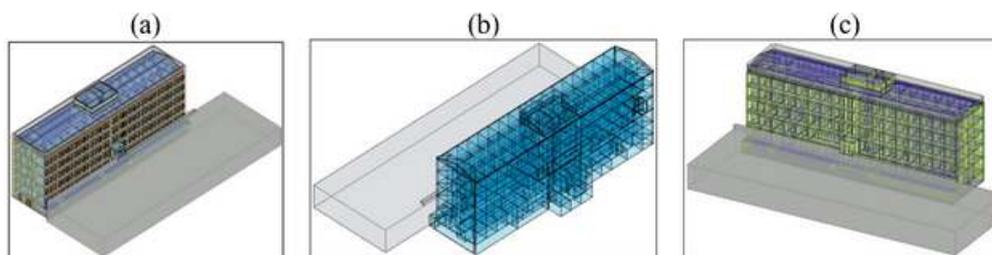


Figura 27. (a) Modelo energético del edificio en REVIT (b) Vista de espacios analíticos del modelo energético del edificio en REVIT (c) Vista de superficies analíticas del modelo energético del edificio en REVIT

Fuente: (Montiel-Santiago et al., 2020a)

Las mejoras propuestas consiguieron un ahorro energético respecto a la situación actual. En resumen, se representan gráficamente los diferentes escenarios analizados en la simulación energética aplicada. En este apartado se muestra el gráfico de las diferentes alternativas de mejora estudiadas en la simulación energética, donde se puede apreciar el ahorro del 46.68%  $((1-138.17/259.11) \times 100)$  de mejora global respecto a la situación inicial.

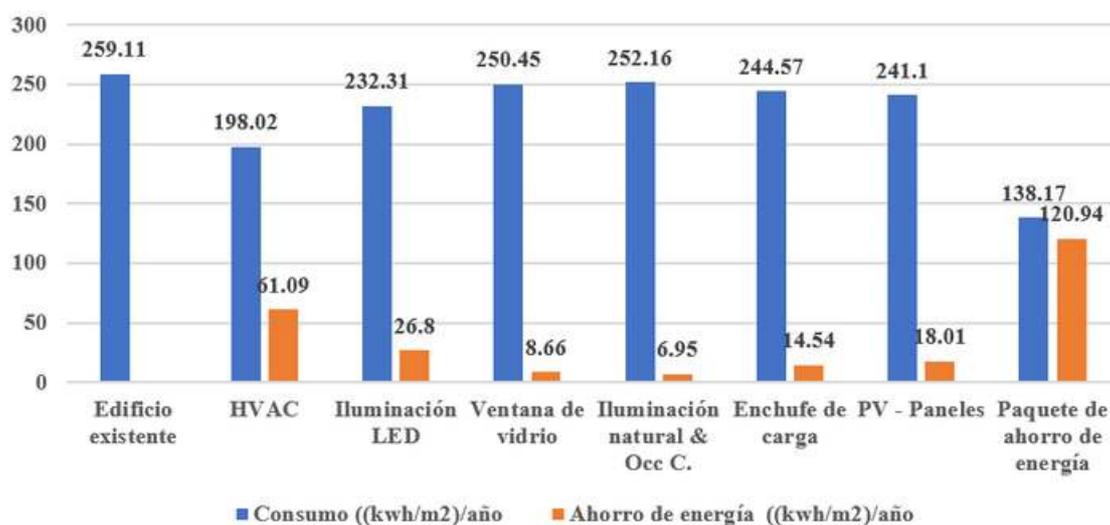


Figura 28. Gráfico con los diferentes escenarios analizados para el edificio

Fuente: (Montiel-Santiago et al., 2020a)

Los resultados mostrados permitieron realizar un análisis exhaustivo 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 y una mejora en la certificación energética del edificio.

### **Tecnología de descarbonización: enfoque de la industrialización.**

La finalidad es obtener la eficiencia y sostenibilidad en la fase de un diseño integral y digitalizado e impulsar la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono. Liu, (2022), indica que la contaminación ambiental y la respuesta al cambio climático, así como la integración de la construcción ecológica de civilizaciones, pero también propician la mejora y el ajuste de la estructura energética, con el fin de lograr un desarrollo sostenible. Como una de las áreas clave en el país para la conservación de energía y la reducción de emisiones, las áreas remotas deben garantizar que los objetivos nacionales de reducción de emisiones de energía se completen a tiempo. Ahora, la tarea principal de toda la región es la conservación de la energía y la reducción de las emisiones, eliminando energéticamente cierta capacidad de producción atrasada en energía y otras industrias y frenando el alto consumo de energía. Depende principalmente del aumento del consumo de recursos materiales, así como del progreso científico y tecnológico, de la mejora de la calidad de los trabajadores y de la innovación en la gestión. En cierta medida, la estructura económica determina la estructura energética, la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (tabla 28).

Tabla 28. Reducción de las emisiones de gases de CO2 - Industrialización

Industrialización	Reducción Emisiones de CO2
Peso total del SBT	62.10%
sistema BTC	124.45%
Energía embebida total del 3	20.10%
Energía incorporada total del SBT	16.50%
Emisiones de dióxido de carbono totales del SBT	5.00%
Promedio	<b>45.63%</b>

Nota:

SBT: Evaluación de objetivos basados en la ciencia

BTC: Producto del minado de Bitcoin

SAT: Servicio de Administración Tributaria

Fuente: (Liu, 2022),

Entre las ventajas ha demostrado ser más ligero que los sistemas de adobe tradicional y de BTC; sin embargo, la cualidad ecológica más relevante del sistema es que al emplear en mayor medida materiales naturales como la madera, la tierra y la paja se logran coeficientes negativos en cuanto a sus emisiones de dióxido de carbono. A su vez, el uso de estos materiales naturales lo convierte en un sistema que secuestra carbono de manera indirecta. Liu(2022), menciona que los datos generados para un área de 10 m<sup>2</sup>, se deduce que el SBT tiene un peso de 704,2 kg/m<sup>2</sup>, una energía incorporada de 1.566,7 MJ/m<sup>2</sup>, y genera -147,6 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, de esta manera, se puede establecer que por cada 60 m<sup>2</sup> de construcción, tomando como referencia el área mínima de una vivienda social, se tendría un peso de 42.252 kg, equivalentes a 42,2 toneladas, una energía embebida de 94.002 MJ, y generaría -8.856 kg CO<sub>2</sub>.

## **Tecnologías de descarbonización**

La finalidad es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en Edificaciones Multifamiliares de Lima Metropolitana. William et al. (2022b), mencionan que los edificios consumen aproximadamente entre el 30.00% y el 40.00% de la producción mundial de energía y contribuyen a una cantidad considerable de emisiones de efecto invernadero, aproximadamente el 19.00%. Se pueden adoptar varias estrategias en los edificios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por ejemplo: medidas de eficiencia de energía, agua y materiales. Una posible práctica es reemplazar las fuentes de electricidad convencional con energías renovables que se utilizan en todo el mundo en los edificios. Una de las posibles soluciones renovables es la fotovoltaica y especialmente la fotovoltaica integrada en edificios. Las tecnologías BIPV (Build Integrate Photovoltaics) están siendo ampliamente utilizadas en la actualidad debido a su doble naturaleza, es decir, reemplazan las envolventes estándar de los edificios y generan electricidad. Se han realizado evaluaciones ambientales y económicas que, a cambio, proponen una envolvente del edificio que mejora el rendimiento energético. Las soluciones propuestas tienden a reducir el uso de energía, generar energía verde a través de GIPV (Greenhouse integrated photovoltaics) y reducir el malestar térmico interior. Las mejoras obtenidas no se producen exclusivamente por la incorporación de fotovoltaica sino, en gran medida, por la mejora en la envolvente del edificio. Los resultados de los diferentes climas y modelos mostraron reducciones en el CO<sub>2</sub> en el rango de 9.00% a 31.00% y reducciones en las horas de incomodidad en el rango de 10.00% a 25.00% dependiendo de las especificaciones del modelo.

Tabla 29. Reducción de emisiones de CO2 empleando tecnologías de descarbonización

Tecnología de descarbonización	Reducción Emisiones de CO2
Eficiencia energética (Krtati et al., 2017a)	25.00%
Energía renovable (Szymańska et al., 2023)	16.10%
Electrificación (Chavarry & Rodríguez, 2020)	49.07%
Modelación de la biomasa (Amoruso et al., 2019)	46.68%
Industrialización (González, 2022)	45.63%

El promedio de reducción de emisiones de CO2 empleando tecnologías de descarbonización es 36.50%

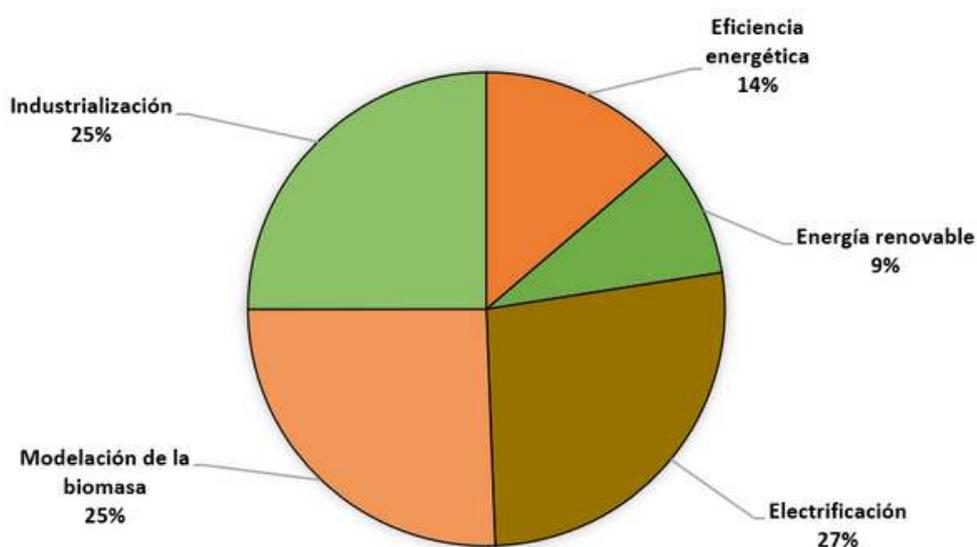


Figura 29. Porcentaje de reducción de emisiones de CO2 por tecnología de descarbonización

## Estado global 2020 para edificios y construcción

El informe sobre el estado mundial de los edificios y la construcción es un documento de referencia de la Alianza mundial para los edificios y la construcción, presenta un nuevo índice para rastrear el progreso en la descarbonización en el sector (AIE 2020d y AIE 2020b, 2020a). Para encaminar al sector de la construcción hacia el logro de cero emisiones netas de carbono para 2050, todos los actores de la cadena de valor de los edificios deben multiplicar por cinco las acciones de descarbonización y su impacto. A pesar de que el progreso en los esfuerzos de eficiencia no ha seguido el ritmo de un aumento en el crecimiento sectorial, hay señales positivas y oportunidades para ponerse al día en la acción climática.

Para encaminarse hacia un inventario de edificios con cero emisiones netas de carbono para 2050, la Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que las emisiones directas de CO<sub>2</sub> de los edificios deben reducirse en un 50.00% para 2030 y las emisiones indirectas del sector de la construcción en un 60.00%. Esto equivale a una caída de las emisiones del sector de la construcción de alrededor del 6.00% anual hasta 2030, cerca de la disminución del 7.00 % en las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético global de 2020 debido a la pandemia (AIE 2020d y AIE 2020b, 2020b).



Figura 30. Estado global 2020 para edificios y construcción – Emisiones (A nivel mundial)  
Fuentes: (AIE 2020d y AIE 2020b, 2020a).

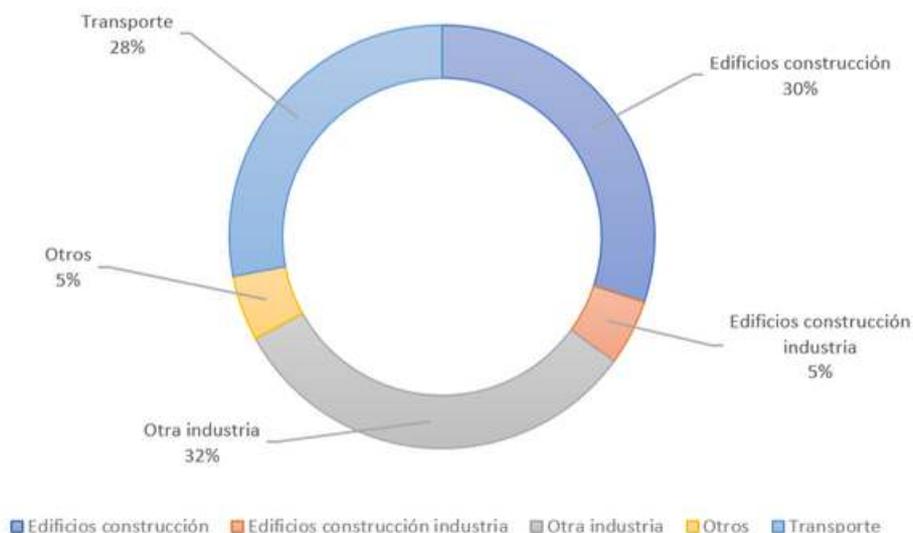


Figura 31. Estado global 2020 para edificios y construcción – Energía (A nivel mundial)  
Fuentes: (AIE 2020d y AIE 2020b, 2020a).

### Emisiones de CO2 en el Perú

Las emisiones de CO2 en Perú han crecido 8,557 megatoneladas, un 18,37% respecto a 2020. Las emisiones de CO2 en 2021 han sido de 55,144 megatoneladas de 13,798,151 a nivel internacional, con lo que Perú es el país número 129 del ranking de países por emisiones de CO2, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes (Muntean, 2021). Además de sus emisiones totales de CO2 a la atmósfera, que lógicamente dependen entre otras variables de la población del país, es conveniente analizar el comportamiento de sus emisiones por habitante. PIB, que mide, para un mismo país, la "eficiencia medioambiental" con la que se produce a lo largo del tiempo. En el último periodo, Perú, ha emitido 0,13 kilos por cada 1.000 \$ de PIB, igual que en 2020. Sin embargo, en los cinco últimos años las emisiones totales han disminuido en Perú, al igual que las emisiones per cápita, luego la situación está mejorando.

## Resumen de reducción de emisiones de CO2 y de energía

Porcentaje a nivel nacional e internacional de reducción de emisiones de CO2 y reducción de energía.

Tabla 42. Resumen del porcentaje de reducción de emisiones de CO2 y reducción de energía

Tecnología de des carbonización	A nivel internacional		A nivel nacional	
	Reducción energía	Reducción emisiones	Reducción energía	Reducción emisiones
Eficiencia energética	3.90%	3.64%	1.68%	1.46%
(Krarti et al., 2017a)				
Energía renovable	2.40%	2.24%	1.03%	0.90%
(Szymańska et al., 2023)				
Electrificación	7.50%	7.00%	3.23%	2.80%
(Chavarry & Rodriguez, 2020)				
Modelación de la biomasa	7.20%	6.72%	3.10%	2.69%
(Amoruso et al., 2019)				
Industrialización	9.00%	8.40%	3.87%	3.36%
(González, 2022)				
<b>Total:</b>	<b>30.00%</b>	<b>28.00%</b>	<b>12.90%</b>	<b>11.20%</b>

## Discusión

La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la eficiencia energética, según Dong et al., (2022), los cambios de carga a nivel doméstico en función de la estrategia de tiempo de uso, se consideran varios electrodomésticos flexibles, carga de vehículos eléctricos híbridos enchufables (EV) y energía fotovoltaica (PV) en la azotea, disminuyendo diariamente hasta el 19.00% después de la optimización y reducción del 12.00% de las emisiones de carbono domésticas también se logra a partir de la variación de la intensidad de carbono de la red y la energía fotovoltaica en la azotea.

Niamir et al. (2020), indican que se debe tener en cuenta la heterogeneidad del lado de la demanda de las posibles transiciones hacia una economía baja en carbono y la mitigación del cambio climático. El impacto de la heterogeneidad de los atributos de los hogares y la dinámica social trae consigo una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 5.00% a 9.00% para 2030. Agregar el precio del carbono reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> al 55.00% en comparación con el escenario de referencia, que imita la configuración económica tradicional de un hogar racional representativo y plenamente informado que toma la decisión óptima. Wohlschlager et al. (2022), examinan el consumo de energía durante la fase de operación, las cajas de pared de CA y CC son las que más contribuyen con el 77.00% (V2G) y el 57.00% (V1G) del impacto, respectivamente. Suponiendo la descarbonización continua del factor de emisión medio anual de electricidad, el impacto total de la infraestructura de carga privada puede reducirse hasta en un 56.00% (V2G) y un 67.00% (V1G) para 2040.

La tecnología de descarbonización desde el enfoque de energía renovable, según Rahman et al. (2022), el sector que más contribuye a las emisiones basadas en el consumo, representando entre el 27.00% y el 56.00%, la eficiencia energética contribuye en 11.00% al cumplimiento del objetivo de reducción de emisiones del 80.00% para el 2050 (en comparación con 1990). Aquí, las energías renovables (53.00%) y el cambio de combustible (36.00%). La eficiencia energética sin política climática y un escenario con un objetivo de reducción se espera obtener hasta el 80.00%. Mier & Weissbart (2020), indican que la contribución de las energías renovables intermitentes a la reducción de emisiones cae al 49.00% (en comparación con el 53.00% con una respuesta de la demanda a corto plazo). Esto se compensa con un mayor papel del cambio de combustible (49,00%). Así, al definir la contribución de la respuesta de la demanda a corto plazo a la descarbonización (bajo un objetivo de reducción) como el mayor papel de las energías renovables, contribuye al 4,00% de las reducciones de emisiones. Sin una respuesta de la demanda a corto plazo, la eficiencia energética juega un papel aún menor (2.00%), ya sea debido a las inversiones en eficiencia energética que son beneficiosas incluso sin un objetivo climático o debido a los efectos de sustitución con la energía del gas.

La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la electrificación, para Leibowicz (2018), el costo actual neto de descarbonizar los servicios de energía de los edificios residenciales en un 90.00% para 2050 es un aumento bastante moderado en relación con el punto de referencia sin política. Esto refleja en gran medida las fuertes reducciones de costos recientes y proyectadas para la generación de electricidad renovable. Haghi (2018), cuando el precio del carbono aumenta de \$18.00 a \$70.00 por tonelada de CO<sub>2</sub>, se logra una reducción insignificante de las emisiones en el sistema de electricidad y el aumento de los precios del carbono conduce a un aumento en el costo nivelado de la electricidad y el calor. Para los precios del carbono de \$100.00 por tonelada de CO<sub>2</sub> y más, un aumento en el precio del carbono conduce a una mayor participación de la energía nuclear en la generación de electricidad. Lechtenböhmer (2016) y Levesque et al. (2021), indican que la bioenergía son las principales opciones que se han evaluado hasta ahora para la descarbonización profunda de las industrias en energía.

En los cuatro subsectores clave (cemento, acero, productos químicos y pulpa y papel) que se evalúan con mayor detalle pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono en el rango de 70.00% a 90.00%. El cambio de combustible y materia prima representa solo alrededor del 10.00% de la reducción.

La tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación, para Levesque et al. (2021), el consumo de energía de los edificios es uno de los contribuyentes más importantes a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, responsable del 23.00% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Guo et al. (2022), manifiestan que para eliminar la enorme cantidad de CO<sub>2</sub>, se debe desarrollar una forma prácticamente factible de mitigación directa del carbono, en lugar de capturarlo de los gases de cola diluidos; como estaba previsto en el desarrollo de tecnologías innovadoras. Angrisano et al. (2021), mostraron que el uso de material de cáñamo, para el aislamiento térmico de las paredes, reduce significativamente el porcentaje de impactos ambientales en todo el ciclo de vida del material.

Esto se debe a que la planta ya elimina un porcentaje significativo de CO<sub>2</sub> de la atmósfera cuando está creciendo. Rabajczyk (2021) afirma que las actividades desarrolladas en el área de la energía, la rama de la economía que genera la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> antropogénico, responsable del 41.00% de las emisiones globales de este gas, son de gran importancia. Las herramientas desarrolladas, permiten calcular la cantidad de emisiones de dióxido de carbono, expresadas por indicadores de emisión, permiten evaluar las actividades realizadas tanto en términos ecológicos como económicos. Giordano et al. (2021), mencionan que una reducción de la vida útil del edificio también tiene un impacto en ciclo de vida que se supone que es de 25 años, porque aumenta de 8.78 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>×año a casi 17 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>×año. Un valor más alto de la etapa operativa, pero esto se debe a los materiales de biomasa (utilizados en particular para los dispositivos de sombreado de edificios) que absorben CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de las plantas y que permanecen almacenados en productos durante el ciclo de vida del edificio.

Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la industrialización, para Titirici et al. (2022), indican que la capacidad para producir y transformar materiales de ingeniería ha sido responsable de altos estándares de vida actuales, especialmente en las economías desarrolladas. Los efectos que la adicción a crear y usar materiales a este ritmo tan rápido tendrá en las generaciones futuras. La forma en que actualmente se fabrica y se usan los materiales afecta negativamente al planeta tierra, creando muchos problemas ambientales graves. Bachmann et al. (2022), afirman que el análisis de contenido cualitativo, los resultados se agruparon en un marco conceptual, incluidas las siguientes categorías: (1) usos de métodos basados en datos (p. ej., monitoreo, medición, mapeo o modelado, pronóstico, evaluación de riesgos y propósitos de planificación), (2) los efectos positivos resultantes, (3) los desafíos que surgen y (4) las

recomendaciones de acción para superar estos desafíos, a pesar de los efectos positivos y las aplicaciones versátiles. Konstantinou (2022), discute las definiciones y la aplicación de técnicas industrializadas en el diseño y construcción de la renovación, particularmente en lo que respecta a los conceptos de diseño y ofrece una perspectiva sobre aspectos esenciales para la futura implementación de la rehabilitación de envolventes de edificios industrializados. Wang (2019b), han experimentado una disminución notable en la intensidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 0.43 ton/mil yuanes a 0.20 ton/mil yuanes entre 1995 y 2013, lo que constituye una disminución anual promedio de 4.34%, a pesar de los factores que han obstaculizado la disminución de las intensidades de CO<sub>2</sub> son la industrialización en curso que exige el aumento de la producción de la industria pesada, de la inversión en infraestructura y del parque de viviendas.

# CAPÍTULO 6

## DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Finalmente, abordaremos los desafíos prácticos, económicos y regulatorios que acompañan a la implementación de estas tecnologías de descarbonización en edificaciones multifamiliares. A través de un análisis en profundidad, evaluaremos las oportunidades que surgen al superar estos obstáculos y cómo la colaboración entre gobiernos, industria y sociedad puede acelerar la adopción de soluciones sostenibles

La implementación de tecnologías de descarbonización en edificaciones multifamiliares presenta una serie de desafíos prácticos, económicos y regulatorios que deben abordarse para lograr una transición exitosa hacia una mayor eficiencia energética y una reducción de emisiones de carbono. Aquí tienes información detallada sobre estos desafíos:

### **Desafíos Prácticos:**

**Diseño y Adaptación:** La integración de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares a menudo requiere la adaptación de sistemas existentes o la incorporación de nuevas soluciones de construcción. Esto puede ser complicado debido a las limitaciones de espacio y a la necesidad de minimizar las molestias para los residentes durante el proceso de implementación.

La integración de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares se enfrenta a un conjunto de desafíos prácticos que requieren soluciones creativas y una planificación cuidadosa. Uno de los desafíos principales es la necesidad de adaptar los sistemas existentes o introducir nuevas soluciones de construcción para lograr la descarbonización efectiva. Sin embargo, este proceso no es sin obstáculos y conlleva una serie de consideraciones específicas debido a las características propias de los edificios multifamiliares.

### **Limitaciones de Espacio y Diseño:**

La mayoría de los edificios multifamiliares están limitados en términos de espacio físico disponible para la implementación de nuevas tecnologías. Esto significa que los equipos, como sistemas de calefacción o paneles solares, deben integrarse en un espacio reducido. Los diseños modulares y compactos son esenciales para aprovechar al máximo las áreas disponibles sin comprometer la funcionalidad y la eficiencia de los sistemas.

### **Minimización de Molestias para los Residentes:**

La implementación de tecnologías de descarbonización a menudo requiere intervenciones físicas en los espacios habitados. Esto puede causar molestias a los residentes, lo que puede llevar a una resistencia al proceso de transición. La planificación y la comunicación transparente son esenciales para minimizar las interrupciones, mantener la satisfacción de los ocupantes y lograr su cooperación en la implementación.

### **Selección de Tecnologías Adecuadas:**

La elección de las tecnologías de descarbonización adecuadas para un edificio multifamiliar puede ser un desafío, ya que se deben considerar factores como la demanda energética, la ubicación geográfica, el uso de los residentes y los recursos disponibles. Además, las tecnologías seleccionadas deben ser eficientes y rentables para justificar la inversión inicial y los beneficios a largo plazo.

### Integración con Sistemas Existentes:

En muchos casos, los edificios multifamiliares ya cuentan con sistemas preexistentes de climatización, electricidad y agua caliente. La integración de nuevas tecnologías de descarbonización con estos sistemas existentes puede requerir adaptaciones y ajustes técnicos para garantizar una operación armoniosa y eficiente.

### Coordinación y Planificación:

La implementación exitosa de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares requiere una coordinación meticulosa entre los equipos de diseño, construcción, operación y gestión del edificio. La planificación anticipada es esencial para minimizar los retrasos y los costos adicionales.

### Normativas y Regulaciones Locales:

Las normativas de construcción y las regulaciones locales pueden variar y afectar la viabilidad de ciertas tecnologías de descarbonización. La necesidad de obtener permisos y cumplir con requisitos específicos puede añadir complejidad al proceso de implementación.

### Innovación y Adaptación:

Dado que cada edificio multifamiliar tiene características únicas, a menudo es necesario encontrar soluciones personalizadas para adaptarse a las circunstancias particulares. La innovación en diseño, ingeniería y construcción es esencial para superar los desafíos y encontrar enfoques efectivos y eficientes.

**Interconexión de Sistemas:** La integración efectiva de sistemas de energía renovable, como paneles solares o sistemas geotérmicos, puede requerir una interconexión cuidadosa con sistemas preexistentes, como calefacción central o redes eléctricas. La compatibilidad y la sincronización adecuada de estos sistemas son desafíos a considerar.

La exitosa integración de sistemas de energía renovable, como paneles solares o sistemas geotérmicos, en edificios multifamiliares implica un enfoque holístico y una cuidadosa interconexión con los sistemas preexistentes, como calefacción central o redes eléctricas. Aunque estas tecnologías tienen el potencial de reducir drásticamente las emisiones de carbono y los costos operativos, su implementación con éxito requiere una serie de consideraciones clave y desafíos técnicos que deben ser abordados con precaución y expertise.

### Compatibilidad de Sistemas:

Uno de los desafíos principales es garantizar la compatibilidad entre los sistemas de energía renovable y los sistemas existentes. Los sistemas de calefacción, refrigeración y electricidad ya instalados en edificios multifamiliares pueden variar en términos de capacidades, eficiencia y funcionamiento. Es crucial asegurarse de que las tecnologías de descarbonización se integren de manera coherente y sin conflictos con estos sistemas, lo que puede requerir ajustes y modificaciones técnicas.

### Sincronización y Coordinación:

Lograr una sincronización adecuada entre los sistemas preexistentes y los sistemas de energía renovable es esencial para maximizar la eficiencia y los beneficios. Por ejemplo, en el caso de paneles solares, la producción de energía varía según la disponibilidad de luz solar. Coordinar esta producción con la demanda de energía en el edificio es un desafío para evitar excedentes o déficits energéticos.

### Gestión de Energía:

La interconexión entre sistemas requiere una gestión inteligente de la energía. En edificios multifamiliares, esto puede implicar la implementación de sistemas de gestión energética avanzados que monitoreen y controlen la producción y el consumo de energía en tiempo real. Estos sistemas automatizados pueden ajustar la distribución de energía según las necesidades cambiantes y las condiciones climáticas.

### Estabilidad de la Red Eléctrica:

La conexión de sistemas de energía renovable a la red eléctrica existente debe considerar la estabilidad de la red. Las fluctuaciones en la producción de energía renovable pueden tener impactos en la calidad y la estabilidad de la red eléctrica local. La adopción de tecnologías de almacenamiento de energía, como baterías, puede ayudar a mitigar estos desafíos y permitir una distribución más uniforme de la energía.

### Control de Carga:

En edificios multifamiliares con múltiples unidades residenciales, el control de carga es fundamental. La distribución equitativa de la energía producida por las tecnologías de descarbonización entre las diferentes unidades puede requerir soluciones específicas, como medidores inteligentes y sistemas de facturación diferenciada.

## Normativas y Regulaciones:

La interconexión de sistemas de energía renovable con sistemas existentes también puede estar sujeta a regulaciones y normativas específicas. Las normas técnicas y de seguridad deben cumplirse, y pueden ser necesarios permisos y autorizaciones para llevar a cabo la interconexión.

La interconexión de sistemas de energía renovable con sistemas existentes en edificaciones multifamiliares está sujeta a un conjunto de regulaciones y normativas específicas que deben ser consideradas. Estas regulaciones abarcan aspectos técnicos, de seguridad y legales que aseguran que la implementación de tecnologías de descarbonización se realice de manera segura, confiable y en cumplimiento con las leyes locales y nacionales. Estas consideraciones regulatorias y de cumplimiento son cruciales para garantizar que la transición hacia fuentes de energía más limpias sea llevada a cabo de manera efectiva.

## Normativas Técnicas y de Seguridad:

Las normativas técnicas y de seguridad son pautas establecidas para garantizar que las instalaciones eléctricas y sistemas de energía cumplan con estándares de diseño, operación y mantenimiento seguros y confiables. Estas normativas pueden abarcar aspectos como la capacidad de carga, el cableado, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, así como la ubicación segura de los equipos.

## Permisos y Autorizaciones:

En muchos lugares, la interconexión de sistemas de energía renovable con sistemas existentes requiere la obtención de permisos y autorizaciones específicas. Estos permisos pueden ser emitidos por autoridades locales, departamentos de construcción, entidades reguladoras de energía o agencias ambientales. La falta de permisos adecuados puede dar lugar a multas y a la interrupción de los proyectos.

## Compatibilidad con la Red Eléctrica:

En algunos casos, la interconexión con la red eléctrica existente está sujeta a regulaciones que aseguran que la generación de energía renovable no cause inestabilidad en la red. Estas regulaciones pueden abordar la sincronización, la calidad de la energía inyectada en la red y la seguridad de los operadores de la red.

### Certificaciones y Acreditaciones:

Los equipos y sistemas utilizados en la interconexión de sistemas de energía renovable con sistemas existentes pueden requerir certificaciones y acreditaciones específicas. Esto puede incluir sellos de eficiencia energética, certificaciones de seguridad y conformidad con estándares de la industria.

### Inspecciones y Evaluaciones:

En algunos casos, se pueden requerir inspecciones y evaluaciones por parte de autoridades competentes para asegurarse de que la interconexión cumple con las regulaciones y normativas aplicables. Estas inspecciones pueden abarcar aspectos eléctricos, estructurales y de seguridad.

### Impacto Ambiental:

En algunos lugares, la implementación de tecnologías de descarbonización puede estar sujeta a regulaciones ambientales que evalúan el impacto en términos de emisiones y sostenibilidad. Esto puede incluir la necesidad de estudios de impacto ambiental y la adhesión a objetivos de reducción de emisiones establecidos a nivel local o nacional.

### Contratación y Profesionales Acreditados:

Para cumplir con las regulaciones y normativas, es posible que se requiera la contratación de profesionales acreditados y con experiencia en tecnologías de energía renovable y sistemas de interconexión. Estos profesionales pueden garantizar que todas las medidas de cumplimiento sean abordadas de manera adecuada.

**Acceso y Mantenimiento:** En edificios multifamiliares, acceder a componentes como los sistemas de climatización, conductos y sistemas eléctricos puede ser más complicado que en edificios unifamiliares. El mantenimiento y las reparaciones de tecnologías de descarbonización deben planificarse considerando estas limitaciones.

En edificios multifamiliares, la gestión del mantenimiento y las reparaciones de tecnologías de descarbonización presenta desafíos particulares debido a la complejidad y la naturaleza compartida de estos entornos. Dado que estos edificios albergan a múltiples unidades residenciales y ocupantes, abordar las necesidades de mantenimiento y reparación de las tecnologías de descarbonización requiere una planificación cuidadosa, soluciones ingeniosas y una coordinación eficiente. Esto se vuelve aún más crucial debido a las limitaciones en el acceso a componentes clave como sistemas de climatización, conductos y sistemas eléctricos.

### Acceso Limitado y Espacios Compartidos:

En edificios multifamiliares, los sistemas y componentes suelen estar ubicados en espacios compartidos o en lugares de difícil acceso, como áreas comunes, sótanos o azoteas. Esto hace que el acceso para mantenimiento y reparaciones sea más complejo en comparación con edificios unifamiliares, donde los propietarios pueden tener un acceso más directo a sus sistemas.

### Coordinación con Ocupantes:

El mantenimiento y las reparaciones en edificios multifamiliares pueden requerir coordinación con los residentes. Asegurarse de que los ocupantes estén informados sobre las fechas y horarios de las intervenciones, y minimizar las molestias para ellos, es esencial para mantener una buena relación con los inquilinos y garantizar la cooperación durante el proceso.

### Planificación Preventiva:

Dado que el acceso a sistemas puede ser complicado, la planificación preventiva se vuelve aún más crucial. Establecer un calendario regular de mantenimiento preventivo puede ayudar a identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en problemas mayores, lo que a su vez puede minimizar el impacto en los residentes y reducir los costos de reparación a largo plazo.

### Tecnologías de Monitoreo y Diagnóstico Remoto:

La implementación de tecnologías de monitoreo remoto puede ser beneficiosa en edificios multifamiliares. Sensores y sistemas de diagnóstico remoto pueden proporcionar información en tiempo real sobre el estado de los equipos, lo que facilita la detección temprana de problemas y permite una respuesta más rápida y eficiente.

### Equipo Especializado y Profesionales Capacitados:

Dado que el acceso y la reparación de sistemas complejos pueden requerir habilidades y conocimientos técnicos específicos, es fundamental contar con profesionales capacitados en tecnologías de descarbonización. Equipos especializados pueden realizar trabajos de mantenimiento y reparación de manera precisa y eficiente, minimizando los riesgos de daños adicionales.

## Documentación y Historial de Mantenimiento:

Mantener registros detallados de mantenimiento y reparaciones anteriores puede ser invaluable. Esto permite un seguimiento de la historia del equipo y ayuda a predecir y prevenir problemas futuros. Además, facilita la transferencia de información si hay cambios de propiedad o administración.

## Desafíos Económicos:

**Costo Inicial:** La inversión inicial en tecnologías de descarbonización, como paneles solares, sistemas geotérmicos o equipos de alta eficiencia, puede ser significativamente mayor en comparación con soluciones convencionales. Esto puede dificultar la adopción, especialmente en edificios multifamiliares con presupuestos ajustados.

La inversión inicial en tecnologías de descarbonización representa uno de los desafíos más notables que enfrentan los edificios multifamiliares en su camino hacia la sostenibilidad energética y la reducción de emisiones. Estas tecnologías, como paneles solares, sistemas geotérmicos y equipos de alta eficiencia, tienen un alto potencial para generar beneficios a largo plazo, pero la barrera financiera inicial puede dificultar su adopción, especialmente en entornos con presupuestos ajustados.

## Costo Percepción vs. Beneficios a Largo Plazo:

El obstáculo financiero principal radica en la percepción de costos. Aunque las tecnologías de descarbonización pueden ofrecer ahorros significativos en costos operativos y energéticos a lo largo de la vida útil del edificio, los propietarios y desarrolladores a menudo se centran en los costos iniciales y pueden subestimar los beneficios a largo plazo.

## Presupuestos Restringidos:

En edificios multifamiliares con presupuestos ajustados, destinar una cantidad considerable de recursos a la inversión inicial en tecnologías de descarbonización puede resultar desafiante. Especialmente en comparación con soluciones convencionales, que a menudo tienen un costo de adquisición más bajo, la inversión en tecnologías sostenibles puede requerir una reasignación significativa de fondos.

## Necesidad de Financiamiento Creativo:

Para superar el obstáculo de la inversión inicial, los propietarios y desarrolladores deben explorar opciones de financiamiento creativo. Esto podría incluir la búsqueda de subvenciones, incentivos gubernamentales, programas de financiamiento asequible o acuerdos de financiamiento a largo plazo que se basen en los ahorros generados por las tecnologías de descarbonización.

## Cálculo de Retorno de Inversión (ROI) a Largo Plazo:

Es fundamental comprender y comunicar el retorno de inversión a largo plazo de las tecnologías de descarbonización. Si bien la inversión inicial puede ser mayor, es crucial mostrar cómo los ahorros en costos operativos, mantenimiento y energía a lo largo del tiempo superan esos costos iniciales, generando beneficios netos significativos a lo largo de la vida útil del edificio.

## Evaluación de Beneficios No Financieros:

Además de los beneficios financieros, también es importante considerar los beneficios no financieros de las tecnologías de descarbonización. Estos incluyen la mejora de la reputación ambiental, la creación de un ambiente más saludable para los ocupantes y la contribución a los objetivos de sostenibilidad global.

## Colaboración entre Stakeholders:

La colaboración entre propietarios, desarrolladores, inquilinos y autoridades locales puede ser esencial para superar los desafíos financieros. La sensibilización y educación sobre los beneficios a largo plazo de la descarbonización pueden generar un mayor compromiso y disposición para invertir en tecnologías sostenibles.

## Evolución del Mercado y Innovación:

A medida que las tecnologías de descarbonización avanzan y se vuelven más comunes, es probable que los costos iniciales disminuyan debido a economías de escala y avances tecnológicos. La evolución del mercado y la innovación en soluciones asequibles podrían facilitar la adopción en el futuro.

**Retorno de Inversión:** Aunque las tecnologías de descarbonización pueden generar ahorros de energía a largo plazo, el período de retorno de inversión a menudo es más largo, lo que puede desalentar a los propietarios y desarrolladores que buscan beneficios financieros más inmediatos.

Aunque las tecnologías de descarbonización tienen el potencial de generar ahorros significativos de energía y costos a lo largo del tiempo, es importante reconocer que el período de retorno de inversión (ROI) suele ser más prolongado en comparación con las soluciones convencionales. Esta realidad puede plantear desafíos para la adopción generalizada, especialmente entre propietarios y desarrolladores que buscan beneficios financieros más inmediatos y que pueden ser desalentados por el compromiso a largo plazo requerido.

## Consideración Integral de Costos y Beneficios:

Para abordar la percepción del ROI prolongado, es fundamental adoptar una perspectiva integral de los costos y beneficios asociados con las tecnologías de descarbonización. Aunque el ROI puede demorar más tiempo en materializarse, es esencial resaltar que los ahorros acumulados en costos operativos, mantenimiento y energía a lo largo de la vida útil del edificio superan con creces la inversión inicial.

## Educación sobre Beneficios a Largo Plazo:

La educación y la sensibilización son esenciales para comunicar los beneficios a largo plazo de las tecnologías de descarbonización. Los propietarios y desarrolladores deben comprender que si bien la inversión inicial puede ser más alta, los ahorros sostenibles y la reducción de costos a lo largo del tiempo resultan en un rendimiento financiero sólido en el futuro.

## Evaluación de Riesgos y Oportunidades:

Una evaluación completa de los riesgos y oportunidades debe incluir tanto los aspectos financieros a corto plazo como los beneficios a largo plazo. Además de los ahorros de energía, las tecnologías de descarbonización también pueden aumentar el valor del edificio, mejorar su atractivo para los inquilinos conscientes del medio ambiente y contribuir a los objetivos de sostenibilidad.

## Incentivos y Subvenciones:

Los incentivos financieros, subvenciones gubernamentales y programas de financiamiento asequible pueden ayudar a reducir el período de ROI y hacer que la inversión inicial sea más atractiva. Estas iniciativas pueden acelerar el tiempo necesario para recuperar la inversión y mejorar la viabilidad financiera de la implementación de tecnologías de descarbonización.

## Modelos de Financiamiento Innovadores:

La adopción de modelos de financiamiento innovadores, como acuerdos de compra de energía (PPA) o contratos de rendimiento energético (EPC), puede ayudar a transferir parte de la carga financiera inicial a terceros, lo que puede acortar el período de ROI para los propietarios.

## Planificación a Largo Plazo:

Los propietarios y desarrolladores deben considerar la inversión en tecnologías de descarbonización como parte de una estrategia a largo plazo. La planificación cuidadosa y la alineación con objetivos a largo plazo pueden ayudar a justificar la inversión inicial y a crear un camino hacia la sostenibilidad financiera y medioambiental.

### Monitoreo y Evaluación Constantes:

El seguimiento constante de los ahorros y el rendimiento de las tecnologías de descarbonización puede proporcionar datos tangibles para respaldar la toma de decisiones. El monitoreo ayuda a demostrar la evolución del ROI a lo largo del tiempo y puede ser un recurso valioso para respaldar la adopción y el compromiso continuo.

**División de Costos:** En edificios multifamiliares, la cuestión de cómo distribuir los costos de inversión y los ahorros resultantes entre los propietarios y los inquilinos puede ser complicada. Establecer un modelo justo y equitativo puede ser un desafío.

En el contexto de edificios multifamiliares, surge una dinámica única en relación con la distribución de los costos de inversión y los ahorros resultantes de las tecnologías de descarbonización. Esta dinámica puede ser especialmente compleja debido a la coexistencia de propietarios y inquilinos en el mismo edificio. Establecer un modelo justo y equitativo para compartir los beneficios y las responsabilidades financieras puede representar un desafío importante en la transición hacia un entorno de energía más sostenible.

### Desafíos en la Distribución Equitativa:

La asignación equitativa de los costos iniciales de inversión y los ahorros a lo largo del tiempo es un asunto de equidad. Los propietarios pueden argumentar que asumir costos mayores al principio debería traducirse en mayores beneficios a largo plazo, mientras que los inquilinos pueden preocuparse por aumentos en los alquileres o cuotas de mantenimiento.

### Modelos de Distribución Financiera:

Dentro de esta dinámica, los edificios multifamiliares pueden explorar modelos de distribución financiera que aborden estas preocupaciones. Algunos enfoques pueden incluir la creación de fondos compartidos para inversión en tecnologías de descarbonización, donde propietarios e inquilinos contribuyen proporcionalmente, o acuerdos que vinculan los ahorros directamente a los gastos de los inquilinos.

### Beneficios Indirectos para los Inquilinos:

Es importante comunicar cómo los inquilinos también se benefician de las tecnologías de descarbonización a pesar de no ser propietarios. Estos beneficios pueden incluir costos operativos más bajos, una mayor calidad de vida debido a sistemas más eficientes y una menor huella ambiental.

### Incentivos y Compromiso Compartido:

Fomentar la adopción de tecnologías de descarbonización puede implicar incentivos para ambos grupos. Los propietarios pueden recibir deducciones fiscales o incentivos económicos por invertir en mejoras sostenibles, mientras que los inquilinos pueden beneficiarse de tarifas de servicios públicos más bajas debido a la eficiencia energética.

### Educación y Transparencia:

Una comunicación transparente sobre los objetivos, los costos y los beneficios puede generar confianza entre propietarios e inquilinos. La educación sobre los aspectos financieros y ambientales de las tecnologías de descarbonización puede ayudar a alinear a ambas partes en la búsqueda de un entorno más sostenible.

### Contratos y Arrendamientos Claros:

La inclusión de cláusulas claras en los contratos y arrendamientos puede especificar cómo se manejarán los costos y beneficios relacionados con las tecnologías de descarbonización. Esto proporciona una base sólida para la comprensión y el cumplimiento de las responsabilidades financieras.

### Innovación en Modelos de Negocio:

La adopción de tecnologías de descarbonización también puede dar lugar a la innovación en modelos de negocio. La posibilidad de ofrecer alquileres "verdes" con tecnologías de energía renovable incorporadas puede atraer a inquilinos conscientes del medio ambiente.

### **Desafíos Regulatorios:**

**Normativas Locales:** Las regulaciones y códigos de construcción varían en cada jurisdicción y pueden tener requisitos específicos para la implementación de tecnologías de descarbonización. La falta de claridad o la falta de incentivos regulatorios pueden ser obstáculos para la adopción.

### Variedad de Regulaciones y Códigos de Construcción:

Cada jurisdicción, ya sea a nivel local, estatal o nacional, puede tener su propio conjunto de regulaciones y códigos de construcción que rigen los estándares y requisitos para edificaciones. Estas regulaciones pueden variar significativamente en términos de normativas técnicas, eficiencia energética, seguridad y prácticas de construcción sostenible.

### Requisitos Específicos para la Descarbonización:

Algunas jurisdicciones pueden incluir requisitos específicos relacionados con la implementación de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares. Esto podría abarcar desde la instalación obligatoria de sistemas de energía renovable hasta la inclusión de sistemas de gestión energética avanzados para monitorear y controlar el consumo.

### Falta de Claridad y Coherencia:

La falta de claridad en las regulaciones puede ser un obstáculo para la adopción de tecnologías de descarbonización. Los propietarios y desarrolladores pueden enfrentar incertidumbre en cuanto a qué tecnologías son requeridas, cuándo deben ser implementadas y cómo deben cumplir con los estándares. La inconsistencia entre jurisdicciones también puede dificultar la planificación y ejecución de proyectos.

### Incentivos Regulatorios:

La falta de incentivos regulatorios sólidos puede limitar la motivación para invertir en tecnologías de descarbonización. Cuando no existen recompensas o beneficios claros para la adopción de tecnologías sostenibles, los propietarios y desarrolladores pueden ser menos propensos a asumir costos adicionales o adoptar prácticas más sostenibles.

### Exploración de Incentivos Financieros:

Algunas jurisdicciones pueden ofrecer incentivos financieros, como créditos fiscales, subsidios o descuentos en impuestos, para fomentar la adopción de tecnologías de descarbonización. Estos incentivos pueden reducir la carga financiera inicial y hacer que las inversiones sean más atractivas.

### Diálogo entre Autoridades y la Industria:

La colaboración y el diálogo entre las autoridades reguladoras y la industria de la construcción son fundamentales para abordar los obstáculos regulatorios. La comprensión mutua de las necesidades y desafíos puede llevar a regulaciones más efectivas y realistas que faciliten la adopción de tecnologías sostenibles.

### Actualización de Códigos y Normativas:

A medida que avanza la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad, es probable que los códigos y regulaciones de construcción evolucionen para incluir requisitos más rigurosos en relación con la descarbonización. Mantenerse informado sobre las actualizaciones y cambios en las regulaciones es crucial para tomar decisiones informadas.

## Advocacy y Participación:

La participación en discusiones públicas, grupos de trabajo y asociaciones de la industria puede permitir a los actores involucrados en la construcción influir en la formulación de regulaciones más favorables para la adopción de tecnologías de descarbonización.

## Normativas en Latinoamérica

Las normativas relacionadas con la descarbonización y la eficiencia energética en edificios varían en América Latina según el país y la región específicos. Sin embargo, de forma general algunos enfoques y regulaciones que pueden encontrarse en varios países de la región son:

**Certificaciones de Eficiencia Energética:** Algunos países latinoamericanos han implementado programas de certificación de eficiencia energética para edificios. Por ejemplo, en Chile existe el Sistema de Certificación Energética de Edificios (SCE), que evalúa el desempeño energético de los edificios y les asigna una calificación. En México, el Programa de Etiquetado de Edificios busca promover la adopción de tecnologías más eficientes.

**Incentivos y Subvenciones:** Algunos países ofrecen incentivos financieros para la implementación de tecnologías de descarbonización. Esto puede incluir créditos fiscales, subsidios, préstamos con tasas de interés preferenciales y programas de financiamiento específicos para la adopción de energías renovables y eficiencia energética.

**Regulaciones de Energías Renovables:** Algunos países tienen normativas que promueven el uso de energías renovables en edificios. Estas regulaciones pueden requerir la incorporación de paneles solares en nuevas construcciones o establecer cuotas de energía renovable para ciertos tipos de edificios.

**Normativas de Etiquetado Energético:** Algunos países han implementado sistemas de etiquetado energético para edificios, similar a la etiqueta de eficiencia de electrodomésticos. Estas etiquetas proporcionan información sobre el consumo de energía del edificio y pueden influir en las decisiones de compra o alquiler.

**Códigos de Construcción Sostenible:** Algunos países han adoptado códigos de construcción sostenible que incluyen requisitos específicos para la eficiencia energética y la incorporación de tecnologías de descarbonización en edificios. Estos códigos pueden aplicarse tanto a edificaciones nuevas como a renovaciones.

**Programas de Energías Renovables:** Algunos países tienen programas específicos para fomentar la adopción de energías renovables en edificios, como la instalación de sistemas fotovoltaicos o térmicos solares. Estos programas pueden incluir incentivos económicos o facilidades administrativas para la conexión a la red eléctrica.

Es importante señalar que las regulaciones y normativas pueden variar significativamente en cada país y pueden estar sujetas a cambios a lo largo del tiempo. Para obtener información precisa y actualizada sobre las normativas específicas en un país latinoamericano en particular, te recomiendo consultar los sitios web de los organismos gubernamentales relevantes, como los ministerios de energía o medio ambiente, así como las agencias de eficiencia energética y sostenibilidad.

**Permisos y Licencias:** La instalación de ciertas tecnologías, como paneles solares, puede requerir permisos y licencias específicos. Los procesos burocráticos pueden ralentizar la implementación y aumentar los costos.

**Permisos y Licencias Específicas:**

La instalación de tecnologías de descarbonización, como paneles solares, a menudo requiere obtener permisos y licencias específicas de las autoridades locales, municipales o nacionales. Estos permisos son necesarios para asegurarse de que la instalación cumpla con los códigos de construcción, normativas de seguridad y regulaciones ambientales establecidas.

**Tipos de Permisos:**

Los tipos de permisos y licencias necesarios pueden variar según la jurisdicción y la magnitud de la instalación. Pueden incluir permisos de construcción, permisos eléctricos, permisos de uso de suelo y otros permisos específicos relacionados con tecnologías renovables.

**Desafíos Burocráticos:**

El proceso de obtención de permisos puede ser burocrático y demorado. La necesidad de presentar documentación detallada, realizar inspecciones y cumplir con los requisitos puede extender el tiempo necesario para llevar a cabo la instalación. Esto puede retrasar la implementación y aumentar los costos.

**Costos y Tasas:**

La obtención de permisos y licencias puede implicar el pago de tasas y costos administrativos. Estos costos adicionales deben considerarse en el presupuesto de inversión de las tecnologías de descarbonización y pueden afectar la viabilidad financiera del proyecto.

**Incertidumbre en los Plazos:**

La incertidumbre en cuanto a los plazos de obtención de permisos puede dificultar la planificación y la ejecución de proyectos. Los retrasos imprevistos pueden afectar los cronogramas de implementación y generar frustración entre los propietarios y desarrolladores.

### Asesoramiento Profesional:

Dado que los procesos de obtención de permisos pueden ser complejos, es recomendable contar con el asesoramiento de profesionales con experiencia en regulaciones locales. Consultores, arquitectos o ingenieros especializados pueden ayudar a navegar por los requisitos y garantizar el cumplimiento normativo.

### Cambios Legislativos y Normativos:

Es importante estar al tanto de los cambios legislativos y normativos en relación con la instalación de tecnologías de descarbonización. Las regulaciones pueden evolucionar con el tiempo y afectar los requisitos y procesos de obtención de permisos.

### Colaboración con Autoridades Locales:

Establecer una comunicación abierta y colaborativa con las autoridades locales puede facilitar el proceso de obtención de permisos. Aclarar dudas y asegurarse de cumplir con los requisitos desde el inicio puede agilizar el proceso.

### Incentivos para Simplificar Trámites:

Algunas jurisdicciones están implementando programas y procesos simplificados para la obtención de permisos relacionados con energías renovables. Estos programas buscan fomentar la adopción de tecnologías sostenibles reduciendo la carga burocrática.

**Falta de Conciencia:** Tanto entre propietarios como inquilinos, puede haber una falta de conciencia sobre los beneficios y la importancia de las tecnologías de descarbonización. La educación y la sensibilización son esenciales para superar esta barrera.

La falta de conciencia es un desafío significativo en el contexto de la adopción de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares. Este desafío se refiere a la falta de comprensión, conocimiento y conciencia por parte de propietarios, desarrolladores, inquilinos y otras partes involucradas sobre la importancia y los beneficios de la descarbonización y la eficiencia energética en la construcción.

### Causas de la Falta de Conciencia:

**Falta de Información Educativa:** La falta de información clara y accesible sobre las tecnologías de descarbonización y su impacto en la reducción de emisiones y el ahorro de energía puede contribuir a la falta de conciencia.

**Desconocimiento de Beneficios:** Si las personas no comprenden cómo las tecnologías de descarbonización pueden beneficiar tanto a nivel económico como ambiental, es menos probable que sientan la motivación para invertir en ellas.

**Preocupaciones Inmediatas:** Las personas a menudo están más preocupadas por los aspectos inmediatos de su vida, como los costos inmediatos de inversión y mantenimiento, y pueden pasar por alto los beneficios a largo plazo de la descarbonización.

**Falta de Experiencia:** Si las personas no han tenido experiencias previas con tecnologías sostenibles, es posible que no comprendan cómo funcionan y cómo podrían aplicarse en su contexto.

**Impactos de la Falta de Conciencia:**

**Resistencia al Cambio:** La falta de conciencia puede generar resistencia al cambio, ya que las personas pueden no estar dispuestas a adoptar tecnologías desconocidas o cambiar sus prácticas habituales.

**Falta de Compromiso:** Sin una comprensión adecuada de los beneficios, es menos probable que los propietarios e inquilinos se comprometan con la inversión en tecnologías de descarbonización.

**Oportunidades Perdidas:** La falta de conciencia puede llevar a oportunidades perdidas para reducir costos operativos, mejorar la calidad de vida y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

**Superando la Falta de Conciencia:**

**Educación y Sensibilización:** La educación es clave para superar la falta de conciencia. Campañas educativas y materiales informativos pueden ayudar a las personas a comprender los beneficios de la descarbonización.

**Ejemplos de Éxito:** Compartir ejemplos de edificios que han implementado con éxito tecnologías de descarbonización y han experimentado ahorros significativos puede inspirar a otros a seguir su ejemplo.

**Comunicación Efectiva:** Proporcionar información clara y fácil de entender sobre cómo funcionan las tecnologías de descarbonización y cómo pueden beneficiar a los propietarios, inquilinos y al medio ambiente.

**Demonstraciones Prácticas:** Realizar demostraciones prácticas y visitas a edificios con tecnologías de descarbonización puede permitir a las personas ver y experimentar de primera mano sus ventajas.

**Incentivos Financieros:** Los incentivos financieros, como subsidios o créditos fiscales, pueden aumentar la conciencia al reducir los costos iniciales y hacer que las tecnologías de descarbonización sean más atractivas.

**Promoción de Beneficios Individuales:** Destacar cómo las tecnologías de descarbonización pueden impactar positivamente en la vida cotidiana de los propietarios e inquilinos, como la reducción de facturas de energía y un ambiente interior más confortable.

**Incentivos y Apoyos Gubernamentales:** La disponibilidad y la consistencia de incentivos, subvenciones y programas gubernamentales para la implementación de tecnologías de descarbonización pueden variar según la ubicación. La falta de apoyo financiero puede ser un obstáculo para la adopción.

Los incentivos y apoyos gubernamentales desempeñan un papel fundamental en la promoción de la adopción de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares y en la aceleración de la transición hacia una economía baja en carbono. Estas iniciativas gubernamentales buscan reducir las barreras económicas y mejorar la viabilidad financiera de la implementación de tecnologías sostenibles. Aquí tienes más detalles al respecto:

**Tipos de Incentivos y Apoyos:**

**Subsidios y Subvenciones:** Los gobiernos pueden ofrecer subsidios y subvenciones directas para ayudar a cubrir los costos iniciales de inversión en tecnologías de descarbonización, como la instalación de paneles solares o sistemas de energía geotérmica.

**Créditos Fiscales:** Los créditos fiscales permiten a los propietarios deducir una parte de los gastos de inversión en tecnologías de descarbonización de sus impuestos, reduciendo así la carga financiera.

**Programas de Financiamiento Asequible:** Los programas de financiamiento con tasas de interés preferenciales o plazos extendidos pueden hacer que la inversión en tecnologías de descarbonización sea más asequible a largo plazo.

**Compras Públicas Sostenibles:** Los gobiernos pueden liderar el camino al implementar tecnologías de descarbonización en sus propias instalaciones y edificios, lo que demuestra su compromiso y puede influir en el sector privado.

**Incentivos para la Eficiencia Energética:** Los incentivos pueden estar dirigidos a la mejora de la eficiencia energética en edificios, lo que puede incluir la implementación de sistemas de gestión energética y la modernización de equipos.

**Programas de Certificación y Etiquetado:** Algunos gobiernos establecen programas de certificación y etiquetado que otorgan beneficios a los edificios que cumplen con ciertos estándares de sostenibilidad y eficiencia energética.

**Beneficios de los Incentivos y Apoyos Gubernamentales:**

**Reducción de Barreras Económicas:** Los incentivos y apoyos gubernamentales reducen los costos iniciales de inversión, lo que hace que la adopción de tecnologías de descarbonización sea más accesible y atractiva.

**Aceleración de la Adopción:** Los incentivos financian el avance de las tecnologías de descarbonización al estimular la demanda y acelerar la adopción en la industria de la construcción.

**Contribución a los Objetivos Climáticos:** Los gobiernos pueden utilizar incentivos para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones al impulsar prácticas más sostenibles en el sector de la construcción.

**Estímulo Económico:** Los programas de incentivos pueden estimular la economía al crear empleos en la industria de la construcción y el sector de energías renovables.

**Desafíos y Consideraciones:**

**Sostenibilidad Financiera:** Los incentivos deben ser diseñados de manera sostenible para asegurar que no haya una dependencia continua de subsidios y que se puedan mantener a lo largo del tiempo.

**Equidad y Acceso:** Los programas de incentivos deben ser diseñados de manera equitativa para garantizar que una amplia gama de propietarios e inquilinos puedan beneficiarse, incluidos aquellos con menos recursos.

**Cambio de Comportamiento:** Aunque los incentivos financian la inversión, también es importante cambiar el comportamiento a largo plazo, promoviendo una cultura de sostenibilidad.

**Coordinación con Otros Esfuerzos:** Los programas de incentivos deben coordinarse con otros esfuerzos gubernamentales, como regulaciones de construcción sostenible y objetivos de energías renovables.

## **Evaluación de Oportunidades en la Superación de Obstáculos:**

La transición hacia una economía sostenible y baja en carbono requiere enfrentar diversos obstáculos que pueden dificultar la adopción de soluciones tecnológicas de descarbonización en edificios multifamiliares. Estos obstáculos van desde desafíos técnicos y económicos hasta problemas de conciencia y regulaciones. Sin embargo, la superación de estos obstáculos también abre un amplio abanico de oportunidades que pueden transformar la manera en que vivimos, construimos y consumimos energía. A través de un análisis en profundidad, podemos identificar estas oportunidades y trazar un camino hacia una sociedad más sostenible y resiliente.

### **Oportunidades en la Superación de Obstáculos:**

**Innovación Tecnológica:** Superar los obstáculos técnicos de la adopción de tecnologías de descarbonización conlleva una mayor inversión en investigación y desarrollo. Esto fomenta la innovación tecnológica, lo que puede llevar a la creación de soluciones más eficientes, asequibles y adaptables a las necesidades específicas de los edificios multifamiliares.

**Generación de Empleo:** La implementación de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares crea oportunidades de empleo en áreas como la instalación, el mantenimiento y la gestión de sistemas energéticos. Esto contribuye a la creación de empleos locales y al crecimiento económico.

**Reducción de Costos a Largo Plazo:** A pesar de los costos iniciales, la inversión en tecnologías de descarbonización puede conducir a ahorros significativos a largo plazo. La adopción de sistemas eficientes reduce los gastos operativos en calefacción, refrigeración y electricidad, lo que beneficia tanto a propietarios como a inquilinos.

**Mejora en la Calidad de Vida:** La incorporación de tecnologías de descarbonización, como sistemas de climatización eficientes y sistemas de iluminación avanzados, mejora la calidad de vida de los residentes al proporcionar ambientes interiores más cómodos y saludables.

**Reducción de Emisiones:** Superar los obstáculos hacia la descarbonización tiene un impacto directo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto contribuye a los objetivos nacionales e internacionales de mitigación del cambio climático.

**Promoción de una Cultura Sostenible:** La superación de obstáculos implica educar y sensibilizar a la sociedad sobre la importancia de la sostenibilidad. Esto puede llevar a un cambio cultural en la forma en que las personas piensan y actúan en relación con el consumo de energía y los hábitos de construcción.

## Colaboración entre Gobiernos, Industria y Sociedad:

La colaboración entre gobiernos, industria y sociedad es esencial para acelerar la adopción de soluciones sostenibles en edificios multifamiliares:

**Gobiernos:** Los gobiernos desempeñan un papel crucial al establecer regulaciones sólidas y proporcionar incentivos financieros para fomentar la adopción de tecnologías de descarbonización. Además, pueden liderar mediante la implementación de prácticas sostenibles en edificios gubernamentales, demostrando su compromiso.

**Industria:** La industria de la construcción, incluyendo fabricantes, desarrolladores y proveedores de servicios, tiene la capacidad de innovar y ofrecer soluciones tecnológicas avanzadas. La colaboración entre empresas y la promoción de estándares de sostenibilidad pueden impulsar el cambio.

**Sociedad:** La conciencia pública y la demanda de prácticas sostenibles pueden influir en la toma de decisiones. La sociedad puede participar presionando por políticas sostenibles y eligiendo vivir en edificios con tecnologías de descarbonización.

## Beneficios de la Colaboración:

La colaboración entre estos actores no solo supera los obstáculos, sino que también aprovecha las oportunidades. Esto puede llevar a una mayor inversión en tecnologías sostenibles, una reducción en la huella de carbono de los edificios, la mejora de la calidad de vida de los residentes y la creación de una infraestructura más resiliente.

Es importante resaltar que, a través de un análisis profundo y la colaboración efectiva entre gobiernos, industria y sociedad, podemos superar los obstáculos que enfrenta la adopción de soluciones sostenibles en edificios multifamiliares y aprovechar las oportunidades para construir un futuro más sostenible y resiliente.

## Conclusiones de esta investigación

1. Las Tecnologías de descarbonización utilizadas en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana es de 30.41%. Alcanzó altos índices de consistencia interna excelente (Coeficiente alfa = 0.972) basada en elementos estandarizados. La correlación promedio de las 26 preguntas fue 0.745, lo que refleja la existencia de una correlación positiva considerable entre ellas. Se utilizó Shapiro-Wilk como prueba de normalidad, porque  $n \leq 50$ , obteniendo como resultado un valor de significancia  $p \leq 0.05$ , lo cual indica que proviene de una población que no sigue una distribución normal. El estudio determinó que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> empleando tecnologías de descarbonización en las edificaciones es del 39.12%, siendo una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional del 11.20% y una reducción de energía del 12.90%.

2.Las Tecnologías de descarbonización utilizadas hasta frecuentemente en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana desde el enfoque de la eficiencia energética, como se muestra en la figura 11 es el 38.00% (Muy frecuentemente 6% y frecuentemente 32.00%). El estudio determinó que la reducción de emisiones de CO2 es del 25.00%, siendo una reducción de emisiones de CO2 a nivel nacional el 1.46% y una reducción de energía del 1.68% .

3.Las Tecnologías de descarbonización utilizadas hasta frecuentemente en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana desde el enfoque de la electrificación, como se muestra en la figura 12 es el 30.00% (Muy frecuentemente 5.00% y frecuentemente 25.00%). El estudio determinó que 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%.

4.Las Tecnologías de descarbonización utilizadas hasta frecuentemente en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana desde el enfoque de energía renovable, como se muestra en la figura 13 es el 34.00% (Muy frecuentemente 6.00% y frecuentemente 28.00%). El estudio determinó que la reducción de emisiones de CO2, es del 16.10% (tabla 35), siendo una reducción de emisiones de CO2 a nivel nacional el 0.90% y una reducción de energía del 1.03% .

5.Las Tecnologías de descarbonización utilizadas hasta frecuentemente en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación, como se muestra en la tabla 14 es el 25.00% (Muy frecuentemente 4.00% y frecuentemente 21.00%). El estudio determinó que 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% .

6.Las Tecnologías de descarbonización utilizadas hasta frecuentemente en el Programa Fondo Mivivienda en Lima Metropolitana desde el enfoque de la industrialización, como se muestra en la figura 15 es el 25.00% (Muy frecuentemente 3.00% y frecuentemente 22.00%). El estudio determinó que la reducción de emisiones de CO2 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%.

#### Recomendaciones para los lectores

1. Realizar cambios de carga a nivel doméstico en función de la estrategia de tiempo de uso, se consideran varios electrodomésticos flexibles, carga de vehículos eléctricos híbridos enchufables y energía fotovoltaica. Tener en cuenta la heterogeneidad del lado de la demanda para una mejor comprensión de las posibles transiciones hacia una economía baja en carbono y la mitigación del cambio climático. Comparar la infraestructura de carga inteligente bidireccional y unidireccional con la carga directa a nivel doméstico.

2. Considerar los sectores energéticos con mayores potenciales de eficiencia energética en el lado de la demanda (p. ej., calefacción). Además, la eficiencia energética con la contribución de las energías renovables intermitentes a la reducción de emisiones para compensar con un mayor papel del cambio de combustible. Invertir en eficiencia energética beneficiosas incluso sin un objetivo climático o debido a los efectos de sustitución con la energía del gas.

3. Mejorar la eficiencia térmica de los edificios residenciales para generar un ahorro sustancial de costos y reducciones significativamente, por ejemplo, actualizar la eficiencia térmica del edificio a un estándar LEED. Mayor participación de tecnologías de energía renovable para resolver el problema a través de una formulación iterativa y centralizada de valores de emisión total similares para el suministro de calor y electricidad.

4. Desarrollar diseños y materiales para el aislamiento térmico y promover el uso de innovadoras tecnologías y nuevos materiales pueden ser de gran utilidad para que los diseñadores comparen y elijan soluciones eficientes en la renovación sostenible/circular. Desarrollar herramientas para calcular la cantidad de emisiones de dióxido de carbono, expresadas por indicadores de emisión, que permitan evaluar las actividades realizadas tanto en términos ecológicos como económicos.

5. Producir y transformar materiales de ingeniería especialmente en las economías desarrolladas con materiales industrializados incorporados a la edificación que respete al proceso de renovación y los conceptos de diseño. Mejorar la renovación industrializada para la mejora de la renovación que conduce a la descarbonización del parque de edificios.

6. Desarrollar investigaciones sobre eficiencia energética y la reducción de las emisiones de carbono, adopta conceptos de economía circular fomentando la demanda de materiales de construcción bajo enfoques ecológicos para reducir el carbono incorporado según los estándares y certificaciones internacionales sobre el tema de la sostenibilidad, por su construcción y equipamiento mejorando la calidad de vida con un alto nivel de eficiencia energética reduciendo el consumo de energía, agua y demás recursos minimizan la contaminación del medio ambiente.

## **Análisis final**

En la búsqueda constante por abordar los desafíos inherentes al cambio climático y a la demanda creciente de energía, la implementación de tecnologías de descarbonización en edificios multifamiliares emerge como un punto de convergencia entre la ciencia, la tecnología y la colaboración intersectorial. Esta convergencia no solo aborda la necesidad apremiante de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también abre la puerta hacia un futuro donde la sostenibilidad y la eficiencia energética convergen en armonía con las necesidades humanas y ambientales.

La complejidad inherente a la descarbonización de edificios multifamiliares exige un enfoque interdisciplinario, donde la ciencia y la técnica desempeñan roles complementarios y esenciales. La adopción de tecnologías avanzadas, como sistemas de energía renovable, gestión energética eficiente y soluciones de construcción sostenible, se basa en una comprensión sólida de la física y la ingeniería que sustentan estas soluciones. La tecnología, a través de la innovación continua, brinda herramientas que optimizan el uso de recursos y mejoran la eficiencia operativa de los edificios, minimizando el impacto ambiental y maximizando el beneficio económico.

No obstante, el avance hacia la sostenibilidad en edificios multifamiliares no es meramente un desafío técnico. La colaboración integral entre gobiernos, la industria y la sociedad civil emerge como un componente esencial para superar obstáculos como la falta de conciencia, los costos iniciales y las regulaciones variadas. Esta colaboración va más allá de la mera implementación de soluciones; se trata de un cambio de paradigma que abarca desde la planificación urbanística y la política pública hasta la educación y la sensibilización de la sociedad.

La colaboración y el enfoque científico-tecnológico no solo abren la posibilidad de alcanzar metas climáticas y ambientales, sino que también promueven la resiliencia y la adaptabilidad en un mundo en constante cambio. La capacidad de analizar, adaptar y optimizar soluciones sostenibles en edificios multifamiliares refleja la esencia misma de la ciencia y la tecnología en la búsqueda de soluciones eficaces y evolutivas.

En última instancia, la descarbonización y la colaboración son los pilares que sustentan la evolución hacia edificios multifamiliares más sostenibles. Al enfrentar los desafíos de manera integral y fomentar la sinergia entre la ciencia, la tecnología, los gobiernos, la industria y la sociedad, estamos forjando un camino hacia una arquitectura más consciente, una energía más limpia y un futuro más resiliente para las generaciones venideras. En este cruce entre la ciencia y la colaboración, encontramos el potencial de transformar la manera en que vivimos y construimos, hacia una existencia más armoniosa con nuestro planeta y sus recursos limitados.

# BIBLIOGRAFÍA

Se incluyen las principales fuentes consultadas, que le dieron vida a esta obra y que fueron inspiración para esta investigación, además sirvieron de argumento científico y técnico para validar la información presentada en este libro.

AIE 2020d y AIE 2020b. (2020a). “Estadísticas y balances energéticos mundiales de la IEA” y “Perspectivas de tecnología energética.”La Alianza Global Para Los Edificios y La Construcción (GlobalABC) .

AIE 2020d y AIE 2020b. (2020b). “Estadísticas y balances energéticos mundiales de la IEA” y “Perspectivas de tecnología energética.”La Alianza Global Para Los Edificios y La Construcción (GlobalABC) .

Alla, S. A., Bianco, V., & Simoes, S. G. (2020). The importance of renewable energy systems in meeting rising energy needs of megacities in a sustainable way: Case study of greater Cairo. ASME 2020 14th International Conference on Energy Sustainability, ES 2020. <https://doi.org/10.1115/ES2020-1629>

Amoruso, F. M., Dietrich, U., & Schuetze, T. (2019). Integrated BIM-Parametric Workflow-Based Analysis of Daylight Improvement for Sustainable Renovation of an Exemplary Apartment in Seoul, Korea. *Sustainability*, 11(9), 2699. <https://doi.org/10.3390/su11092699>

Anderson, S. y W. (2004). Estadística para administración y economía. México - Thomson, 825–830.

Angrisano, M., Fabbrocino, F., Iodice, P., & Girard, L. F. (2021). The evaluation of historic building energy retrofit projects through the life cycle assessment. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11157145>

Badea, G., Felseghi, R. A., & Aschilean, I. (2021). Hydrogen-energy vector within a sustainable energy system for stationary applications. *Hydrogen Fuel Cell Technology for Stationary Applications*, 1–21. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4945-2.ch001>

Blumberga, A., Vanaga, R., Freimanis, R., Blumberga, D., Antužs, J., Krastiņš, A., Jankovskis, I., Bondars, E., & Treija, S. (2020). Transition from traditional historic urban block to positive energy block. *Energy*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117485>

Brooks, M., Abdellatif, M., & Alkhaddar, R. (2021). Application of life cycle carbon assessment for a sustainable building design: a case study in the UK. *International Journal of Green Energy*, 18(4), 351–362. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1865360>

Burns y Grove. (2004). Investigación en enfermería. 3a. Ed. España: Elsevier, 340–340.

Carnero, P., & Calatayud, P. (2021). A parametric analysis for short-term residential electrification with electric water tanks. The case of Spain. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132112070>

Carpio, M., & Carrasco, D. (2021). Impact of Shape Factor on Energy Demand, CO<sub>2</sub> Emissions and Energy Cost of Residential Buildings in Cold Oceanic Climates: Case Study of South Chile. *Sustainability*, 13(17), 9491. <https://doi.org/10.3390/su13179491>

Celina y Campo. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, Vol. XXXIV, Número 004, Asociación Colombiana de Psiquiatría, Bogotá, Colombia, 572–580.

Chang, S., Cho, J., Heo, J., Kang, J., & Kobashi, T. (2022). Energy infrastructure transitions with PV and EV combined systems using techno-economic analyses for decarbonization in cities. *Applied Energy*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119254>

Chavarry & Rodríguez. (2020). Sistema de operaciones y mantenimiento LEED AP para la disminución del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>. *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, Vol. 5 Núm.

Chen, H., Wang, L., & Chen, W. (2019). Modeling on building sector's carbon mitigation in China to achieve the 1.5 °C climate target. *Energy Efficiency*, 12(2), 483–496. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9687-8>

Chicaiza, C., Bouzerma, M., Diéguez-Santana, K., Chicaiza, A., Navarrete, V., & Romero, J. (2021). Carbon storage technologies applied to rethinking building construction and carbon emissions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 784(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/784/1/012021>

Clavaguera, J. M. (2020). Impacto del consumidor en la transición energética.

Cordes, W., Boos, P., Ruppert, J., & Reiners, J. (2020). CO<sub>2</sub> framework conditions for climate protection in concrete construction. *Cement International*, 18(1), 50–62.

Desport, L., & Selosse, S. (2022). An overview of CO<sub>2</sub> capture and utilization in energy models. *Resources, Conservation and Recycling*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106150>

Evans, B., & Sidat, S. (2018). The use of temporal factors for improved CO<sub>2</sub> emissions accounting in buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, 39(2), 196–210. <https://doi.org/10.1177/0143624417753297>

Ecogreenhome. (2022). Cómo aplicar correctamente espuma de poliuretano. Obtenido de <https://ecogreenhome.es/como-aplicar-correctamente-espuma-de-poliuretano/>

ECONOVA. (2018). Ciclo de vida de un edificio. Obtenido de <https://econova-institute.com/que-es-el-ciclo-de-vida-de-un-edificio/#:~:text=El%20ciclo%20de%20vida%20de%20un%20edificio%20es%20un%20proceso,impacto%20en%20el%20medio%20ambiente>.

FoB. (24 de 09 de 2018). Nuevas formas de habitar. Obtenido de Aislamientos térmicos en vivienda: <https://www.fob-arquitectura.com/amplia/211/aislamientos-termicos-en-vivienda-maxima-eficiencia-energetica-en-nuestras-casas.html>

Fiorini, L., & Aiello, M. (2020). Predictive Multi-Objective Scheduling with Dynamic Prices and Marginal CO<sub>2</sub>-Emission Intensities. *E-Energy 2020 - Proceedings of the 11th ACM International Conference on Future Energy Systems*, 196–207. <https://doi.org/10.1145/3396851.3397732>

Galán-Martín, Á., Tulus, V., Díaz, I., Pozo, C., Pérez-Ramírez, J., & Guillén-Gosálbez, G. (2021). Sustainability footprints of a renewable carbon transition for the petrochemical sector within planetary boundaries. *One Earth*, 4(4), 565–583. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.001>

Gao, L., Zheng, Y., Yang, D., Zhu, L., Li, S., & Jin, H. (2021). Criterial equation of carbon neutrality for power systems. *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, 66(31), 3932–3936. <https://doi.org/10.1360/TB-2021-0509>

Garimella, S., Lockyear, K., Pharis, D., El Chawa, O., Hughes, M. T., & Kini, G. (2022). Realistic pathways to decarbonization of building energy systems. *Joule*, 6(5), 956–971. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.04.003>

George, D. , & M. P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update (4th ed.)*. . Boston: Allyn & Bacon.

Gerloff, N. (2021). Comparative Life-Cycle-Assessment analysis of three major water electrolysis technologies while applying various energy scenarios for a greener hydrogen production. *Journal of Energy Storage*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102759>

González, A. (2022). Análisis comparativo de tres sistemas constructivo de tierra. *Energía embebida y emisiones de CO<sub>2</sub>*. 1–15.

Göswein, V., Krones, J., Celentano, G., Fernández, J. E., & Habert, G. (2018). Embodied GHGs in a Fast Growing City: Looking at the Evolution of a Dwelling Stock using Structural Element Breakdown and Policy Scenarios. *Journal of Industrial Ecology*, 22(6), 1339–1351. <https://doi.org/10.1111/jiec.12700>

Hernández, F. y B. (2014). *Metodología de la investigación (Sexta)*.

INPER geoproyectos. (17 de 09 de 2013). 10 MITOS SOBRE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN GEOTÉRMICA. Obtenido de nationalgeographic.com

Interempresas. (26 de 05 de 2022). Autoconsumo Energético. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Autoconsumo/Articulos/390268-Plan-REPowerEU-para-acabar-con-la-dependencia-energetica-de-Rusia.html>

Jaimes, L. M. (2022). Emisiones de dióxido de carbono relacionadas con las operaciones unitarias de la industria de la construcción.

Javanshir, N., Syri, S., Teräsvirta, A., & Olkkonen, V. (2022). Abandoning peat in a city district heat system with wind power, heat pumps, and heat storage. *Energy Reports*, 8, 3051–3062. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.064>

Karlsson, I., Rootzén, J., Johnsson, F., & Erlandsson, M. (2021). Achieving net-zero carbon emissions in construction supply chains – A multidimensional analysis of residential building systems. *Developments in the Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100059>

Karlsson, I., Rootzén, J., Toktarova, A., Odenberger, M., Johnsson, F., & Göransson, L. (2020). Roadmap for decarbonization of the building and construction industry—A supply chain analysis including primary production of steel and cement. *Energies*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/en13164136>

Khahro, S. H., Kumar, D., Siddiqui, F. H., Ali, T. H., Raza, M. S., & Khoso, A. R. (2021). Optimizing Energy Use, Cost and Carbon Emission through Building Information Modelling and a Sustainability Approach: A Case-Study of a Hospital Building. *Sustainability*, 13(7), 3675. <https://doi.org/10.3390/su13073675>

Krarti, M., Ali, F., Alaidroos, A., & Houchati, M. (2017a). Macro-economic benefit analysis of large scale building energy efficiency programs in Qatar. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 597–609. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.12.006>

Krarti, M., Ali, F., Alaidroos, A., & Houchati, M. (2017b). Macro-economic benefit analysis of large scale building energy efficiency programs in Qatar. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 597–609. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.12.006>

Langevin, J., Harris, C. B., & Reyna, J. L. (2019). Assessing the Potential to Reduce U.S. Building CO<sub>2</sub> Emissions 80% by 2050. *Joule*, 3(10), 2403–2424. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.013>

- Levesque, A., Pietzcker, R. C., & Luderer, G. (2019). Halving energy demand from buildings: The impact of low consumption practices. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.025>
- Liu, X. (2022). A New Machine Learning Algorithm for Regional Low-Carbon Economic Development Analysis Based on Data Mining. *Journal of Function Spaces*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/5692666>
- Liu, Y., Chen, S., Jiang, K., & Kaghembega, W. S. H. (2022). The gaps and pathways to carbon neutrality for different type cities in China. *Energy*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122596>
- Liu, Z., & Jiang, G. (2021). Optimization of intelligent heating ventilation air conditioning system in urban building based on BIM and artificial intelligence technology. *Computer Science and Information Systems*, 18(4), 1379–1394. <https://doi.org/10.2298/CSIS200901027L>
- Lizana, J., Friedrich, D., Renaldi, R., & Chacartegui, R. (2018). Energy flexible building through smart demand-side management and latent heat storage. *Applied Energy*, 230, 471–485. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.065>
- Llarena. (2008). Metodología para la evaluación de la calidad de estrategias didácticas de cursos a distancia (MACCAD). *Formación Universitaria*. 45.
- Ma, B., Jia, L., Yu, Y., Wang, H., Chen, J., Zhong, S., & Zhu, J. (2021). Geoscience and carbon neutralization: Current status and development direction. *Geology in China*, 48(2), 347–358. <https://doi.org/10.12029/gc20210201>
- Maestre, V. M., Ortiz, A., & Ortiz, I. (2021). Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111628>
- Marín, I. (2022). Análisis de un sistema de climatización experimental.
- MALVAR. (2020). Aislamiento en fibra de vidrio. Obtenido de [https://www.malvaringenieria.com/fibra\\_vidrio.html](https://www.malvaringenieria.com/fibra_vidrio.html)
- Minuto, F. D., Lazzeroni, P., Borchiellini, R., Olivero, S., Bottaccioli, L., & Lanzini, A. (2021). Modeling technology retrofit scenarios for the conversion of condominium into an energy community: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124536>

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020a). Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020b). Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731. <https://doi.org/10.3390/su12145731>

Murray, P., Orehounig, K., Grosspietsch, D., & Carmeliet, J. (2018). A comparison of storage systems in neighbourhood decentralized energy system applications from 2015 to 2050. *Applied Energy*, 231, 1285–1306. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.106>

Narbutis, J., Vanaga, R., Freimanis, R., & Blumberga, A. (2021). Laboratory Testing of Small-Scale Active Solar Façade Module. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 455–466. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0033>

Nano-aerogel en arquitectura. (28 de 02 de 2013). Obtenido de <https://arquitecturaviva.com/articulos/nano-aerogel-en-arquitectura>

Ozkan, M. (2021). Direct air capture of CO<sub>2</sub>: A response to meet the global climate targets. *MRS Energy & Sustainability*, 8(2), 51–56. <https://doi.org/10.1557/S43581-021-00005-9>

Palomba, V., Borri, E., Charalampidis, A., Frazzica, A., Cabeza, L. F., & Karellas, S. (2020). Implementation of a solar-biomass system for multi-family houses: Towards 100% renewable energy utilization. *Renewable Energy*, 166, 190–209. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.126>

Pittau, F., Habert, G., & Iannaccone, G. (2019). A Life-Cycle Approach to Building Energy Retrofitting: Bio-Based Technologies for Sustainable Urban Regeneration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 290(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012057>

Polit y Hungler. (2010). *Investigación científica en Ciencias de la Salud: principios y métodos*. 6a. Ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 398–401.

POLEPS. (2020). Espuma de poliestireno. Obtenido de <https://poleps.wixsite.com/poliestireno/quienes-somos1-c213r>

- Popovski, E., Aydemir, A., Fleiter, T., Bellstädt, D., Büchele, R., & Steinbach, J. (2019). The role and costs of large-scale heat pumps in decarbonising existing district heating networks – A case study for the city of Herten in Germany. *Energy*, 180, 918–933. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.122>
- Rajabloo, T., De Ceuninck, W., Van Wortswinkel, L., Rezakazemi, M., & Aminabhavi, T. (2022). Environmental management of industrial decarbonization with focus on chemical sectors: A review. *Journal of Environmental Management*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114055>
- Ruiz Martínez, E., & Sánchez Hervás, J. M. (2022). Chemical Valorization of CO<sub>2</sub>. *Advances in Science, Technology and Innovation*, 1–30. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72877-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72877-9_1)
- Sani, S. A., Maroufmashat, A., Babonneau, F., Bahn, O., Delage, E., Haurie, A., Mousseau, N., & Vaillancourt, K. (2022). Energy Transition Pathways for Deep Decarbonization of the Greater Montreal Region: An Energy Optimization Framework. *Energies*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/en15103760>
- Sierra-Ramírez. (2022). Impacto de las características de los hogares urbanos en las emisiones de gases de efecto invernadero en Ibagué, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 279–292.
- Soltero, V. M., Chacartegui, R., Ortiz, C., & Quirosa, G. (2018). Techno-economic analysis of rural 4th generation biomass district heating. *Energies*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/en11123287>
- Sturmey, N. (2005). The PAS-ADD checklist: Independent replication of its psychometric properties in a community sample. *British Journal of Psychiatry*, 319.
- Szymańska, E. J., Kubacka, M., & Polaszczyk, J. (2023). Households' Energy Transformation in the Face of the Energy Crisis. *Energies*, 16(1), 466. <https://doi.org/10.3390/en16010466>
- Tanzer, S. E., Blok, K., & Ramírez, A. (2021). Curing time: A temporally explicit life cycle CO<sub>2</sub> accounting of mineralization, bioenergy, and CCS in the concrete sector. *Faraday Discussions*, 230, 271–291. <https://doi.org/10.1039/d0fd00139b>
- Victoria, M., Zeyen, E., & Brown, T. (2022). Speed of technological transformations required in Europe to achieve different climate goals. *Joule*, 6(5), 1066–1086. <https://doi.org/10.1016/J.JOULE.2022.04.016>

- Villamar, D., Soria, R., Rochedo, P., Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer, R. (2021). Long-term deep decarbonisation pathways for Ecuador: Insights from an integrated assessment model. *Energy Strategy Reviews*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100637>
- Wamburu, J., Grazier, E., Irwin, D., Crago, C., & Shenoy, P. (2022). Data-driven decarbonization of residential heating systems. 438–439. <https://doi.org/10.1145/3538637.3538801>
- Wang. (2019). Descarbonizando las aglomeraciones urbanas de China. *Anales de la Asociación Estadounidense de Geógrafos*. 266–285.
- William, M. A., Suárez-López, M. J., Soutullo, S., Fouad, M. M., & Hanafy, A. A. (2022a). Enviro-economic assessment of buildings decarbonization scenarios in hot climates: Mindset toward energy-efficiency. *Energy Reports*, 8, 172–181. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.05.164>
- William, M. A., Suárez-López, M. J., Soutullo, S., Fouad, M. M., & Hanafy, A. A. (2022b). Enviro-economic assessment of buildings decarbonization scenarios in hot climates: Mindset toward energy-efficiency. *Energy Reports*, 8, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.05.164>
- Xing, R., Hanaoka, T., & Masui, T. (2021). Deep decarbonization pathways in the building sector: China's NDC and the Paris agreement. *Environmental Research Letters*, 16(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe008>
- Yue, X., Deane, J. P., O'Gallachoir, B., & Rogan, F. (2020). Identifying decarbonisation opportunities using marginal abatement cost curves and energy system scenario ensembles. *Applied Energy*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115456>
- Zeynalian, M. (2018). Choice of optimum combination of construction machinery using modified advanced programmatic risk analysis and management model. *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 10.
- Zhang, S., Ma, M., Li, K., Ma, Z., Feng, W., & Cai, W. (2022). Historical carbon abatement in the commercial building operation: China versus the US. *Energy Economics*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105712>

Zhu, S., Yu, G., Liang, K., Dai, W., & Luo, E. (2021). A review of Stirling-engine-based combined heat and power technology. *Applied Energy*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116965>

Zwickl-Bernhard, S., & Auer, H. (2022). Demystifying natural gas distribution grid decommissioning: An open-source approach to local deep decarbonization of urban neighborhoods. *Energy*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121805>



**AutanaBooks**  
*Engineering & Services*

ISBN: 978-9942-44-832-3

