

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS**  
**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**METODOLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN DE  
IMPACTOS EN LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO  
SUSTENTABLES PARA EDIFICACIONES**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**

**PRESENTA: I.Q. MARÍA ANA GUTIÉRREZ MERCADO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ**

## Resumen

Las proyecciones hechas a futuro sobre el crecimiento exponencial de la población, se crea una demanda por edificaciones sustentables y energéticamente eficientes, ya que el crecimiento de las ciudades genera cambios demográficos, incremento en la demanda de energía, uso de agua y suelo, así como recursos naturales y afectaciones a los ecosistemas colindantes. Sabiendo además que el 98% de los edificios en donde estos cambios van a ocurrir, la opción más factible para llegar a ese futuro es adaptar estos edificios de forma en que puedan cumplir los estándares de sustentabilidad, especialmente en los ámbitos de energía y agua. En este trabajo se propone una primera aproximación simulando tres escenarios de algunos indicadores de valor para evaluar los cambios que se podrían realizar en edificaciones para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sustentable.

## Abstract

With the projections made on the exponential growth of the population, a demand for sustainable, energy-efficient buildings is being created, since the growth of cities generates demographic changes, an increase in the demand for energy, use of water and land, as well as natural resources and effects on neighboring ecosystems. Knowing also that 98% of the buildings where these changes will occur already exist, the most feasible option is to adapt these buildings so that they can meet sustainability standards, especially in the areas of energy and water. A first approximation is considered simulating three scenarios of some value indicators to evaluate the changes that could be made to meet the Sustainable Development Goals.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor, el Dr. Rosenberg Romero, por aceptarme, guiarme y creer en este proyecto. Por enseñarme cosas nuevas que me llamaban la atención, permitirme explorar diferentes áreas de mi interés y apoyarme a realizar este proyecto bajo su tutela, con la paciencia requerida para terminarlo, a pesar de las adversidades, así como su apoyo constante y el impulso para hacerlo.

A mi señora madre, por ser esta maravillosa persona que me impulsa a ser mejor, a brillar con mi propia luz, a escoger mi camino, a explorar diferentes posibilidades, a equivocarme, cambiar de opinión e ir a mi ritmo, así sea diferente a lo que espera. Por apoyarme en todas las decisiones que he tomado y por quererme de manera incondicional.

A mi papá, por las historias de vida, los aprendizajes pasados, el apoyo, los cuestionamientos y el cariño que los acompaña.

A mi tita, por las deliciosas comidas de todos los días, por las palabras de aliento, por el apoyo incondicional, aunque no esté de acuerdo conmigo, por el cariño constante, por los consejos de abuelita y por escucharme siempre. Por acompañarme a donde quiera que vaya y por ser una parte fundamental de la persona en la que me he convertido.

A Ilsa, por revisar cada versión de esta tesis para asegurarse de que tuviera sentido y no tuviera dedazos, por estar desde que nos sentábamos a leer juntas.

¡Gracias!

# Índice

Resumen	1
Abstract	1
Agradecimientos	2
Índice	3
Lista de Tablas	5
Lista de Figuras	6
Introducción	7
a) Antecedentes	7
b) Planteamiento del Problema	8
c) Hipótesis	9
d) Justificación	10
e) Fundamento Teórico	10
f) Objetivos	14
g) Alcance	14
Capítulo 1: Marco Teórico	16
Desarrollo Sustentable	16
Pilares del Desarrollo Sustentable	17
Sustentabilidad y Edificaciones	18
Objetivos del Desarrollo Sostenible	19
Capítulo 2: Metodología	25
Correlaciones entre Pilares y ODS	25
Función propuesta	30
Metodología	31
Capítulo 3: Resultados	35
Simulaciones de un escenario ficticio	35
Escenario 1	35
Escenario 2	38
Escenario 3	41
Validación de la metodología	48
Repetición de la metodología	48
Comparación multicriterio de la literatura	50
Caso de Estudio: Acondicionamiento de un Edificio	53
Capítulo 4: Conclusiones	55



## Lista de Tablas

Tabla 1. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS	27
Tabla 2. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS sin normalizar	27
Tabla 3. Bibliografía de la intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS de la tabla 4	28
Tabla 4. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS de acuerdo con la información bibliográfica.	29
Tabla 5. Correlaciones entre ODS y pilares simplificada.	31
Tabla 6. Correlaciones entre ODS y pilares simplificada metodología.	32
Tabla 7. Escenario 1 de CO <sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación.	36
Tabla 8. Escenario 1 de CO <sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, primera iteración.	36
Tabla 9. Escenario 1 de CO <sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, segunda iteración.	37
Tabla 10. Escenario 1 de CO <sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, iteración final.	37
Tabla 11. Escenario 2 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación.	38
Tabla 12. Escenario 2 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, primera iteración.	39
Tabla 13. Escenario 2 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, segunda iteración.	40
Tabla 14. Escenario 2 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, última iteración.	41
Tabla 15. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación.	42
Tabla 16. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, primera iteración.	43
Tabla 17. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, segunda iteración.	44
Tabla 18. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, tercera iteración.	45
Tabla 19. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, cuarta iteración.	46
Tabla 20. Escenario 3 de CO <sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, última iteración.	47
Tabla 21. Método de comparación de criterios.	52

## Lista de Figuras

Figura 1. Consumo actual de los edificios.	9
Figura 2. Pilares del Desarrollo Sustentable.	18
Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible.	22
Figura 4. Intersección pilares de sustentabilidad y ODS.	25
Figura 5. Diagrama de flujo de la primera aproximación de la metodología.	30
Figura 6. Diagrama de flujo del uso de la metodología.	34
Figura 7. Ejemplo del escenario 2.	49
Figura 8. Ejemplo del escenario 2.	49
Figura 9. Ejemplo del escenario 2.	50
Figura 10. Factores de impacto de la construcción del caso de estudio.	54
Figura 1. Factores de impacto de la construcción y uso de energéticos del caso de estudio.	54
Figura 14. Relación generación de energía, edificios y usuarios.	56

## Introducción

### a) Antecedentes

En el 2015, ocurrieron dos acontecimientos con impacto global; después de darse cuenta de que, a pesar de los esfuerzos realizados por años para detener el calentamiento global por varios países con el Protocolo de Kioto, la ONU decidió que se necesitaban medidas más reales, por lo que decidieron implementar el Acuerdo de París, el cual urge por acciones que impidan subir 2°C la temperatura global; además se nombraron los Objetivos de Desarrollo Sustentable (Alawneh, Ghazali, Ali, & Asif., 2018). Dándole de esta manera importancia y urgencia mundial a volvernos sustentables desde todos los frentes como parte del a agenda 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2020). Por lo tanto, el 25 de septiembre del 2015 entramos oficialmente en la Era de la Sustentabilidad.

De los 17 objetivos y 169 metas contenidos en este acuerdo, es de particular interés para este trabajo el objetivo 11 (United Nations, 2020), Ciudades y Comunidades Sostenibles, donde se plantean ciudades no solo inclusivas y accesibles para todo aquel que las habite, sino también ciudades verdes, ciudades en donde se produzca la menor cantidad de CO<sub>2</sub> y basura al ser transitadas y resididas, impulsando el desarrollo tecnológico e innovación.

La idea de una ciudad verde no es algo enteramente nuevo, en los últimos años no sólo se ha redefinido el término, pero se han agregado términos más precisos para la forma en la que se espera llegar a una ciudad sustentable, de acuerdo con diferentes necesidades, capacidades económicas y avances tecnológicos. No es viable simplemente derribar o abandonar las ciudades para volver a vivir una vida en el campo, así que tenemos que visualizar las ciudades del futuro, aprovechar los próximos años para generar las tecnologías y estrategias que nos permitan mitigar el efecto del calentamiento global. Toda pequeña acción suma.

De acuerdo con Jeffrey Sachs (SDGAcademyX, 2020), director de la Red de Soluciones de Desarrollo Sustentable de la ONU, las ciudades del futuro deben ser 100% eléctricas, encontrando la forma de prescindir de la quema de combustibles fósiles como fuente principal de energía. Además de inclusivas y con una mejor



movilidad para los habitantes, tanto en su diseño de vías y medios de transporte como en asegurarse de que el transporte sea eficiente y sustentable. Estos cambios a futuro significan retos a nivel global. Para tener ciudades totalmente eléctricas es necesario encontrar fuentes sustentables de energía que satisfagan la demanda de cada ciudad, pero esto también requiere pensarlas como espacios con eficiencia energética. Ya que éstas se componen de edificaciones que van desde casas hasta grandes edificios de oficinas, podemos decir que éstas son el corazón del cambio para encaminarnos hacia una realidad de ciudades sustentables.

## **b) Planteamiento del Problema**

Desde 1970 ha empezado a incrementar la conciencia sobre las limitaciones ecológicas que tiene el planeta y el crecimiento exponencial de los humanos nos pone en una carrera para encontrar la solución para encontrar un equilibrio entre la comodidad en el estilo de vida del ser humano, el uso de recursos finitos y evitar el aumento de 2°C de temperatura global. Las ciudades del mundo ocupan un 4% de la superficie global, más del 58% de la población vive en una ciudad, pero las proyecciones de los próximos 50 años indican que ese número va a llegar a un 70% (Antonino Marvuglia, 2020).

Se estima que para el 2030 habrá más de 2 mil millones de habitantes nuevos en zonas urbanas en América Latina, Asia y África. Este rápido crecimiento en la población crea una demanda por edificaciones sustentables, minimizando su huella de carbono siendo energéticamente eficientes. Ya que el crecimiento de las ciudades genera cambios demográficos, incremento en la demanda de energía, uso de agua y suelo, así como recursos naturales y afectaciones a los ecosistemas colindantes.

La urbanización nos ha creado un conjunto de problemas únicos, como los desechos que se generan día a día, la cantidad de agua que utilizamos, el tráfico y la accesibilidad, y la generación de energía para satisfacer las necesidades crecientes que tenemos como sociedad, etc. Nuestras fuentes tradicionales de generación de energía dejan un impacto ambiental que tenemos que revertir y reparar. Hemos creado, como humanos, un ecosistema artificial lleno de concreto y

edificios que interactúan con lo que nos rodea, impactando de manera positiva o negativa al medio ambiente. Los edificios intercambian energía de manera natural con el entorno circundante. Las edificaciones representan un porcentaje importante en el uso de energía y producción de residuos y CO<sub>2</sub> convirtiéndose en un foco rojo de sustentabilidad. Sin embargo, la industria de la construcción es vital para el progreso social, el crecimiento económico, y el impacto ambiental, o la protección de este (Annibaldi, Cucchiella, Berrardinis, Gastaldi, & Rotillo., 2020). Pero, de los edificios que forman parte de las ciudades, solo el 1% de ellos será construido desde cero cada año (TU Delft, 2020), las ciudades del futuro tienen que basarse en edificios previamente construidos.



Figura 1. Consumo actual de los edificios.

### c) Hipótesis

Existe la relación entre los pilares de la sustentabilidad (social, ambiental y económico) y algunos de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) que se pueden vincular para encontrar incidencias en el CO<sub>2</sub> producido por edificios y de

esta forma identificar, medir, analizar y proponer acciones para adaptar edificios ya existentes y disminuir su impacto de CO<sub>2</sub>.

#### **d) Justificación**

La presente investigación se ha enfocado en estudiar los efectos del impacto ambiental y costo energético de los edificios, ya que el conjunto de edificios construidos en la actualidad es responsable por el 45% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, además, representan cerca de un 40% de las extracciones de materiales, 15% del agua potable, 35% de consumo de energía global y 73% de consumo de electricidad (Antonino Marvuglia, 2020).

La evaluación de la sustentabilidad ambiental de los sistemas urbanos y las soluciones energéticas aplicada en ellos son una parte crítica de ralentizar el cambio climático en una escala global. Para lograrlo, necesitamos reducir de manera rápida y efectiva la producción de CO<sub>2</sub>, y acercarnos lo más posible a edificios “*Net Zero*” para el 2050. Para la Unión Europea se ha generado la obligación de establecer renovaciones a largo plazo para descarbonizar la mayor cantidad de edificios, sin embargo, es claro que la situación en América Latina es diferente y cuenta con sus propias demandas, línea de tiempo y posibilidades de implementación.

Se debe considerar mejorar el costo energético de renovar o adaptar edificios para nuevas eras y de esta manera ayudar a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) de la ONU, especialmente el número 11, Comunidades y Ciudades Sustentables; para lograr este objetivo se requiere planeación e implementación de tecnología sustentable, así como políticas públicas favorecedoras.

#### **e) Fundamento Teórico**

El ordenamiento ecológico se define como la necesidad de toda sociedad que habita un territorio de reconocer la importancia fundamental que la presencia humana sea relativa a las condiciones naturales de su entorno (Blanco, 2006). En otras palabras, qué tantos recursos (energía, agua, materiales, etc.) son utilizados, cuántos

desechos son producidos, de qué manera se dispone de ellos y cómo afecta al entorno.

La sustentabilidad es la capacidad de la civilización humana para coexistir con la biosfera y satisfacer con las necesidades que tenemos en el presente, sin comprometer las del futuro. Para que sea posible decir que algo es sustentable se debe considerar y proteger de la mejor manera lo económico, lo social y lo ambiental. Por lo mismo, en los últimos cincuenta años, sobre todo, en años más recientes, la sociedad y los gobiernos de diferentes países han desarrollado políticas de aprovechamiento y protección de los recursos naturales y del hábitat, centrándose en ubicar a los núcleos de población como el punto de referencia fundamental para la acción junto con la prevención, utilizando tecnologías ambientales, innovación basada en ciencia y compromisos ecológicos basados en la economía y búsqueda del desarrollo.

Los hechos arriba descritos han llevado a voltear a las ciudades como foco de atención, ya que son las zonas urbanas en crecimiento las que albergan a más de la mitad de la población en espacios muy pequeños, que además se desarrollan a velocidades muy altas, donde los recursos, como la energía, son vitales y cada vez en mayor demanda obligando a que se cuestione si se está haciendo todo lo posible por volver estos recursos sustentables y alejarnos de las formas de energía fósiles en la medida de lo posible, ya que la capacidad de adaptación a los eventos extremos no solamente depende de la vulnerabilidad intrínseca de los humanos (percepción del riesgo), sino también de las estrategias de adaptación que se utilicen para enfrentarse a los riesgos, así como los métodos que han desarrollado para evaluar los riesgos y las vulnerabilidades.

A través de los años, se han desarrollado diferentes opciones para crear un hábitat urbano que sea sustentable, por ejemplo, los techos verdes y la búsqueda de las ciudades por reducir el impacto ambiental que genera la producción de CO<sub>2</sub>, se ha intentado hacer espacios verdes en los lugares más imaginativos, como en la estructura del Periférico en la Ciudad de México. Esto ha obligado que se voltee a ver el sistema artificial que se ha creado en las junglas de concreto del mundo. Pero, y para cuestiones de este trabajo, se hará un enfoque en edificaciones, ya sean

edificios grandes o casas, como una oportunidad para crear pequeñas soluciones que ayuden al uso y, en algunos casos, incluso la generación de sustentabilidad energética en pequeña y mediana escala o para uso local.

Se ha visto que la tendencia arquitectónica ya no involucra únicamente un diseño vanguardista o represente la expresión artística del autor, sino que está apostando por la solución de problemas, por diseños que no sólo sean bellos, sino que además sean sustentables y útiles. Se involucra en el diseño una esperanza por un planeta donde podamos vivir en confort, pero también de manera sustentable, donde lo verdaderamente importante es buscar una manera de coexistir en paz con la tierra que nos rodea, sin dejar de lado los avances en tecnología alcanzados.

En los últimos diez años, se han dado varios ejemplos de esta ideología, y en este trabajo se ha explorado de manera rápida dos de ellos, que representan ambos lados del espectro, restaurar y adaptar un edificio que ya existe y además está en uso (como el 98% de los edificios del mundo) o el crear uno desde cero (como el 1-2% de edificios que se crean cada año).

La administración del Empire State Building en Nueva York decidió hace aproximadamente una década volverse sustentable, disminuyendo un 38% el uso de energía y ahorrando 2.8 millones de dólares al año en costo energético (Empire State Building, 2020). Este proceso empezó por hacer un estudio integral de su situación y empezó a hacer cambios progresivos para conservar la estructura icónica que representa la ciudad de Nueva York, pero adaptándose a los retos de sustentabilidad que representa esta época. Las medidas que se tomaron para adaptar el edificio y llegar a estos resultados incluyen incrementar la capacidad de uso de la luz de día, cambiar los focos, instalar más de 6,000 radiadores nuevos, controles digitales para el agua, la climatización, sensores, etc. Rehicieron las ventanas, utilizando mejores materiales para el paso de luz y el aislamiento térmico del edificio, así como un sistema de manejo y disposición de energía. Todo esto convirtiéndose en un ahorro económico, pero también en una disminución del uso de energía, de agua y generación de residuos y CO<sub>2</sub>.

Por el otro lado en Guangzhou, China, en el 2011 construyeron la Pearl River Tower, considerada el edificio con mayor capacidad para ahorro energético y menor generación de CO<sub>2</sub>, este edificio fue diseñado específicamente para ser sustentable en todos los aspectos posibles (W. Baker, 2014). Es una respuesta al clima local y a la preocupación global por el ahorro de energía del edificio comparado con otros edificios de la zona, el cual es del 58%. En su diseño original tenía la capacidad generar el 100% de su propia energía, además proveer a los edificios cercanos, pero, por desacuerdos con el sector energético local, no pudo ser posible. Sin embargo, es reconocido como un avance tecnológico, y la aplicación práctica de un diseño interdisciplinario que incluye: fachada exterior, turbinas de viento, paneles fotovoltaicos integrados en el diseño, y ventilación en los pisos, controles de respuesta para el aprovechamiento de la luz exterior y reflectores de ésta, iluminación de alta eficiencia, etc.

Estos dos edificios representan ambas posibilidades, construir desde cero un edificio pensado enteramente en cumplir con el propósito de ser sustentable en todos los sentidos en el caso del Pearl River Tower, a pesar de que globalmente sólo se construyen entre 1 y 2% de los edificios y buscar formas de adaptar edificios para volverlos sustentables poco a poco como en el caso del Empire State.

En una ciudad como la CDMX existen más de 3000 edificios, de los cuales 7 son considerados rascacielos, y en una ciudad como Nueva York existen más de 4500 edificios que son considerados como rascacielos. Con esto se puede obtener una idea aproximada de la cantidad de energía ocupada únicamente para mantener el uso de los edificios, y por lo tanto como cada uno de ellos representa una oportunidad para un cambio, una mejoría, una alternativa verde, un porcentaje de disminución de huella de carbono, un acercamiento a la sustentabilidad energética.

Existen asociaciones dedicadas a medir estos factores y brindar certificados a aquellos que cumplan con los requisitos para ser considerados sustentables. Esta dinámica demuestra la necesidad de este tipo de proyectos, que puedan tomar las recomendaciones, realizar análisis energéticos y aplicar soluciones hechas a la medida para todo tipo de escalas, pensando de manera global para actuar de manera local en cada uno de los ecosistemas artificiales que se forman en las

ciudades y de esta forma, se puedan crear las mejores condiciones para que sean ecosistemas sustentables considerados con los recursos que tenemos disponibles en el planeta y al mismo tiempo mantener y mejorar el estilo de vida del ser humano moderno.

## **f) Objetivos**

El presente trabajo propone realizar un análisis desde lo sustentable, cuya finalidad es encontrar diferentes oportunidades para adaptar edificios existentes y volverlos energéticamente sustentables o tengan una disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para lograr este objetivo se definen 5 pilares para encontrar una función objetivo y profundizar los conocimientos teóricos sobre los procesos de adaptación sustentable, además de ofrecer las bases para una aplicación práctica.

El objetivo general es:

Definir la reducción relativa de CO<sub>2</sub> en edificaciones asociada a los Objetivos de Desarrollo Sustentable para los pilares de la sustentabilidad por medio de una primera aproximación a una metodología.

Los objetivos específicos son:

1. Realizar un análisis comparativo de los indicadores energéticos existentes para edificaciones y su relación con los ODS.
2. Evaluar el impacto que tienen los parámetros identificados para edificaciones ya existentes y que requieren modificaciones para disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.
3. Definir los parámetros que pueden ser comunes en la construcción y modificación de edificaciones sustentables y su relación con los ODS.

## **g) Alcance**

Cuando se habla de sustentabilidad, hay que recordar que existe una relación inherente entre los costos y la economía, impactos a la sociedad y al ambiente. Para que algo sea sustentable tiene que satisfacer tres requerimientos:

1. Ser económicamente viable.
2. Ayudar a mejorar la forma de vida de la sociedad.
3. Hacer un uso adecuado de nuestros recursos naturales sin poner en riesgo el medio ambiente.

En otras palabras, la sustentabilidad genera la obligación de coexistir con el mundo que nos rodea, además, buscar la mejor manera de hacerlo.



# Capítulo 1: Marco Teórico

## Desarrollo Sustentable

Las emisiones de carbono medidas después de la Segunda Guerra Mundial indicaron que, por primera vez en la historia, la actividad humana ha alcanzado niveles en los que podría alterar el clima del planeta y su mezcla biológica. Y, el incremento constante de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la energía que se produce principalmente mediante la quema de combustibles fósiles, así como la producción sin fin de los productos que usamos, la explotación de materias primas, el crecimiento de las ciudades, etc., son las razones de mayor peso.

Los principales contribuyentes a la generación de gases de efecto invernadero son los países industrializados, no sólo hay un uso voraz de los recursos, también existen discrepancias en el consumo de recursos y bienestar entre los países de primer mundo y aquellos en vías de desarrollo. Tomando esto en consideración, durante la Cumbre de la Tierra de las Naciones Unidas de 1992 (United Nations, 2020) en Río de Janeiro, el desarrollo sustentable surgió como uno de los temas más urgentes de la política internacional como parte de la agenda 21. En ésta se basan las políticas de desarrollo sostenible en la satisfacción de las necesidades en los países en vías de desarrollo. Este criterio de desarrollo sustentable se introdujo en 1976 en el Modelo 3 de Bariloche, que propuso que "el desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades del futuro" (Hernández E. H., 2018).

Algunas cuestiones críticas planteadas en el principio de la amplia adopción de desarrollo sustentable como un nuevo nombre para el bien común, principalmente las fortalezas y debilidades que representan la ambivalencia del concepto. Por un lado, existen los economistas y sus políticas de crecimiento y por el otro, los ambientalistas que protegen los derechos de la tierra y creen que se debe detener el crecimiento.

Por lo tanto, el concepto de desarrollo sustentable que se ha ido desarrollando implica límites, no límites absolutos, pero aquellos impuestos por el estado actual de la tecnología, la organización social sobre los recursos ambientales y la capacidad de la biosfera para absorber los efectos de las actividades humanas. Pero la tecnología y la organización social se pueden gestionar y mejorar para dar paso a una nueva era de crecimiento económico. Esto ha llevado a las tres dimensiones (Brundtland, 1987) en las que se puede basar el concepto general del desarrollo sustentable:

- Económico
- Social
- Ambiental

El desafío del desarrollo sustentable se reconoce ahora en todo el mundo, la interacción entre cultura, estructura y tecnología son relevantes en la actualidad, además de los enfoques de optimización, mejora y renovación. La renovación de sistemas requiere nuevas formas de búsqueda y diseño de procesos de exploración que comprendan las necesidades humanas como punto de partida. Esto implica un enfoque estratégico basado en innovación y avances en los que coexistan múltiples disciplinas, lo que es un factor clave para obtener resultados viables.

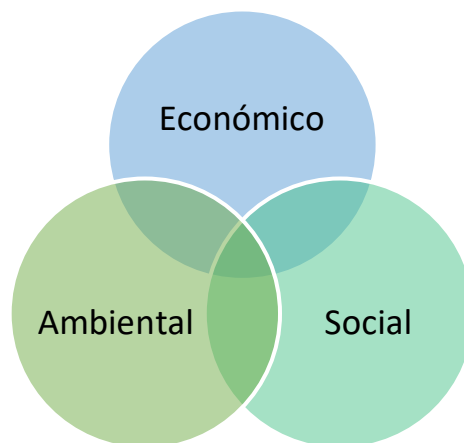
## **Pilares del Desarrollo Sustentable**

El modelo de desarrollo sustentable con tres dimensiones, a la que en este trabajo se ha referido como pilares, implica que debe ser una estrategia que involucre y tenga en consideración mejoras para la sociedad, tener una viabilidad económica y una factibilidad ecológica (Baumgartner, 2011).

Esto significa la existencia de una intersección de los tres pilares en la que se debe encontrar un equilibrio basado en una sociedad con igualdad de recursos, una viabilidad económica en el uso del capital y un medio ambiental en el que los recursos sean usados para cubrir las necesidades humanas en el corto y largo plazo, dejando que el planeta se recupere en una línea de tiempo similar a la del uso de sus recursos.

A pesar de las limitaciones actuales y cuestionamientos de su viabilidad, el desarrollo sustentable representa múltiples retos a la sociedad y exige la búsqueda de estrategias, ideas y creación de espacios de innovación que puedan funcionar de manera realista para implementar medidas en el sistema capitalista predominante en nuestro mundo.

Es de especial interés ver la importancia de desarrollar de manera común los tres pilares del desarrollo sustentable dentro de las ciudades, en sus calles, espacios culturales, edificios, pulmones verdes, economía local, etc. Los tres pilares están intrínseca e inherentemente conectados entre sí y deben ser interdependientes entre sí, señalando un esfuerzo por conseguir un desarrollo que incluya y tenga perspectiva desde los tres puntos.



*Figura 2. Pilares del Desarrollo Sustentable.*

## **Sustentabilidad y Edificaciones**

Para hablar de la importancia de la sustentabilidad en las edificaciones (Cui, 2018) es importante empezar sobre la trascendencia de la sustentabilidad en las ciudades que, en la era actual, son sistemas complejos, podemos incluso decir que son sistemas compuestos de múltiples sistemas a menor escala.

Hoy en día, la sustentabilidad es un tema de importancia global, el cual requiere atención urgente debido a la intensificación de las actividades humanas que usan los recursos naturales de manera desenfrenada y degradan el medio ambiente, por

lo tanto, el desarrollo de una comunidad sustentable es una de las soluciones efectivas. Y, ¿cuáles son las comunidades más grandes en las que vive el humano? Las ciudades; éstas se han convertido en los puntos focales del desarrollo sustentable porque concentran a los principales consumidores y distribuidores de bienes y servicios. Por otro lado, debido a que concentran una gran cantidad de personas viviendo en pocos metros cuadrados, muchas ciudades que carecen de conciencia con respecto a los límites de los recursos y el progreso técnico actual.

El concepto de “Edificios Verdes” se refiere, de acuerdo con la Agencia de Protección al Medio Ambiente, a la práctica de crear estructuras y usar procesos que sean responsables ambientalmente y utilicen los recursos de manera eficiente durante el ciclo de vida de una edificación, que va desde escoger el lugar, el diseño, la construcción, operación, mantenimiento, renovación y deconstrucción.

Con el paso del tiempo, la ambición o necesidad por mitigar el impacto de los edificios también ha traído el concepto de “*Net Zero*” (Wei Fengb, 2019), el cual se refiere a satisfacer cuatro características principales:

1. Responsabilidad y disminución del CO<sub>2</sub> producido en y por el edificio.
2. Disminución de la demanda energética (ser eficientes energéticamente).
3. Consumo energético provenga de fuentes renovables de energía.
4. Verificación y certificación constante.

Para 2030 se tiene la meta de que todos los edificios nuevos cumplan con éstas características y para el 2050 se hayan transformado la mayor cantidad posible de edificios existentes a este rigor.

## **Objetivos del Desarrollo Sostenible**

En junio de 1992, en la Cumbre para la Tierra celebrada en Río de Janeiro, más de 178 países adoptaron el Programa 21, un amplio plan de acción encaminado a crear una Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, con el fin de mejorar la vida de las personas y proteger el medio ambiente.

En septiembre de 2000 en la Sede de las Naciones Unidas, celebrada en Nueva York, se aprueba por unanimidad la Declaración del Milenio en la Cumbre del Milenio. La Cumbre condujo a la elaboración de ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), cuyo objetivo consistía en reducir la pobreza extrema para 2015 y sentar las bases para el siguiente paso.

En el 2002, en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en Sudáfrica, reafirmaron los compromisos de la comunidad mundial con la erradicación de la pobreza, el medio ambiente y la crisis del cambio climático.

En junio de 2012, se lleva a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro, donde se aprueba “El futuro que queremos”, el primer paso para poner en marcha un plan para elaborar un conjunto de objetivos basados en los ODM y establecer el foro político de alto nivel de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible.

En enero de 2015, la ONU inició el proceso de negociación de la Agenda para el Desarrollo, lo cual culminó con la posterior adopción de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los 17 ODS como eje central. La Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que se celebró en septiembre y el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático en diciembre, un llamado a la acción para evitar un incremento de 2°C de la temperatura global.

Los ODS se basan en decenios de trabajo por parte de los países y las Naciones Unidas, incluido el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Ahora, cada año las Naciones Unidas en el Foro para Desarrollo Sostenible se reúne para el seguimiento y de los ODS. También se creó la División de los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, que se encarga de brindar un apoyo sustantivo y crea capacidad para los ODS y sus cuestiones temáticas conexas, como el agua, la energía, el clima, los océanos, la urbanización, el transporte, la ciencia y la tecnología, el Informe Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, las alianzas y los pequeños Estados insulares en desarrollo.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas en 2015, ofrece un plan común de paz y prosperidad para los pueblos y el planeta en el presente y en el futuro. La Agenda gira en torno a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constituyen un llamamiento urgente a la acción por parte de los países que forman parte de la ONU (United Nations, 2020). Reconocen que el fin de la pobreza y otras privaciones debe ir de la mano de estrategias destinadas a mejorar la salud y la educación, reducir la desigualdad y estimular el crecimiento económico, todo ello sin dejar de abordar el cambio climático ni de trabajar para preservar nuestros océanos y bosques.

Los objetivos de desarrollo sustentable son:

Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo

Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

Objetivo 4. Garantizar una educación de calidad inclusiva, equitativa y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.

Objetivo 5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas.

Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

Objetivo 9. Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

Objetivo 10. Reducir la desigualdad dentro y entre países.

Objetivo 11. Hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Objetivo 12. Garantizar modalidades de producción y consumo sostenibles

Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.

Objetivo 14. Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible

Objetivo 15. Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, combatir la desertificación, detener y revertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de diversidad biológica

Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, proporcionar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.

Objetivo 17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.



Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Las edificaciones verdes pueden ayudar a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, por lo menos en 8 de ellos. A pesar de que el ODS 11, podría ser el objetivo más obvio para centrar este trabajo, también convergen otros Objetivos de Desarrollo Sustentable, como son:

- ODS 3: Salud y Bienestar  
Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible.
- ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento  
Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante  
Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.
- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico  
Un crecimiento económico inclusivo y sostenido puede impulsar el progreso, crear empleos decentes para todos y mejorar los estándares de vida.
- ODS 9: Industria Innovación e Infraestructura  
La industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, pueden dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos.
- ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles  
Las ciudades y las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico. La rápida urbanización está dando como resultado un número creciente de habitantes en barrios pobres, infraestructuras y servicios inadecuados y sobrecargados (como la recogida de residuos y los sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte), lo cual está empeorando la contaminación del aire y el crecimiento urbano incontrolado.
- ODS 12: Producción y Consumo Responsable  
El consumo y la producción mundiales dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera que continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta. El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación



medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro.

- ODS 13: Acción por el Clima

El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes. Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos.

Los objetivos presentados anteriormente son la base que se toma para la metodología presentada en el siguiente capítulo de este trabajo.

## Capítulo 2: Metodología

### Correlaciones entre Pilares y ODS

Ya que se sabe de la existencia de una relación inherente con la economía, impactos a la sociedad y al ambiente, el primer paso en esta propuesta es escoger los pilares necesarios para realizar una evaluación dentro de los sustentable y partir de ahí para encontrar correlaciones entre éstos y los ODS previamente identificados, los cuales tienen relación con las edificaciones y las ciudades.

Teniendo esto como base, los 4 pilares para este proyecto son:

1. Económico- Ya que todo proyecto que se quiera llevar a la vida real debe de ser viable.
2. Social- Efectos de salud asociados a emisiones de CO<sub>2</sub>.
3. Ambiental- La tendencia es y debe ser llegar a cero emisiones de carbono.
4. Técnico- El ciclo de vida de los materiales y por lo tanto su impacto.

Para generar una correlación de los cuatro pilares, se propone la creación de un indicador con el nombre de: Evaluación energética, con el propósito de obtener una unidad funcional.



Figura 4. Intersección pilares de sustentabilidad y ODS.

Una vez que se han identificado los pilares y su funcionalidad e importancia, así como los ODS relacionados a la construcción y uso de edificaciones en las ciudades, se genera una correlación sencilla entre ellos, la cual se utilizará como base para realizar una intersección más detallada y justificada de manera teórica entre los pilares y los ODS.

Como se muestra en la figura 6, se pueden observar tanto los pilares como las ODS que se quieren analizar y se consideran los factores para elegir los indicadores y el impacto directo de cada uno sobre el rendimiento energético del edificio, en climas tropicales. El diagrama representado en la figura 6 es un punto de partida para las siguientes tablas de correlaciones.

A partir de esta primera aproximación, se han empezado a buscar intersecciones específicas entre los ODS que se relacionan con edificaciones y los pilares, obteniendo de esta forma una aproximación de los valores interrelacionados.

En este trabajo por cada pilar se han identificado subcategorías relevantes para medir el impacto de cada una y poder darle un “peso” propuesto a cada subcategoría de cada pilar, los cuales se transforman en los valores denominados factores unitarios de adaptación (FU) los cuales tendrán valores de CO<sub>2</sub> y los factores de impacto (i) que provienen del peso de interacción por CO<sub>2</sub> de cada relación. Para el primer paso de obtención de la metodología, determinaremos si existe una correlación entre los pilares y los ODS. El pilar de evaluación energética que sería el valor de x, o sea, el resultado de la evaluación de la función objetivo, y por lo tanto la cantidad de CO<sub>2</sub> que se plantea disminuir.

Los resultados esperados determinarán los FU más relevantes y el impacto que cada uno tendrá sobre la generación de CO<sub>2</sub> además indicaran cuál es la mejor ruta de adaptación para reducirlo. Con esto podemos representarlo con una función objetivo similar a:  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + \dots = x$ .

	Ambientales					Sociales			Económicas		Técnicas		
	Residuos	Recursos	Agua	Transporte	Energía	Bienestar Humano	Calidad de Vida	Equidad Social	Accesibilidad	Producción	Locales	Innovación	Durabilidad
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>													
3. Salud y Bienestar													
6. Agua Potable y Saneamiento													
7. Energía Asequible y No Contaminante													
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico													
9. Industria, Innovación e Infraestructura													
11. Ciudades y Comunidades Sustentables													
12. Producción y Consumo Responsable													
13. Acción por el Clima													

Tabla 1. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS

Una vez que se obtengan los valores de peso para cada una de las subcategorías, se podrá sustituir en la expresión anterior de acuerdo con el caso en los indicadores podemos obtener el valor máximo, que representa las óptimas condiciones o cualquier valor desde 0; en ese particular caso nos indicaría un final del escenario actual, la terminación de la iteración que se está realizando o la posibilidad de adaptación del edificio para disminuir el impacto ambiental.

	Ambientales					Sociales			Económicas		Técnicas			Eficiencia Energética
	Residuos	Recursos	Agua	Transporte	Energía	Bienestar Humano	Calidad de Vida	Equidad Social	Accesibilidad	Producción	Locales	Innovación	Durabilidad	
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>														
3. Salud y Bienestar														F <sub>3</sub>
6. Agua Potable y Saneamiento														F <sub>6</sub>
7. Energía Asequible y No Contaminante														F <sub>7</sub>
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico														F <sub>8</sub>
9. Industria, Innovación e Infraestructura														F <sub>9</sub>
11. Ciudades y Comunidades Sustentables														F <sub>11</sub>
12. Producción y Consumo Responsable														F <sub>12</sub>
13. Acción por el Clima														F <sub>13</sub>

Tabla 2. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS sin normalizar

Para obtener el factor de impacto de cada ODS se le asigna el valor de uno a cada correlación encontrada de forma teórica en diferentes artículos (que justifican la correlación y relevancia en edificaciones sustentables). Al final de cada fila se suman los valores encontrados y al final se dividen entre el número total de subcategorías (13), 5 ambientales, 3 sociales, 2 económicas y 3 técnicas, obteniendo de esta forma los valores de la columna de eficiencia energética.

Bibliografía			
1	George Baird (2014)	18	Sera L Young, E. A. Frongillo, Z. Jamaluddine, H. Melgar- Quiñonez, R. Pérez-Escamilla, C. Ringler, A. Y. Rosinger (2021)
2	Ahmed Sodiq, A. Baloch, S. A. Khan, S. Mahmoud, M. Jama, A. Abdelaal (2019)	19	David McCollum, L. Gomez Echeverri, K. Riahi, S. Parkinson
3	Osman Balaban, Jose A. Puppim de Oliviera (2016)	20	Muhammad Asif, A. H. A. Dehwah, F. Ashraf, H. S. Khan, M. M. Shaukat & M. T. Hassan (2017)
4	Usha Iyer-Raniga (2021)	21	Isabel B. Franco, R. Tapia, J. Tracey (2020)
5	Giacomo Di Foggia (2018)	22	Francesco Fusco Nerini, B. Sovacool, N. Hughes, L. Cozzi, E. Cosgrave, M. Howells, M. Tavoni, J. Tomei, H. Zerriffi, & B. Milligan (2019)
6	Carmen Díaz-López, M. Carpio, M. Martín-Morales, M. Zamorano (2019)	23	Luis Miguel Fonseca, J. P. Domingues & A. M. Dima (2020)
7	Saleh H. Alyami, Yacine Rezgui (2012)	24	International Council for Science (2017)
8	Baohua Wen, S. N. Musa, C. C. Onn, S. Ramesh, L. Liang, W. Wang, K. Ma (2020)	25	David A. McDonald, T. Marois, S. Spronk (2020)
9	Petros Mouzourides, A. Kyprianou, Marina K.-A. Neophytou, J. Ching, R. Choudhary (2019)	26	Claudia W. Sadoff, E. Borgomeo & S. Uhlenbrook (2020)
10	Rami Alawneh, F. E. M. Ghazali, H. Ali, M. Asif (2018)	27	Gabriel Seidman (2017)
11	Valeria Annibaldi, F. Cucchiella, P. De Berrardinis; M. Gastaldi, M. Rotillo (2020)	28	Diane F. Frey (2017)
12	Antonio Marvuglia, L. Havinga, O. Heidrich, J. Fonseca, N. Gaitani, D. Reckien (2020)	29	Shirin M. Rai, B. D. Brown, K. N. Ruwanpura (2019)
13	Philippa Howden-Chapman José Siri Elinor Chisholm Ralph Chapman Christopher N.H. Doll Anthony Capon	30	Avik Sinha, T. Sengupta, R. Alvarado (2020)
14	Marianela Fader, C. Cranmer, R. Lawford, J. E. Cox (2018)	31	Petra Kynclova, S. Upadhyaya, T. Nice (2020)
15	Mark Brussel, M. Zuidgeest, K. Pfeffer. M. van Maarseveen (2019)	32	Anu Ramaswami (2020)
16	Jasper Cook, R. Petts, C. Visser, A. Yiu (2018)	33	Patrick Schöder, A. S. Antonarakis, J. Brauer, A. Conteh, R. Kohsaka, Y. Uchiyama & P. Pacheco (2019)
17	Rosa Maria Fernandez (2019)	34	Stefanie Chan, N. Weitz, A. Persson & C. Trimmer (2018)

Tabla 3. Bibliografía de la intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS de la tabla 4.

	Ambientales				Sociales				Económicas	Técnicas			
	Residuos	Recursos	Agua	Transporte	Energía	Bienestar Humano	Calidad de Vida	Equidad Social	Accesibilidad	Producción	Locales	Innovación	Durabilidad
<b>Bibliografía</b>													
3. Salud y Bienestar		24	17,18	16	1	1	1	13	1				27
6. Agua Potable y Saneamiento	25		2,14	16	10	2	2	25	25	25		26	
7. Energía Asequible y No Contaminante		14,24	10,14	16	2,5	2,5	2,5	2,5	5,23	5	19	5,23,19	14
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico				16	23,29	28	2	2,28,29	28,29	2		29	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	31	4,31	31	16	5,23,19	31	5	31	4		4,31	4,5	11
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	2,4,7	2,4,7	2,7,10	2,15,16	2,4,10	2,3	2,3	2,32	2,3		4,32		4
12. Producción y Consumo Responsable	34	11,33	7	16	5				34	34	11	34	
13. Acción por el Clima			22	16	22	3	3	3	21		21	21,23	21

Tabla 4. Intersección de pilares y subcategorías de sustentabilidad y ODS de acuerdo con la información bibliográfica.

En resumen:

1. Se analizan los pilares de la sustentabilidad propuestos por la literatura y se seleccionan los adecuados para realizar una evaluación dentro de los sustentables. Se definen los 4 pilares a utilizar.
2. Se identifican los ODS que tengan relación con la industria de la construcción y uso de edificaciones en las ciudades.
3. Por cada pilar utilizado se identifican subcategorías relevantes para medir el impacto de cada una.
4. Se buscan incidencias en la literatura de que existan correlaciones entre cada subcategoría y los ODS previamente definidos.
5. Si se encuentran correlaciones en una o más fuentes, se colorea una celda por cada interacción. Estos serán los valores denominados factores unitarios de adaptación (FU), los cuales tendrán valores de CO<sub>2</sub>.

6. Se suman las correlaciones y se dividen entre el número de correlaciones encontradas por cada ODS.
7. Para normalizar los valores, obteniendo algo entre 0.01 y 0.99, se divide cada uno entre la suma total. Estos serán los factores de impacto (i) los cuales provienen del peso de interacción por CO<sub>2</sub> de cada relación.
8. Se obtiene la función objetivo  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + \dots = X$ .

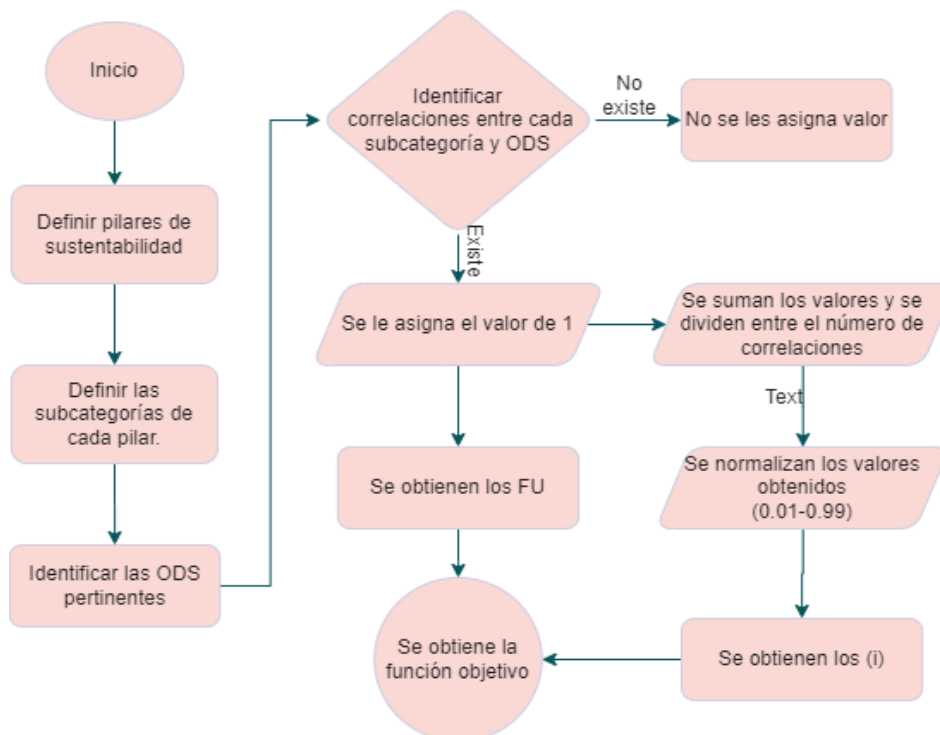


Figura 5. Diagrama de flujo de la obtención de la primera aproximación de la función objetivo.

## Función propuesta

Después de realizar las correlaciones entre los ODS y los pilares de sustentabilidad para este proyecto, podemos determinar los FU más relevantes a utilizar en la función objetivo y el impacto que cada uno tendrá sobre la generación de CO<sub>2</sub> de la edificación y decidir sobre las estrategias que reducen en mayor medida la generación de CO<sub>2</sub> de manera eficiente durante la adaptación de este.

La función a la que se ha llegado como primera aproximación, y la cual se va a usar durante este proyecto es:

$$FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$$

En conjunto con la tabla de correlaciones entre ODS y pilares de sustentabilidad se ha utilizado la función para evaluar la disminución de CO<sub>2</sub> durante la adaptación de un edificio, se realizan tres simulaciones con un escenario ficticio para analizar la mejor forma en la cual utilizar la metodología.

## Metodología

Se considera una tabla de correlaciones entre ODS y pilares simplificada, donde pueda corresponder un valor de CO<sub>2</sub> en el uso de un edificio por cada interacción y su correspondiente peso de acuerdo con el pilar.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría</b>								
3. Salud y Bienestar	X <sub>3</sub>	%	Y <sub>3</sub>	%	W <sub>3</sub>	%	Z <sub>3</sub>	%
6. Agua Potable y Saneamiento	X <sub>6</sub>	%	Y <sub>6</sub>	%	W <sub>6</sub>	%	Z <sub>6</sub>	%
7. Energía Asequible y No Contaminante	X <sub>7</sub>	%	Y <sub>7</sub>	%	W <sub>7</sub>	%	Z <sub>7</sub>	%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	X <sub>8</sub>	%	Y <sub>8</sub>	%	W <sub>8</sub>	%	Z <sub>8</sub>	%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	X <sub>9</sub>	%	Y <sub>9</sub>	%	W <sub>9</sub>	%	Z <sub>9</sub>	%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	X <sub>11</sub>	%	Y <sub>11</sub>	%	W <sub>11</sub>	%	Z <sub>11</sub>	%
12. Producción y Consumo Responsable	X <sub>12</sub>	%	Y <sub>12</sub>	%	W <sub>12</sub>	%	Z <sub>12</sub>	%
13. Acción por el Clima	X <sub>13</sub>	%	Y <sub>13</sub>	%	W <sub>13</sub>	%	Z <sub>13</sub>	%
Total parcial	X <sub>t</sub>	100%	Y <sub>t</sub>	100%	W <sub>t</sub>	100%	Z <sub>t</sub>	100%
Total final	T <sub>f</sub>				100%			
Función Objetivo	%		%		%		%	

Tabla 5. Correlaciones entre ODS y pilares simplificada.

El primer paso es identificar en la tabla de correlaciones el factor unitario de mayor peso para poder ubicarse en esa columna, en donde se identificará el valor de CO<sub>2</sub> más grande o el porcentaje de mayor peso para la columna. Para esto se utiliza la función de Excel de buscar el número de mayor valor. Asumiendo en la tabla 5. que el número encontrado de mayor valor es W<sub>7</sub> y por lo tanto es el primer valor de CO<sub>2</sub> a tratar.





CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría								
3. Salud y Bienestar	X <sub>3</sub>	%	Y <sub>3</sub>	%	W <sub>3</sub>	%	Z <sub>3</sub>	%
6. Agua Potable y Saneamiento	X <sub>6</sub>	%	Y <sub>6</sub>	%	W <sub>6</sub>	%	Z <sub>6</sub>	%
7. Energía Asequible y No Contaminante	X <sub>7</sub>	%	Y <sub>7</sub>	%	W <sub>7</sub>	%	Z <sub>7</sub>	%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	X <sub>8</sub>	%	Y <sub>8</sub>	%	W <sub>8</sub>	%	Z <sub>8</sub>	%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	X <sub>9</sub>	%	Y <sub>9</sub>	%	W <sub>9</sub>	%	Z <sub>9</sub>	%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	X <sub>11</sub>	%	Y <sub>11</sub>	%	W <sub>11</sub>	%	Z <sub>11</sub>	%
12. Producción y Consumo Responsable	X <sub>12</sub>	%	Y <sub>12</sub>	%	W <sub>12</sub>	%	Z <sub>12</sub>	%
13. Acción por el Clima	X <sub>13</sub>	%	Y <sub>13</sub>	%	W <sub>13</sub>	%	Z <sub>13</sub>	%
Total parcial	X <sub>t</sub>	100%	Y <sub>t</sub>	100%	W <sub>t</sub>	100%	Z <sub>t</sub>	100%
Total final	T <sub>f</sub>				100%			
Función Objetivo	%		%		%		%	

Tabla 6. Correlaciones entre ODS y pilares simplificada metodología.

Una vez identificado el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso, se disminuye el valor de CO<sub>2</sub> deseado. Esto se traduce a acciones que correspondan con el punto en el que se encuentra el valor de CO<sub>2</sub> con el que se está trabajando, que pueden resultar en un número n de acciones.

En otras palabras, primero se identifica la correlación con mayor peso, posteriormente se propondrían estrategias para disminuir el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso. La metodología busca que las acciones que se tomen creen un camino de reducción eficiente.

Acciones que pueden ser, por ejemplo:

- Optimización de materiales.
- Optimización de distancias donde se obtienen los materiales.
- Crear estrategias activas y pasivas para disminuir la demanda energética de la edificación.
- Utilizar productos de alta durabilidad.

- Compensación de la huella de carbono, acciones que se puedan justificar a largo plazo.
- Maximizar el uso de material reciclado o que sea reciclable en un futuro.
- Que los diseños del edificio puedan ser adaptables y flexibles.

En una aplicación real, se identifican las posibles acciones a llevar a cabo para disminuir la cantidad de CO<sub>2</sub>, se considera la cantidad ideal de CO<sub>2</sub> a disminuir obtenida con la función objetivo, y la cantidad real viable (que sea lo más cercana posible a la ideal).

Una vez hechos los cambios propuestos, se realiza nuevamente la evaluación y derivado de ésta, se espera obtener nuevos valores de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto, las nuevas FU y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla 6 se repite el paso 1, buscar de nuevo el valor de mayor peso, y se reduce para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a analizar.

De esta manera, se realiza una repetición de los pasos anteriores con el siguiente valor de mayor peso en CO<sub>2</sub> en la tabla, hasta que las acciones correspondientes que se puedan tomar ya no tengan un sentido viable, económico o de optimización.

Por lo tanto, los pasos a seguir en la metodología son:

1. Identificar en la tabla de correlaciones el FU de mayor peso. Colocarse en esa columna, en donde se toma el valor de CO<sub>2</sub> más grande o el porcentaje de mayor peso para la columna.
2. Una vez identificado el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso, se disminuye el valor de CO<sub>2</sub> deseado. Puede ser un valor aleatorio o de preferencia un valor obtenido utilizando la función objetivo (FMA).
3. Se obtiene un nuevo FU de menor peso.
4. Se repite el proceso hasta obtener la reducción de CO<sub>2</sub>.

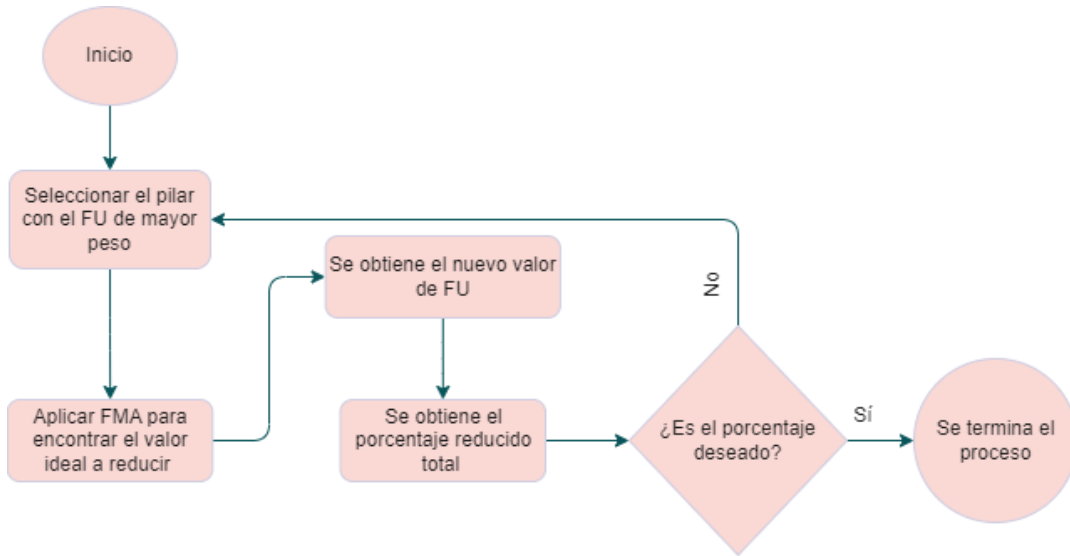


Figura 6. Diagrama de flujo del uso de la metodología.

## Capítulo 3: Resultados

### Simulaciones de un escenario ficticio

Se propuso un escenario ficticio para simular de maneras diferentes la metodología propuesta para la disminución de CO<sub>2</sub> en la adaptación de un edificio, uno sin utilizar la función propuesta usando valores aleatorios para implementar como punto de control, y los otros dos escenarios usando de dos formas distintas el resultado de la función propuesta para visualizar el porcentaje de disminución de CO<sub>2</sub> del escenario. Para realizar esto, se generaron en Excel números aleatorios para representar valores ficticios de CO<sub>2</sub> para el escenario y una versión condensada de la tabla de correlaciones de ODS y pilares de la sustentabilidad para poder manipular los datos con menores variables y realizar un análisis de la mejor manera de utilizar esta primera aproximación a la metodología.

#### Escenario 1

Durante el primer escenario se proponen valores aleatorios para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub>, sin tomar mayores consideraciones para poder utilizarlo como control y realizar una comparación con el uso de la función propuesta en los otros dos escenarios ficticios.

1. El primer paso es identificar en la tabla de correlaciones la función objetivo de mayor peso para poder colocarnos en esa columna, en donde se identificará el valor de CO<sub>2</sub> más grande o el porcentaje de mayor peso para la columna.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría</b>								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	6%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	17%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	19%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	3%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	15%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	261	20%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	13%	295	32%
Total parcial	916	100%	1085	100%	1290	100%	919	100%
Total final	4210				100%			
Función Objetivo	22%		26%		31%		22%	

Tabla 7. Escenario 1 de CO<sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación.

- Una vez identificado el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso, destacado en amarillo, se genera un valor aleatorio en Excel, que será el valor por disminuir para este primer escenario, en este caso se disminuye 2/3 partes del valor inicial.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría</b>								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	8%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	7%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	20%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	22%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	4%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	17%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	87	8%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	15%	295	32%
Total parcial	916	100%	1085	100%	1116	100%	919	100%
Total final	4036				100%			
Función Objetivo	23%		27%		28%		23%	

Tabla 8. Escenario 1 de CO<sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, primera iteración.

- Ya que se obtuvo el nuevo valor de CO<sub>2</sub>, y, por lo tanto, las nuevas funciones objetivo y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla se repite el paso 1, buscar de nuevo el valor de mayor peso, que marcamos en amarillo

también, y lo reducimos de nuevo con un valor aleatorio, 4/5 del valor de CO<sub>2</sub>, para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría</b>								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	9%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	9%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	24%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	48	5%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	4%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	21%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	87	9%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	18%	295	32%
Total parcial	916	100%	1085	100%	924	100%	919	100%
Total final	3844				100%			
Función Objetivo	24%		28%		24%		24%	

Tabla 9. Escenario 1 de CO<sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, segunda iteración.

4. De esta manera se repiten los pasos anteriores con el siguiente valor de mayor peso en CO<sub>2</sub> en la tabla, marcado en amarillo, y se reduce con un valor aleatorio, 2/3 del valor de CO<sub>2</sub>, para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a tratar, que están marcados en números rojos. Para este escenario particular esta es la última iteración.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por categoría</b>								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	9%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	5%	82	9%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	24%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	19%	48	5%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	30%	41	4%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	8%	193	21%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	99.67	11%	87	9%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	24%	165	18%	295	32%
Total parcial	916	100%	885.6667	100%	924	100%	919	100%
Total final	3644.67				100%			
Función Objetivo	25%		24%		25%		25%	

Tabla 10. Escenario 1 de CO<sub>2</sub> para la simulación sin la ecuación, iteración final.

Con esta simulación obtuvimos en 3 pasos un 13% de disminución de CO<sub>2</sub>. Se encontró que, siguiendo los valores de la tabla, encontrar la función objetivo de mayor peso y centrarnos en esa columna, podemos guiarnos por esta hacia los valores con más peso, y, una vez modificados, buscar el siguiente valor a considerar, tomando en cuenta que la forma en la que los valores de CO<sub>2</sub> se disminuyeron fue de forma aleatoria, por lo tanto, no fue el valor ideal de CO<sub>2</sub> a disminuir, pero funciona como una prueba de control.

## Escenario 2

Para este escenario se reduce el valor de CO<sub>2</sub> usando la tabla de la misma manera que en el escenario anterior pero la cantidad que se va a disminuir será en base a la ecuación:  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$ , en donde x es el valor que se debe reducir de CO<sub>2</sub>.

1. El primer paso es identificar en la tabla de correlaciones la función objetivo de mayor peso para poder colocarnos en esa columna, en donde se identificará el valor de CO<sub>2</sub> más grande o el porcentaje de mayor peso para la columna.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	$FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	6%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	17%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	19%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	3%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	15%	211	23%	198.32
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	261	20%	135	15%	
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	13%	295	32%	
Total parcial	916	100%	1085	100%	1290	100%	919	100%	
Total final	4210				100%				
Función Objetivo	22%		26%		31%		22%		

Tabla 11. Escenario 2 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación.

2. Una vez identificado el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso, destacado en amarillo, se sustituyen los valores de la columna en la ecuación de la siguiente manera:

$$(84)(0.07)+(82)(0.06)+(224)(0.17)+(240)(0.19)+(41)(0.03)+(193)(0.15)+(261)(0.20)+(165)(0.13)=198.32, \text{ valor de CO}_2, \text{ el cual se va a disminuir.}$$

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	
FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3 + (FU4) i4 + (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7 + (FU8) i8 = x									
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	8%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	8%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	21%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	22%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	4%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	18%	211	23%	
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	62.68	6%	135	15%	221.29
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	15%	295	32%	
Total parcial	916	100%	1085	100%	1091.681	100%	919	100%	
Total final	4011.68062								100%
Función Objetivo	23%		27%		27%		23%		

Tabla 12. Escenario 2 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, primera iteración.

3. Ya que se ha obtenido el nuevo valor de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto los nuevos FU y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla se repite el paso 1, buscar de nuevo el valor de mayor peso, que se marca en amarillo también, y se reduce de acuerdo al valor obtenido de la ecuación: (20)(0.02)+(45)(0.04)+(10)(0.01)+(165)(0.15)+(269)(0.25)+(67)(0.06)+(299)(0.28)+(210)(0.19)=221.29, para obtener y buscar el siguiente set de valores.



	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	8%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	5%	82	8%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	21%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	19%	240	22%	5	1%	175.55
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	31%	41	4%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	8%	193	18%	211	23%	
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	77.71	9%	62.68	6%	135	15%	
13. Acción por el Clima	134	15%	210	24%	165	15%	295	32%	
Total parcial	916	100%	863.7	100%	1091.6	100%	919	100%	
Total final	3790.389376				100%				
Función Objetivo	24%		23%		29%		24%		

Tabla 13. Escenario 2 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, segunda iteración.

4. De esta manera se repiten los pasos anteriores con el siguiente valor de mayor peso en CO<sub>2</sub> en la tabla, marcado en amarillo, y se reduce de acuerdo con el siguiente valor de CO<sub>2</sub> obtenido usando la ecuación:  $(84)(0.08)+(82)(0.08)+(224)(0.21)+(240)(0.22)+(41)(0.04)+(193)(0.18)+(62.68)(0.06)+(165)(0.15)=175.55$  para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a atacar, que marcamos en números rojos. Para el segundo escenario terminamos la simulación con esta iteración.

Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i <sub>1</sub> + (FU2) i <sub>2</sub> + (FU3) i <sub>3</sub> + (FU4) i <sub>4</sub> + (FU5) i <sub>5</sub> + (FU6) i <sub>6</sub> + (FU7) i <sub>7</sub> + (FU8) i <sub>8</sub> = x	

CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	9%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	5%	82	9%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	24%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	19%	64.45	7%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	31%	41	4%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	8%	193	21%	211	23%	
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	77.71	9%	62.68	7%	135	15%	
13. Acción por el Clima	134	15%	210	24%	165	18%	295	32%	
Total parcial	916	100%	863.71	100%	916.13	100%	919	100%	
Total final	3615				100%				
Función Objetivo	25%		24%		25%		25%		

Tabla 14. Escenario 2 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, última iteración.

Con esta simulación se obtiene en 3 pasos un 14% de disminución de CO<sub>2</sub>. Aprendiendo que, analizando los valores de la tabla, desde encontrar el FU de mayor peso, centrándose en esa columna y buscar el valor de CO<sub>2</sub> de mayor peso se ha observado que la tabla puede guiarnos hacia los valores con más peso y una vez modificados, el siguiente valor a considerar, e incluyendo el uso de la ecuación para obtener el valor óptimo de CO<sub>2</sub> a disminuir es posible incrementar el porcentaje de reducción de CO<sub>2</sub> en la misma cantidad de pasos.

### Escenario 3

Para este escenario se reduce el valor de CO<sub>2</sub> usando la tabla de la misma manera que en el escenario anterior, sin embargo la cantidad a disminuir será en base a la ecuación:  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$ , en donde y-x es el valor que se debe reducir de CO<sub>2</sub>, y siendo el valor de CO<sub>2</sub> de mayor peso.

1. El primer paso es identificar en la tabla de correlaciones el FU de mayor peso para poder colocarse en esa columna, en donde se identificará el valor de CO<sub>2</sub> más grande o el porcentaje de mayor peso para la columna.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	
$FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3 + (FU4) i4 + (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7 + (FU8) i8 = x$									
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	6%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	17%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	19%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	3%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	15%	211	23%	198.32
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	261	20%	135	15%	
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	13%	295	32%	
Total parcial	916	100%	1085	100%	1290	100%	919	100%	
Total final	4210				100%				
Función Objetivo	22%		26%		31%		22%		

Tabla 15. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación.

2. Una vez identificado el valor de CO<sub>2</sub> con mayor peso, destacado en amarillo, se sustituyen los valores de la columna en la ecuación de la siguiente manera:

$(84)(0.07)+(82)(0.06)+(224)(0.17)+(240)(0.19)+(41)(0.03)+(193)(0.15)+(261)(0.20)+(165)(0.13)=198.32$ , y esta vez se resta el valor de mayor peso, 261, menos el valor obtenido de la ecuación:  $261-198.32=62.68$  que es el valor de CO<sub>2</sub> que se disminuye.

Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+ (FU8) i8 = x	

CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	7%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	18%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	240	20%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	3%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	16%	211	23%	
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	198.32	16%	135	15%	184.99
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	13%	295	32%	
Total parcial	916	100%	1085	100%	1227.319	100%	919	100%	
Total final	4147.31938				100%				
Función Objetivo	22%		26%		30%		22%		

Tabla 16. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, primera iteración.

3. Ya que se ha obtenido el nuevo valor de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto los nuevos FU y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla, se repite el paso 1, buscar nuevamente el valor de mayor peso, que se ha marcado en amarillo también, y se reduce de acuerdo al valor obtenido de la ecuación:  $(84)(0.07)+(82)(0.07)+(224)(0.18)+(240)(0.20)+(41)(0.03)+(193)(0.16)+(198.32)(0.16)+(165)(0.13)=184.98$  y de nuevo se resta para obtener el valor a reducir:  $240-184.98=55.02$ , para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a tratar.

Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	

$$FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3 + (FU4) i4 + (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7 + (FU8) i8 = x$$

CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	7%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	224	19%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	184.99	16%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	3%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	16%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299	28%	198.32	17%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	14%	295	32%
Total parcial	916	100%	1085	100%	1172.309	100%	919	100%
Total final	4092.309188				100%			
Función Objetivo	22%		27%		29%		22%	

173.73

Tabla 17. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, segunda iteración.

4. Una vez que se ha obtenido el nuevo valor de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto los nuevos valores de FU y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla, se repite el paso 1, buscar nuevamente el valor de mayor peso, que se ha marcado en amarillo también, y se reduce de acuerdo al valor obtenido de la ecuación:  $(84)(0.07)+(82)(0.07)+(224)(0.19)+(184.99)(0.16)+(41)(0.03)+(193)(0.16)+(198.32)(0.17)+(165)(0.14)=173.73$  y de nuevo se resta para obtener el valor a reducir:  $224-173.73=50.27$ , para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a atacar.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+ (FU8) i8 = x	
<b>CO<sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría</b>										
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	7%	61	7%		
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	7%	14	2%		
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	173.73	15%	156	17%		
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	184.99	16%	5	1%		163.69
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	4%	42	5%		
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	17%	211	23%		
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299.00	28%	198.32	18%	135	15%		
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	15%	295	32%		
Total parcial	916	100%	1085	100%	1122.037	100%	919	100%		
Total final	4042.04				100%					
Función Objetivo	23%		27%		28%		23%			

Tabla 18. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, tercera iteración.

5. Con el nuevo valor de CO<sub>2</sub>, y los nuevos valores de FU y pesos porcentuales de CO<sub>2</sub> por sección en la tabla, se repite el paso 1, buscar de nuevo el valor de mayor peso, que esta vez se marca en rojo ya que es un valor que se había tratado con anterioridad, y se reduce nuevamente de acuerdo al valor obtenido de la ecuación:  $(84)(0.07)+(82)(0.07)+(173.73)(0.15)+(184.99)(0.16)+(41)(0.04)+(193)(0.17)+(198.32)(0.18)+(165)(0.15)=163.70$  y se resta para obtener el valor a reducir:  $198.32-163.70=34.62$ , para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a tratar.

Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+ (FU8) i8 = x	

CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría									
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	8%	61	7%	
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	8%	14	2%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	173.73	16%	156	17%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	15%	184.99	17%	5	1%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	25%	41	4%	42	5%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	6%	193	18%	211	23%	
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	299.00	28%	163.69	15%	135	15%	221.29
13. Acción por el Clima	134	15%	210	19%	165	15%	295	32%	
Total parcial	916	100%	1085	100%	1087.409	100%	919	100%	
Total final	4007.41				99%				
Función Objetivo	23%		27%		27%		23%		

Tabla 19. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, cuarta iteración.

6. De esta manera se repiten los pasos anteriores con el siguiente valor de mayor peso en CO<sub>2</sub> en la tabla, marcado en amarillo, y se reduce de acuerdo con el siguiente valor de CO<sub>2</sub> que obtengamos usando la ecuación:  $(20)(0.02)+(45)(0.04)+(10)(0.01)+(165)(0.15)+(269)(0.25)+(67)(0.06)+(299)(0.28)+(210)(0.19)=221.29$  y se resta para obtener el valor a reducir:  $299-221.29=77.71$ , para obtener el siguiente set de valores y buscar el siguiente punto a atacar, que se ha marcado en números rojos. Esta es la última iteración que se realiza con el tercer escenario.

Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación
Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+ (FU8) i8 = x

CO <sub>2</sub> asociado en edificaciones por subcategoría								
3. Salud y Bienestar	93	10%	20	2%	84	8%	61	7%
6. Agua Potable y Saneamiento	59	6%	45	4%	82	8%	14	2%
7. Energía Asequible y No Contaminante	17	2%	10	1%	173.73	16%	156	17%
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	260	28%	165	16%	184.99	17%	5	1%
9. Industria, Innovación e Infraestructura	126	14%	269	27%	41	4%	42	5%
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	34	4%	67	7%	193	18%	211	23%
12. Producción y Consumo Responsable	193	21%	221.29	22%	163.69	15%	135	15%
13. Acción por el Clima	134	15%	210	21%	165	15%	295	32%
Total parcial	916	100%	1007.291	100%	1087.409	100%	919	100%
Total final	3929.70				97%			
Función Objetivo	23%		25%		27%		23%	

Tabla 20. Escenario 3 de CO<sub>2</sub> para la simulación con la ecuación, última iteración.

Durante esta simulación se obtuvo una reducción de CO<sub>2</sub> del 7% en 4 pasos. Siguiendo los valores de la tabla, desde encontrar la función objetivo de mayor peso, centrarse en esa columna y buscar el valor de CO<sub>2</sub> de mayor peso se ha notado reiteradamente que la tabla puede guiarnos hacia los valores con más peso y una vez modificados, el siguiente valor a considerar, pero esta vez el uso de la función para obtener el valor de CO<sub>2</sub> nos indicó el valor mínimo a disminuir para seguir moviéndose a través de la tabla para tratar las razones de generación de CO<sub>2</sub>.



## Validación de la metodología

Para este trabajo se realizaron dos formas de validación de resultados, uno mediante la repetición de la metodología para asegurar que el comportamiento fuera el mismo sin importar los datos que se introdujeran en la simulación. Y, en el segundo, ya que es una metodología enteramente basada en un estudio de la literatura actual del tema, se realizó una exploración a profundidad de diferentes estudios para corroborar el estado de la literatura y las propuestas actuales.

### Repetición de la metodología

Para corroborar que el comportamiento de la metodología sea consistente en diferentes simulaciones de los tres escenarios previamente explorados para la disminución de CO<sub>2</sub> en la adaptación de un edificio y de esta forma validar los resultados obtenidos en este trabajo, para lograrlo se generaron 10 sets de números aleatorios en Excel para repetir la simulación de los escenarios, se utilizó de la misma forma una versión condensada de la tabla de correlaciones de ODS y pilares de la sustentabilidad para poder manipular los datos en Excel y realizar un análisis de que la manera más eficiente de utilizar esta primera aproximación para que los resultados obtenidos de la metodología sea consistente.

En el escenario 1 no se utiliza la función propuesta, y en los escenarios 2 y 3 se utiliza de dos formas distintas el resultado obtenido de la ecuación propuesta para visualizar el porcentaje de disminución de CO<sub>2</sub> de cada escenario. Se estandariza a obtener el porcentaje de disminución de CO<sub>2</sub> después de cuatro pasos en todos los escenarios de cada simulación, para poder hacer un comparativo y así obtener conclusiones básicas de la metodología.

Se puede observar que en el segundo escenario donde se reduce el CO<sub>2</sub> en base a la función:  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$ , en donde z-x es el valor que se debe reducir de CO<sub>2</sub> en 4 pasos en promedio se disminuye el 15.72%. Como se puede ver en los ejemplos del escenario 2 en la Figura 9, sin importar las veces en las que se repita la simulación es el escenario con mayor disminución de CO<sub>2</sub>.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%		
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>										
3. Salud y Bienestar	4	0%	286	20%	148	10%	374	21%	FMA = (FU1) 11 + (FU2) 12 + (FU3) 13+ (FU4) 14+ (FU5) 15 + (FU6) 16 + (FU7) 17+ (FU8) 18 = x	
5. Agua Potable y Saneamiento	222	13%	163	11%	233	16%	90	5%		
7. Energía Asequible y No Contaminante	332	19%	110	8%	257	17%	150	8%		
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	192	11%	105	7%	188	13%	463	26%		
9. Industria, Innovación e Infraestructura	468	27%	198	14%	100	7%	49	3%		
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	235	14%	164	11%	269	18%	63	3%		
12. Producción y Consumo Responsable	133	8%	272	19%	97	7%	299	17%		
13. Acción por el Clima	128	7%	131	9%	180	12%	317	18%		
Total parcial	1714	100%	1429	100%	1472	100%	1805	100%		
Total final	6420		100%		100%		100%			
Función Objetivo	27%		22%		23%		28%			
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>										
3. Salud y Bienestar	4	0%	286	20%	148	12%	374	31%		FMA = (FU1) 11 + (FU2) 12 + (FU3) 13+ (FU4) 14+ (FU5) 15 + (FU6) 16 + (FU7) 17+ (FU8) 18 = x
6. Agua Potable y Saneamiento	222	16%	163	11%	233	18%	90	7%		
7. Energía Asequible y No Contaminante	332	23%	110	8%	257	20%	150	12%		
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	192	14%	105	7%	188	15%	141.06	12%		
9. Industria, Innovación e Infraestructura	173.54	12%	198	14%	100	8%	49	4%		
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	235	17%	164	11%	64	5%	63	5%		
12. Producción y Consumo Responsable	133	9%	272	19%	97	8%	299	24%		
13. Acción por el Clima	128	9%	131	9%	180	14%	56.30	5%		
Total parcial	1419.537	100%	1429	100%	1267.002	100%	1222.358	100%		
Total final	5337.90		100%		100%		100%			
Función Objetivo	27%		27%		24%		23%			

Figura 7. Ejemplo del escenario 2.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		Ecuación	
	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%		
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>										
3. Salud y Bienestar	269	13%	432	16%	40	2%	176	7%	FMA = (FU1) 11 + (FU2) 12 + (FU3) 13+ (FU4) 14+ (FU5) 15 + (FU6) 16 + (FU7) 17+ (FU8) 18 = x	
6. Agua Potable y Saneamiento	365	17%	473	18%	180	11%	284	11%		
7. Energía Asequible y No Contaminante	278	13%	455	17%	359	22%	416	16%		
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	113	5%	124	5%	15	1%	74	3%		
9. Industria, Innovación e Infraestructura	440	21%	250	9%	93	6%	447	17%		
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	18	1%	479	18%	487	30%	473	18%		
12. Producción y Consumo Responsable	444	21%	248	9%	281	17%	393	15%		
13. Acción por el Clima	185	9%	217	8%	180	11%	296	12%		
Total parcial	2112	100%	2678	100%	1635	100%	2559	100%		
Total final	8984		100%		100%		100%			
Función Objetivo	24%		30%		18%		28%			
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>										
3. Salud y Bienestar	269	13%	432	22%	40	2%	176	10%		FMA = (FU1) 11 + (FU2) 12 + (FU3) 13+ (FU4) 14+ (FU5) 15 + (FU6) 16 + (FU7) 17+ (FU8) 18 = x
6. Agua Potable y Saneamiento	365	17%	473	24%	180	11%	284	15%		
7. Energía Asequible y No Contaminante	278	13%	100.52	5%	359	22%	76.52	4%		
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	113	5%	124	6%	15	1%	74	4%		
9. Industria, Innovación e Infraestructura	440	21%	250	13%	93	6%	447	24%		
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	18	1%	93.16	5%	487	30%	99.51	5%		
12. Producción y Consumo Responsable	444	21%	248	13%	281	17%	393	21%		
13. Acción por el Clima	185	9%	217	11%	180	11%	296	16%		
Total parcial	2112	100%	1927.676	100%	1635	100%	1846.026	100%		
Total final	7530.70		100%		100%		100%			
Función Objetivo	26%		26%		22%		25%			

Figura 8. Ejemplo del escenario 2.

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		
	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	Total Parcial (Gt)	%	
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	265	17%	260	11%	189	7%	453	17%	
6. Agua Potable y Saneamiento	139	9%	423	17%	456	17%	318	12%	
7. Energía Asequible y No Contaminante	220	14%	297	12%	378	14%	384	15%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	82	5%	299	12%	282	11%	179	7%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	329	21%	4	0%	475	18%	307	12%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	389	25%	443	18%	188	7%	462	18%	
12. Producción y Consumo Responsable	9	1%	478	20%	422	16%	91	3%	
13. Acción por el Clima	109	7%	243	10%	223	9%	443	17%	
Total parcial	1542	100%	2447	100%	2613	100%	2637	100%	
Total final			9239				100%		
Función Objetivo	17%		26%		28%		29%		

	Ambientales		Sociales		Económicas		Técnicas		ecuacion
	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	Total Parcial	%	FMA = (FU1) i1 + (FU2) i2 + (FU3) i3+ (FU4) i4+ (FU5) i5 + (FU6) i6 + (FU7) i7+ (FU8) i8 = x
<b>CO2 asociado en edificaciones por subcategoría</b>									
3. Salud y Bienestar	265	17%	260	11%	189	8%	363.37	15%	
6. Agua Potable y Saneamiento	139	9%	423	17%	344.63	14%	318	13%	309.01
7. Energía Asequible y No Contaminante	220	14%	297	12%	378	15%	384	16%	
8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico	82	5%	299	12%	282	11%	179	7%	
9. Industria, Innovación e Infraestructura	329	21%	4	0%	365.42	15%	307	12%	
11. Ciudades y Comunidades Sustentables	389	25%	443	18%	188	8%	378.48	15%	
12. Producción y Consumo Responsable	9	1%	478	20%	422	17%	91	4%	
13. Acción por el Clima	109	7%	243	10%	223	9%	443	18%	
Total parcial	1542	100%	2447	100%	2392.052	96%	2463.85	100%	
Total final			8844.90				100%		
Función Objetivo	17%		28%		27%		28%		

Figura 9. Ejemplo del escenario 2.

En el escenario 3, donde se reduce el CO<sub>2</sub> en base a la función objetivo:  $FMA = (FU_1) i_1 + (FU_2) i_2 + (FU_3) i_3 + (FU_4) i_4 + (FU_5) i_5 + (FU_6) i_6 + (FU_7) i_7 + (FU_8) i_8 = x$ , en donde x es el valor que se debe reducir de CO<sub>2</sub>, de igual manera en 4 pasos para poder compararlo con los otros escenarios, en promedio se disminuye el 6.24%, con la repetición de las simulaciones es posible concluir que usando de esta forma la función, se obtiene un valor ideal mínimo de reducción de CO<sub>2</sub>.

A comparación del escenario 1, en donde se reduce en cada paso de forma aleatoria un porcentaje del valor a disminuir sin utilizar la función, y se obtiene en 4 pasos valores de reducción que van desde el 4% hasta el 17%, de esta forma no se puede utilizar la tabla para tomar decisiones de modificaciones de la forma más eficiente pues no es posible prever el porcentaje de disminución de CO<sub>2</sub>.

### Comparación multicriterio de la literatura

En la literatura se carece de una metodología para medir el impacto de los ODS en edificios, pero existen varias propuestas para incorporarlos a diferentes enfoques para la evaluación energética y ambiental de edificios alrededor del mundo. Por lo tanto, para la validación de resultados obtenidos es necesario explorar diferentes criterios utilizados en las propuestas actuales para la modificación de edificios, y, por lo tanto, comparar métodos adecuados para edificios sustentables y observar

las consideraciones utilizadas y cómo se comparan con la metodología propuesta en este trabajo. Se ha hecho una comparación de los métodos usados o propuestos como parte de una metodología más amplia en su propuesta, así como los criterios adicionales, como 'formalización', 'disponibilidad de datos', 'medición de CO<sub>2</sub>', etc. Usando estos criterios, comparamos 6 propuestas para el estudio de impacto de edificios y modificación de edificaciones sustentables en la tabla 22. La comparación basada en criterios lleva a la conclusión de que, al tener tan pocos años el concepto de los Objetivos de Desarrollo Sustentable, su incorporación o consideración en diferentes aspectos es sumamente nueva, por lo tanto, no hay un consenso de cómo y con qué criterios medirlos. Además, existe mucha disparidad en cuanto a lo esperado de un estudio de sustentabilidad en edificaciones. Sin embargo, para examinar los impactos ambientales multidimensionales en casos específicos, se debe realizar una evaluación exhaustiva del ciclo de vida. Durante la evaluación, la comparación destaca las dificultades de realizar estudios basados en todos los pilares de la sustentabilidad, además del impacto económico que tiene cualquier decisión de modificación. Aunque el método de comparación basado en criterios es, en sí mismo, una compensación entre la exhaustividad y la mensurabilidad de los criterios, se recomienda su uso para proporcionar una base de decisión más confiable para seguir explorando e innovando en metodologías de cambio para incrementar la eficiencia energética.

La identificación de potenciales de optimización energética y ambiental requiere el análisis y evaluación sistemáticos de procesos y productos utilizando métodos apropiados. Los métodos varían en su idoneidad para la evaluación de edificaciones, ya que es un tema sumamente complejo, desde su planeación, diferentes usos, mantenimiento y fin de su vida útil. Por lo tanto, deben clasificarse, compararse y seleccionarse los criterios adecuados para el enfoque particular de un estudio y, conforme sea necesario, ampliarse o combinarse.

	Alawneh, R., Mohamed Ghazali, F. E., Ali, H., & Asif, M. (2018)	Annibaldi, V., Cucchiella, F., De Berardinis, P., Gastaldi, M., & Rotilio, M. (2020)	Wei Feng, Q., Zhang, H. Ji, R., Wang, N., Zhou, Q., Ye, B., Hao, Y. Li, D. Luo, S. S. Y. Lau (2019)	Díaz-López, C., Carpio, M., Martín-Morales, M., & Zamorano, M. (2019)	Foggia, G. D. (2016)	Aashish Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree, Varun (2011)
Metodologías Usadas	Análisis de Materiales		x		x	
	Análisis de Energía	x	x	x		
	LEED	x		x	x	
	Inventario de Ciclo de Vida		x			x
	Análisis de Ciclo de vida				x	x
	Huella de Carbono	x			x	
Huella de Agua	x					
Criterios	Disponibilidad de Datos		x		x	x
	Medición del CO2					x
	Propuestas para medir el cumplimiento de ODS	x	x			x
	Existencia de indicadores	x			x	
	Pensamiento de Ciclo de Vida		x		x	x
	Eficiencia Energética	x		x	x	
	Formalización	x				x
	Entorno Construido	x	x	x		
	Impacto económico		x		x	x
	Impacto social	x	x		x	
	Gobernanza			x		x
Localización Geográfica	x	x	x			

Tabla 21. Método de comparación de criterios.

Este trabajo propone una comparación basada en criterios para la selección sistemática de uno o más métodos para el estudio, análisis y evaluación para la modificación sustentable de edificaciones. Ningún estudio cumple todos los criterios, aunque todos los artículos examinados exploran las mejores propuestas y métodos que se pueden aplicar a las edificaciones.

## Caso de Estudio: Acondicionamiento de un Edificio

En décadas recientes, las ciudades medias en México han experimentado un crecimiento urbano significativo. Sin embargo, se ha generado una expansión urbana desordenada, y las políticas de vivienda han impactado al medio ambiente, ya que las edificaciones construidas forman parte de un traslape de redes naturales, artificiales y culturales, las cuales, según su planeación, ejecución y funcionamiento, demandan gran variedad y cantidad de recursos, muchos de ellos siendo no renovables, dándole poca importancia a la sustentabilidad y eficiencia energética apropiadas en el ámbito de la vivienda y de la construcción.

Además, el stock actual de vivienda, así como las viviendas de nueva construcción, tendrán que enfrentar temperaturas ambiente cada vez más altas, debido al calentamiento global producto del cambio climático (se considera un ciclo de vida mínimo de 70 años para vivienda). Este escenario presenta el reto de diseñar y construir para resistir y/o adaptarse al cambio climático.

Como caso de estudio para este proyecto, y para realizar el análisis de ciclo de vida, se toma un prototipo de vivienda vertical a pequeña escala (únicamente 4 niveles) cada departamento de 80m<sup>2</sup> de piso aproximadamente (Hernández E. H., 2018). Esta estructura, hipotéticamente hablando, hace uso de la infraestructura y servicios urbanos existentes sin sobrecargar la capacidad de estos, esto se debe a la disponibilidad aleatoria de tales vacíos dentro de la mancha urbana. Es importante señalar que el prototipo ha sido diseñado en un lote 'ideal' con una orientación sur en su fachada principal para efectos de bioclimatización y simulación energética. Los departamentos fueron dimensionados siguiendo la normatividad de accesibilidad, especialmente en planta baja, teniendo en mente que pueden existir usuarios con discapacidad motriz, o adultos mayores que probablemente requieran adaptar su vivienda acorde a los cambios en su motricidad.

Para este proyecto se considera únicamente la fase de uso y mantenimiento para realizar el análisis de ciclo de vida (ACV) base, y la unidad funcional está definida en cuanto al espacio que es útil para realizar la función y poder ser comparable con otros trabajos y sencilla de utilizar, esta es: m<sup>2</sup> de superficie útil (construida), considerando el promedio de vida útil de una casa a 70 años.

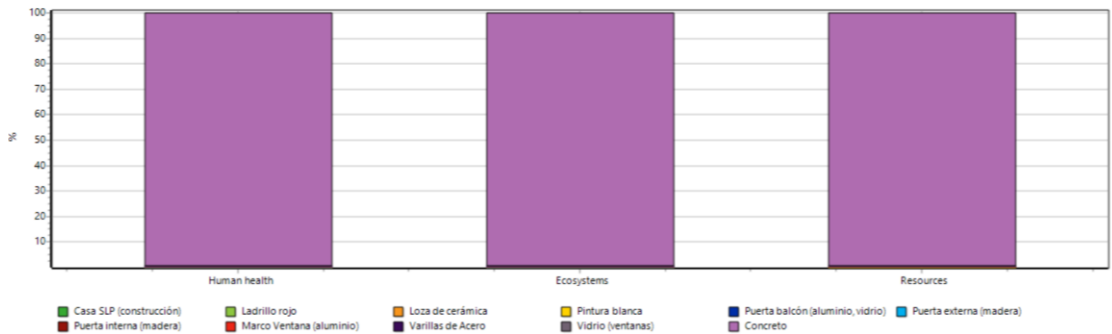


Figura 10. Factores de impacto de la construcción del caso de estudio.

Se puede observar en la figura 2 que el material de mayor impacto es el concreto, el cual produce aproximadamente entre 5 y 13% de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup>. Y, en el caso de la construcción de la edificación del caso de estudio, se utilizaron 20 toneladas de concreto, dando como resultado 1600 kg de CO<sub>2</sub>. Estos resultados opacan el impacto que tienen el resto de los materiales en cualquiera de las categorías de impacto que se observan en la gráfica.

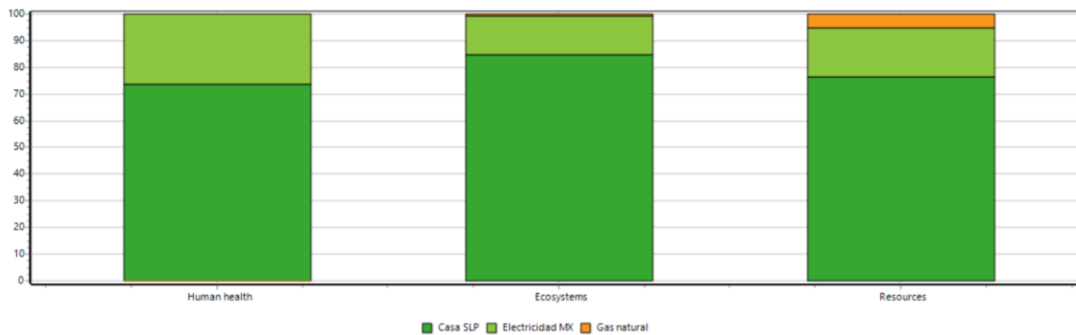


Figura 11. Factores de impacto de la construcción y uso de energéticos del caso de estudio.

Si consideramos también el uso de electricidad y gas que tres personas que habitan cada uno de los departamentos utilizan, como podemos observar en la figura 3, podemos darnos cuenta de que, de todos los componentes que forman la edificación, el único que tiene un impacto casi comparable con el del concreto es la electricidad.

## Capítulo 4: Conclusiones

Dentro de las conclusiones que más se reflejaron durante este proyecto, fue la importancia del rol de los edificios en las ciudades para satisfacer las necesidades de su población, entre ellas el uso de energía. Se pueden realizar diversas adaptaciones y modificaciones en los edificios y mejorar su eficiencia energética o disminuir su huella de carbono, pero mientras estos edificios permanezcan igual, sin cambios que los hagan más eficientes y sustentables, su impacto seguirá siendo negativo.

Existen diversas áreas de oportunidad al momento de adaptar un edificio, especialmente si son edificios viejos o considerados históricos, ya que existen reglamentos que regulan y limitan sus adaptaciones o el tipo de materiales que pueden utilizarse en estos. Por lo tanto, se debe considerar que cada edificio, sin importar su edad o si es histórico, debe pensarse como un caso único y saber que no se encontrará una sola solución efectiva, más bien un conjunto de soluciones únicas para cada caso, desde cambiar de dónde vienen los materiales, el tipo de materiales, formas pasivas para enfriar o calentar el edificio e incluir autogeneración de energía, etc.; se debe hacer el análisis adecuado, teniendo en mente el uso que tiene el edificio, el costo económico y el impacto ambiental para tomar las decisiones adecuadas y saber que se puede realizar años después otra iteración para volver a adaptar el edificio e ir mejorando conforme se requieran mantenimientos, la tecnología avance o cambie el uso del edificio.

Los edificios son los intermediarios entre el usuario y los servicios, como la red eléctrica, como tal pueden ser adaptados y moldeados para acomodar las necesidades y deseos del usuario, así como utilizar de manera más eficiente la energía. Son espacios en los cuales el usuario quiere o necesita pasar mayor tiempo y de mejor calidad, por lo tanto, se requieren formas nuevas, en algunos casos complejas e innovadoras, para generar energía o usar de manera más eficiente la que se tiene. Los edificios con esta visión, desde edificios sustentables, verdes, inteligentes o de carbón cero, deben ser desde su concepción flexibles. Además, es importante siempre tener en cuenta que los edificios tienen impactos económicos en lo micro, como renta, mantenimiento, aplicaciones que el usuario paga, etc. y en



lo macro, como mejora al urbanismo, crecimiento económico, movimiento social, inversiones, etc.

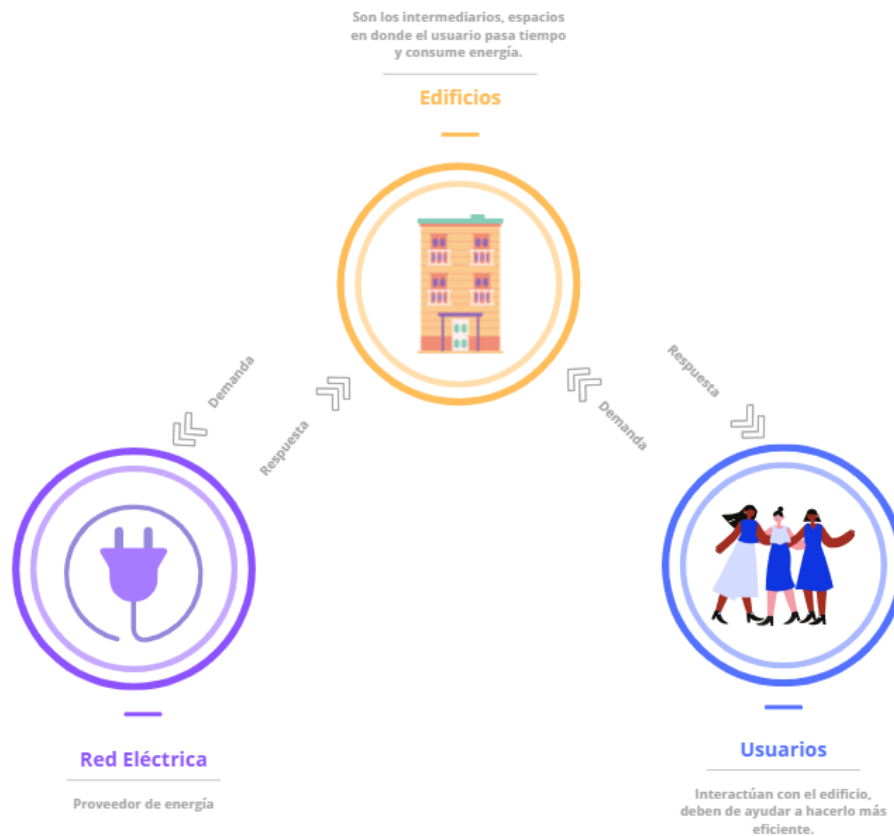


Figura 12. Relación generación de energía, edificios y usuarios.

Se debe tener en cuenta que el uso de metodologías para realizar estos cambios de manera eficaz requiere de muchos datos, ya que se deben considerar los diferentes climas y microclimas que cambian por zona, así como los cambios que trae la crisis climática y hacerse preguntas como: ¿Cómo disminuir el consumo energético, cuando nuestro estilo de vida tiene una tendencia cada vez mayor a la dependencia eléctrica?, ¿cómo hacer que los cambios se realicen, los mismos que llevan una carga de CO<sub>2</sub> adicional a la ya existente, ayuden a disminuir el CO<sub>2</sub> total de la vida útil del edificio?, ¿cómo motivar a realizar cambios para disminuir el CO<sub>2</sub>, sí está comprobado que cuando las emisiones de carbono se incrementan 1%, el crecimiento económico es del 2.2%?

Es imposible no emitir CO<sub>2</sub>, ya que todas nuestras acciones, empezando por el CO<sub>2</sub> que genera respirar, y el uso de energía en cualquiera de sus formas. Se debe tener en cuenta que el impacto de la descarbonización puede ser indirecto, que es

el uso eficiente que tiene el edificio de su energía, agua, desechos, etc., y directo, que es la generación eficiente de energía. Y que al momento de considerar la disminución de CO<sub>2</sub> se debe tener en mente que no es lo mismo un edificio aislado, que un sistema urbano en donde existe una alta densidad de edificios en un mismo espacio.

La situación particular de cada país también impacta en el estudio, conceptos, importancia y posibilidad de modificaciones a los edificios, por ejemplo, la situación en Europa Occidental, en donde ya se tienen medidas puestas en acción, incluyendo políticas públicas, reformas legales, acciones sociales, y presupuestos para lograr *Net Zero* en un porcentaje de sus edificaciones para el 2050, no es comparable con la situación que se vive en América Latina, en donde actualmente se están contemplando formas de lograr eficiencia energética en ciertas áreas.

Esta primera aproximación a una metodología para analizar las diferentes formas de generación de CO<sub>2</sub> en una edificación ofrece una perspectiva general del impacto y posibilidades de cambios para tomar acciones de forma eficiente. Puede ayudar a ver si el costo de realizar un cambio que tenga un impacto positivo en alguno de los pilares de sustentabilidad valga la pena. Por ejemplo, si una intervención estética en un edificio pueda mejorar algún aspecto de la parte social de la sustentabilidad y, por lo tanto, este costo se vea justificado. También puede ayudar a identificar la limitación de lógicas en los cambios, especialmente de ahorro energético, debido al uso que se le dé a la edificación, como a los hospitales, que requieren constante uso de electricidad para sus equipos, y por lo tanto para el bienestar y buen servicio de los pacientes.

Se propone para la siguiente aproximación de esta metodología realizar un análisis a detalle de las actividades/cambios asociados en cada correlación de la tabla para poder hacer una toma de decisiones adecuada en cuanto a las acciones a realizar para seguir la metodología. Se debe tener en cuenta, debido a la viabilidad económica o técnica, que tenemos el valor ideal de lo que se debería disminuir, que es el obtenido con la metodología y el valor real, que es lo que se puede realmente realizar con la información obtenida.

## Bibliografía

- Acheampong, A. O. (2018). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: What causes what and where? *Energy Economics*, 677-692.
- Alawneh, R., Ghazali, F. E., Ali, H., & Asif., M. (2018). Assessing the contribution of water and energy efficiency in green buildings to achieve UN SDG in Jordan. *Building and Environment*, 119-132.
- Alyami, S. H., & Rezgui, Y. (2012). Sustainable building assessment tool development approach. *Sustainable Cities and Society*.
- Ana C. Borbón, R. E. (2010). Modelación y Simulación de la Transferencia de Calor en Muros de Bloque de Concreto Hueco. *Información Tecnológica*, 27-38.
- Anibaldi, V., Cucchiella, F., Berrardinis, P. D., Gastaldi, M., & Rotillo., M. (2020). An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency in heritage buildings. *Journal of Cleaner Production*.
- Antonino Marvuglia, L. H. (2020). Advances and challenges in assessing urban sustainability: an advanced. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Baird, G. (2014). Users' perceptions of sustainable buildings / Key findings of recent studies. *Renewable Energy*.
- Balaban, O., & Oliviera, J. A. (2016). Sustainable Buildings for Healthier Cities: Assessing the Cobenefits of Green Buildings in Japan. *Journal of Cleaner Production*.
- Batagan, L. (2011). Smart Cities and Sustainability Models. *Informatica Economica*.
- Baumgartner, R. J. (2011). Critical perspectives of sustainable development research and practice. *Journal of Cleaner Production*, 783-786.
- Blanco, J. L. (2006). *La Casa Ecológica*. México: Trillas.
- Brussel, M., Zuidgeest, M., Pfeffer, K., & Maarseveen, M. v. (2019). Access or Accessibility? A Critique of the Urban Transport SDG Indicator. *International Journal of Geo-Information*.
- CEMEX. (2021, Junio 2). CEMEX. Retrieved from [www.cemex.com](http://www.cemex.com):  
<https://www.cemex.com/sustainability/climate-action/vertua-net-zero-carbon-concrete>
- Chichilnisky, G. (1999). What is Sustainable Development? *Man-Made Climate Change*, 42-84.
- Cui, X. (2018). How can cities support sustainability: A bibliometric analysis of urban metabolism. *Ecological Indicators*, 704-717.
- Daniel Töbelmann, T. W. (2020). The impact of environmental innovation on carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*.
- Díaz-López, C., Carpio, M., Martín-Morales, M., & Zamorano., M. (2019). Analysis of the scientific evolution of sustainable building assesment methods. *Sustainable Cities and Society*.
- Empire State Building. (2020, September). [www.esbnyc.com](http://www.esbnyc.com). Retrieved from Empire State Building NYC: <https://www.esbnyc.com/esb-sustainability>

- Fader, M., Cranmer, C., Lawford, R., & Cox, J. E. (2018). Toward an Understanding of Synergies and Trade-Offs Between Water, Energy, and Food SDG Targets. *Frontiers in Environmental Science*.
- Fitzgerald, J. (2010). *Emerald Cities: Sustainability and Economic Development*. New York, New York: Oxford University Press.
- Foggia, G. D. (2016). Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goals. *Heliyon*.
- Francesco Fuso Nerini, B. S. (2019). Connecting climate action with other Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*.
- Hernández, E. H. (2018). Prototipo de Vivienda Vertical Social Sustentable, Enfoque en Resistencia al Cambio Climático. *Revista INVI*, 213-237.
- Hernández, E. H. (2018). Prototipo de Vivienda Social Sustentable, Enfoque en Resistencia al Cambio Climático. *Revista INVI*, 213-237.
- INEGI. (2018). *Uso de Energéticos en México*. CDMX: INEGI (Comunicado de Prensa).
- Isabel B. Franco, R. T. (2020). *Actioning the Global Goals for Local Impact: Towards Sustainability Science, Policy, Education and Practice*. Springer.
- Jansen, L. (2003). The challenge of sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 231-245.
- Joyeeta Gupta, C. V. (2016). Sustainable development goals and inclusive development. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 433-448.
- Luis Miguel Fonseca, J. P. (2020). Mapping the Sustainable Development Goals Relationships. *Sustainability*.
- Iyer-Raniga, U. (2021). Sustainable Buildings and Construction: Responding to the SDGs. *Sustainable Cities and Communities*.
- Marvuglia, A., Havinga, L., Heidrich, O., Fonseca, J., Gaitani, N., & Reckien., D. (2020). Advances and challenges in assessing urban sustainability: an advanced bibliometric review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Mitcham, C. (1995). The concept of sustainable development: its origins and ambivalence. *Technology in Society*, 311-326.
- Mouzourides, P., Kyprianou, A., Marina K.-A. Neophytou, J. C., & Choudhary., R. (2019). Linking the urban-scale building energy demands with city breathability and urban form characteristics. *Sustainable Cities and Society*.
- Muhammad Asif, A. H. (2017). Life Cycle Assessment of a Three-Bedroom House in Saudi Arabia. *Enviroments*.
- Murillo, D. (2011). Edificaciones Sustentables en México: Retos y Oportunidades. *ai mexico*.

- Natesan Mahasanen, S. S. (2002). The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO<sub>2</sub> Emissions. *6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies* (pp. 995-1000). Kyoto, Japan: Elsevier.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020, December 09). *www.un.org*. Retrieved from UN: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- PRé. (2016, Enero). SimaPro Tutorial. PRé.
- Rami Alawneha, F. E. (2020). Assessing the contribution of water and energy efficiency in green buildings to achieve United Nations Sustainable Development Goals in Jordan. *Building and Environment*.
- SDGAcademyX. (2020, Diciembre 18). *Cities and the Challenge of Sustainable Development*. Retrieved from EDx: <https://learning.edx.org/course/course-v1:SDGAcademyX+C21001+3T2020/home>
- Seis Cubos. (2020, 06 10). Retrieved from [www.seiscubos.com](http://www.seiscubos.com): <https://www.seiscubos.com/conocimiento/confort-termico-y-cuerpo-humano>
- Sera L Young, E. A.-Q.-E. (2021). Perspective: The Importance of Water Security for Ensuring Food Security, Good Nutrition, and Well-being . *Advances in Nutrition*, 1058–1073.
- Sodiq, A., Baloch, A. A., Khan, S. A., Mahmoud, S., Jama, M., & Abdelaal, A. (2019). Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends. *Journal of Cleaner Production*, 973-998.
- TU Delft. (2020, Octubre 02). *Managing Building Adaptation: A Sustainable Approach*. Retrieved from EDx: <https://learning.edx.org/course/course-v1:DelftX+MBA10x+1T2020/home>
- United Nations. (2020, Noviembre 15). *Organización de las Naciones Unidas* . Retrieved from Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Valeria Annibaldi, F. C. (2019). An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency. *Journal of Cleaner Production*.
- W. Baker, C. B. (2014). Pearl River Tower: Design Integration towards Sustainability. *Structures Congress* .
- Wei Fengb, Q. Z. (2019). A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Wen, B., Musa, S. N., Onn, C. C., Ramesh, S., Liang, L., Wang, W., & Ma., K. (2020). The role and contribution of green buildings on sustainable development goals. *Building and Environment*.
- World Economic Forum. (2022, March 16). *www.weforum.org*. Retrieved from <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000LiPhEAK>
- World Green Building Council. (2020, December 03). *www.worldgbc.org*. Retrieved from World Green Building Council: <https://www.worldgbc.org/advancing-net-zero/what-net-zero>

Yan Yunfeng, Y. L. (2010). China's foreign trade and climate change: A case study of CO2 emissions.  
*Energy Policy*, 350-356.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



## INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

Jefatura de Posgrado en Sustentabilidad Energética



Cuernavaca, Morelos, a 22 de marzo de 2023.

**DR. JOSÉ ANTONIO MARBÁN SALGADO**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO EN**  
**SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**  
**P R E S E N T E**

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada “Metodología para la comparación de impactos en los Objetivos de Desarrollo Sustentables para edificaciones”, que presenta la alumna **Maria Ana Gutiérrez Mercado**, para obtener el título de la **Maestría en Sustentabilidad Energética**

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. JUAN CARLOS GARCÍA CASTREJÓN		
DR. JESÚS CEREZO ROMÁN		
DRA. GABRIELA HERNÁNDEZ LUNA		
DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ		
DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ		

**PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)**

**NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.**

JAMS\*MFB/nmc.

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209.  
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 6212 / correo: margarita.figueroa@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA  
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**JUAN CARLOS GARCIA CASTREJON | Fecha:2023-04-18 11:14:52 | Firmante**

iKT+OitbvQfXcaH3rq475cYM+5LU2cZ0DSG4mCLUFih08AS3rpvX8NTOg8lWGNcTm0gTwrGf+EyLJaNRU3ftJybClo/rUcfsmAhhGGBp4IPJF138sh8US1SziMK4xWbRMVDzJR9/pXzB3GnA+yTuSB48x5TV7tKOjv+TMTWvviK6qrfjmyHRpdpu2+fW4y0kdMDTmLvX6CFpF1pPk/9QxJGnYQ9MJ46VR92w46SuJvftfurXiF3OvZFmr96zLvpKVeggTfxDBCu5nBKL Yoej0EFtIUExaiMgeKBokratyf3c6ToBveyxrNFpSvrLksVVDE7YrZk4EmD+kMnqoUuw==

**ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMINGUEZ | Fecha:2023-04-20 09:15:03 | Firmante**

t1vg08dFrGzKuB5iTu7211LulC9fX43K7q+GMHvKov4Mb7MUOgCQdoLQwktAPrAhQL08VgLFYm91uiHRvdY+Op7mWZl+LxvDy7zTYJEFTy82e1QaGwyA7K/92aVWC0f1vJ1++WcQSB+AqYUJSwZzy164ozObL3jaezSCyag0yOgnFisYBSVZOAMOc2tPyM4ZlalZdE5+a1sGw57PfrUrh7ehZ3KQBZFqQgM0mt5jQBtaYd55ea/a4VY5wLQfe+vNr2uNvZq9I2fiT6Yrs4hoWr1DwRts6lgVqKy1DIV4fMnzDe3H713K5RZ17RcUn60OxkFCC4VlkhzRum/H+8WXA==

**MOISES MONTIEL GONZALEZ | Fecha:2023-05-05 10:56:28 | Firmante**

SgN2kCka93VeCr3z8WEUdlQXKEtXFMh4TPmzKfbO+5EU1fM1TIPOESnF44FS9mJEPknuuy6U2o2uLmnOJsXx77jWsG4OCVbPjhsF1yEvPR/Y+rx6/3fZHZi7Dy1DY0GhC10E NZGZd0w0CH05+TiJYG8juak/5cJ1UKldAR2QVYwx6PFP5tmw7RAFLXsXwhki8MbkB+zOsTWC2CMPGu/uK+dhAc1nRviUIBghzt7YQhvrQ6jM2psT+XZFYTAISU5k55lqpsdj9uzS/Ac4UnV/+9/h+4B5C5rrpO/31uaq3cqrMmQgSqSbQiOmpnoPsWfHPmKginQNJOFCaxuSFVI6A==

**JESUS CEREZO ROMAN | Fecha:2023-05-11 14:32:15 | Firmante**

GAkZAX7GxH0aAaEfkzfbFV3uh0soQoBlcCrJT03yBUBszif3EKWAdSCJHCfKGUIYVurLkIUhGginRXMHZksCEW1VMjcZx0/Kfs5yy8GzHixfVcVDqQ40gTkj1+TXyq2HI9PDX4H5byWkuS3Zzpy3/H4r6kWS1aqiGPbSsuBLP4ezWZY1fITKsHovdArOjCkAxS6s6ZnDu7cSb4nSoUFY3QVcyL0zGWaoBL4ELz9ytST8n3rU8MIRBoZ4ZPNSJk5CgzleQl+c6VEJmo7joZ9rLc5fjzm9sqlEOJAPIUXP6WgWCHBz0kjiHmfM1wRuHxahBujVcz3CFiub7AJZc/AQ==

**GABRIELA HERNANDEZ LUNA | Fecha:2023-05-11 15:42:41 | Firmante**

dtCoVbQ++fAXW59Nrq4VyQXyymALO5Zf4r1A82iDbiu3FJaKgB9OHegvnms3C5Or9N+XrjWVSo0W36HpcrWqSTQhtuCWzsNxxR+YfV2zf5rB9frP9nOrPdhNFfilEexBUIzUV++VYiT5nVRA2QMbAj2yteiG78K4Uro9/bafdP5ebY9gseQFAJcOUp2OWkshZjt7wTlsRSbAxbiOJp9eWvB5zMV7rWwX+8db8ir4bi6PsGrugcJdEzVklFexqDQOUCldBcaLyFvSf12HXbnptJ3kWTDDHhVf+kMnbpH+vg2VdAMNTSko5qfrosYOREwXsic9aDuthdHyKwoQsJw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



R5jG4ysVZ

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/cNXCo52ibBNkUKaZnDFSzJHVGNI5X5>

