



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE

**ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE COSTOS MARGINALES DE ABATIMIENTO DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO ASOCIADA AL USO DE ENERGÍAS LIMPIAS EN LAS ACTIVIDADES TURÍSTICAS: EL CASO
DE ISLA AGUADA, CAMPECHE.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA:
BRYANT CANSECO HERNÁNDEZ

TUTORA
DRA. V. SOPHIE AVILA FOUCAT, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS UNAM

MIEMBROS DEL JURADO
DR. ALONSO AGUILAR IBARRA, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS UNAM
DRA. KARINA CABALLERO GÜENDULAIN, FACULTAD DE ECONOMÍA UNAM
DR. SAÚL BASURTO HERNÁNDEZ, FACULTAD DE ECONOMÍA UNAM
DR. EDUARDO GARCÍA FRAPOLLI, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y
SUSTENTABILIDAD UNAM

CIUDAD DE MÉXICO. ENERO DE 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las personas e instituciones que desempeñaron un papel fundamental en la realización de esta tesis. Sus contribuciones y apoyo han sido vitales para alcanzar este hito. Permítanme transmitir mis gratitudes de la siguiente manera:

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), les agradezco profundamente por su financiamiento y respaldo. La UNAM ha sido una institución que ha brindado orientación a mi camino de investigación, y el CONAHCYT, con su apoyo financiero, hizo factible la realización de esta investigación.

Al Programa de Pequeñas Donaciones de la ONU (PPD), mi gratitud por el financiamiento crucial que proporcionaron. El apoyo que brindan a las comunidades con proyectos de impacto es un testimonio de su compromiso para impulsar el cambio sustentable en la sociedad.

Al programa de financiamiento “PAPIIT IV300123 - Resiliencia de socioecosistemas costeros asociados al turismo ante COVID 19 y cambio climático”, mi más sincero agradecimiento. Este apoyo económico ha sido fundamental para llevar a cabo este proyecto y ha permitido avanzar en nuestro entendimiento de los desafíos que enfrentan los socioecosistemas costeros en el contexto del turismo, la pandemia de COVID-19 y el cambio climático. Su respaldo ha sido invaluable y ha contribuido significativamente al éxito de esta investigación.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Mtra. Paola Yunuen Sandoval Tinoco por su valiosa contribución y apoyo en el desarrollo de mi tesis. Su orientación, conocimientos y dedicación han sido fundamentales para alcanzar este logro. Agradezco sinceramente su tiempo y esfuerzo en brindarme su guía y asesoría.

A mis apreciados profesores del Instituto de Investigaciones Económicas (IIEc), su guía y conocimientos compartidos han sido invaluable. Sus enseñanzas trascienden el aula y han sido la brújula que guío mis pasos en este proyecto.

A mis amigos de la maestría, gracias por ser más que compañeros: han sido mi red de apoyo, mi fuente de ánimo y risas en cada paso del camino.

A mi familia, su amor y aliento constante han sido mi fortaleza en los momentos más desafiantes. Este logro también es suyo.

Índice

Resumen	7
Introducción	8
Preguntas de la Investigación	10
Objetivos	10
Hipótesis	12
Capítulo 1: Las zonas costeras y el cambio climático	13
1.1. Cambio climático.....	13
1.2. Funciones y contribuciones del turismo en el cumplimiento de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible	19
1.3. Estado mundial del turismo y las emisiones de GEI en el sector turístico	20
1.4. Instrumentos existentes para reducir las emisiones de GEI y su aplicación en el sector turístico	28
1.5. Proyectos de eficiencia Energética vinculadas a motores eléctricos para abatir emisiones de GEI	33
Capítulo 2: Economía ambiental: Objetivos e Instrumentos de control de la contaminación	35
2.1. Modelos de contaminación dentro de un enfoque de eficiencia económica:	35
2.2. Control de la contaminación cuando los daños dependen de la ubicación de las misiones: 44	
2.3. Niveles eficientes de emisión de contaminantes de stock.....	47
2.4. Instrumentos de control de la contaminación:	47
2.5. Eficiencia y eficacia de los instrumentos de abatimiento de la contaminación:	52
Capítulo 3: Descripción de la zona costera de Isla Aguada, Campeche	53

3.1.	Importancia de las zonas costeras en México.....	53
3.2.	Área de estudio: Isla Aguada, Campeche	54
3.3.	Actividades económicas	57
3.4.	Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) en la zona costera Isla Aguada, Campeche: Necesidad de cambio de motores como parte de la transición energética.....	58
3.5.	Cooperativa de Bienes y Servicios Turísticos Isla de Pájaros S.C. de R.L. de C.V. Isla Aguada, Campeche: TURISMO ALTERNATIVO EN HUMEDALES DE ISLA AGUADA	60
Capítulo 4: Método		62
4.1.	Ejemplo de una CCMA de GEI.....	63
4.2.	Obtención de la información	66
4.3.	Pasos para construir la CCMA de GEI	69
5.	Resultados.....	81
5.1.	Escenario base de la CCMA: Motores de combustión.....	81
5.2.	Costos de inversión, operación y mantenimiento de las medidas de mitigación 83	
5.3.	Flujos netos de las medidas de mitigación: Proyección a 5 años	85
5.4.	Emisiones de gases de efecto invernadero de cada medida.....	86
5.5.	Evaluación técnico-económica de las alternativas	86
5.6.	Ahorros totales de costos y emisiones abatidas de las alternativas de mitigación para la cooperativa	88
5.7.	Construcción de la curva de costo marginal de abatimiento (CMA) de GEI	89
6.	Discusión	91
6.1.	Contribución Académica:	91
6.2.	Implicaciones para Política Pública:	92

6.3.	Limitaciones y Recomendaciones Futuras:	94
6.4.	Ventajas y desventajas del método empleado (CCMA), así como sus alternativas	95
6.5.	Críticas y perspectivas diversas sobre los enfoques propuesto	97
	Conclusiones	99
	Referencias.....	101
	Anexos	108

Resumen

Esta tesis se enfoca en evaluar la viabilidad de un proyecto de eficiencia energética que implica la adopción de motores eléctricos en lugar de motores de combustión interna en las lanchas utilizadas en actividades turísticas de una cooperativa turística en Isla Aguada, Campeche. El objetivo principal de esta investigación es determinar si esta transición contribuye a la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, al mismo tiempo, genera ventajas económicas para la comunidad local.

Para llevar a cabo esta evaluación, se recopiló información detallada sobre los motores de combustión interna existentes en las lanchas turísticas mediante entrevistas semi-estructuradas a los responsables de la cooperativa turística. A partir de estos datos, se estableció un perfil y un escenario base de consumo energético, lo que permitió identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética en el contexto de este proyecto.

Se realizaron análisis técnico-económicos exhaustivos para evaluar la implementación de motores eléctricos y sistemas de carga de baterías como alternativas a los motores de combustión interna. Se emplearon indicadores financieros clave, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), la Tasa Promedio de Rentabilidad (TPR) y el Índice de Rendimiento a Valor Presente (IRVP), para evaluar la rentabilidad de estas alternativas, además de utilizar la metodología para la construcción de una Curva de Costo Marginal de Abatimiento (CMA) de GEI asociada a la implementación de estos motores eléctricos.

Los resultados de esta tesis revelan que las alternativas con motores eléctricos no solo generan ahorros significativos en costos en comparación con los motores de combustión interna, sino que también reducen sustancialmente las emisiones de CO₂e. La construcción de la Curva de Costo Marginal de Abatimiento (CMA) de GEI confirma la eficacia de estas medidas en términos de mitigación de emisiones.

Introducción

En el contexto contemporáneo, el turismo se destaca como un sector económico de importancia capital en diversas regiones, confiriendo beneficios económicos sustanciales, pero al mismo tiempo planteando desafíos ambientales sustanciales. La comprensión profunda de la intersección entre el turismo, el cambio climático y la eficiencia energética se presenta como imperativa no solo para desentrañar la complejidad de este fenómeno, sino también para proponer soluciones fundamentadas en la sostenibilidad.

La actividad turística, por su naturaleza, es especialmente susceptible a las perturbaciones causadas por el cambio climático. Su sustento se encuentra intrínsecamente ligado a la calidad de los recursos naturales, desde playas y montañas hasta bosques. Sin embargo, el cambio climático amenaza con alterar significativamente estos entornos, afectando la atractividad turística y generando consecuencias económicas adversas.

Este fenómeno no es unidireccional, ya que la actividad turística también se posiciona como un contribuyente significativo al cambio climático. Los viajes turísticos, con sus correspondientes emisiones considerables de gases de efecto invernadero, y la intensiva demanda de recursos, conforman una cadena de eventos que amplifica la huella de carbono de esta industria.

La eficiencia energética se revela como un elemento esencial en este escenario. La gestión optimizada de los recursos no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también de mitigar el impacto ambiental asociado a la actividad turística. El enfoque particular de esta tesis reside en el análisis de la eficiencia energética en el marco de una actividad turística específica en Isla Aguada, Campeche.

La transición energética, un fenómeno global en búsqueda de una matriz energética más sostenible, se presenta como una pieza fundamental en este rompecabezas. Comprender las implicaciones de esta transición resulta crucial para identificar

oportunidades y desafíos relacionados con la eficiencia energética en el contexto del turismo.

En este contexto, la investigación busca evaluar la viabilidad financiera de la transición de los motores de combustión interna a sistemas eléctrico-solares en una cooperativa turística en Isla Aguada, Campeche. Esta transición tiene como objetivo principal reducir el consumo de energía y, por ende, la Huella de Carbono vinculada a las actividades turísticas. En esencia, la investigación se centra en entender cómo esta transición puede afectar financieramente a los turistas y cuál sería su impacto en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

Preguntas de la Investigación

General:

¿La implementación de un proyecto de eficiencia energética en el Refugio Turístico en Isla Aguada, Campeche, que implica la transición de motores de lancha de combustión interna a un sistema eléctrico-solar, tiene la capacidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, al mismo tiempo que presenta beneficios económicos y ambientales?

Particulares:

- La implementación del proyecto de eficiencia energética sobre navegación eléctrica en el Refugio pesquero en Isla Aguada, Campeche, ¿permite disminuir el consumo de energía?
- ¿Cuál es el potencial de ahorro de energía de la implementación del proyecto de eficiencia energética sobre navegación eléctrica en el Refugio turístico en Isla Aguada, Campeche?
- La implementación del proyecto de eficiencia energética sobre navegación eléctrica en el Refugio pesquero en Isla Aguada, Campeche, ¿permite reducir el aporte de GEI al medio ambiente?
- ¿Cuáles serían los posibles retornos económicos de la implementación del proyecto de eficiencia energética sobre navegación eléctrica en el Refugio pesquero en Isla Aguada, Campeche?

Objetivos

Objetivo de la investigación

Objetivo General

El objetivo principal de esta tesis es realizar un análisis de la eficiencia energética en una actividad turística con impacto en el cambio climático. El enfoque se centra en la implementación de un proyecto específico sobre de navegación eléctrica en

una cooperativa turística ubicada en Isla Aguada, Campeche. La finalidad fundamental es llevar a cabo una evaluación integral de la viabilidad financiera y de los efectos ambientales derivados de este proyecto. En esencia, se busca reducir el consumo de energía y disminuir la huella de carbono asociada a las actividades turísticas mediante la transición de motores de combustión interna a sistemas eléctrico-solares. Este proceso implica la adopción de un motor eléctrico y la incorporación de un sistema de carga de baterías. La meta última es proporcionar una contribución significativa al entendimiento global de cómo estas iniciativas pueden gestionarse de manera eficaz en el contexto de la actividad turística, considerando tanto los aspectos financieros como los ambientales además de ofrecer perspectivas valiosas para la gestión ambiental, especialmente en lo que respecta a la viabilidad de energías alternativas en el sector turístico y el control de emisiones.

Objetivos Particulares

- Obtener información en campo de la totalidad de los motores de combustión interna de las lanchas usadas para actividades turísticas de la cooperativa turística estudiada en Isla Aguada, Campeche, para obtener un perfil de consumo energético detallado del área y de cada uno de los motores identificados.
- Construir un perfil y un escenario base de consumo energético para un año determinado de las lanchas con motores de combustión interna de la cooperativa turística estudiada en Isla Aguada, Campeche, con tal de obtener un punto de referencia que permita comparar los costos de implementar el cambio de los motores de combustión interna en eléctrico-solares para así, mitigar las emisiones de GEI.
- Identificar oportunidades de mejora en el ámbito de la eficiencia energética, y ver si se presentan beneficios económicos y ambientales.
- Realizar el estudio y el análisis técnico-económicos de la implementación del proyecto de eficiencia energética sobre navegación eléctrica en el Refugio

turístico en Isla Aguada, Campeche, y así construir la respectiva Curva de Costo Marginal de Abatimiento de emisión de Gases de Efecto Invernadero del cambio los motores de combustión interna en eléctrico-solares, a partir de un motor eléctrico y un sistema de carga de baterías.

- Dar a conocer los resultados obtenidos a la comunidad local y al Programa de Pequeñas Donaciones (PPD), compartiendo las conclusiones y aprendizajes derivados de esta investigación.

Hipótesis

La hipótesis que se busca validar sostiene que la ejecución de un proyecto de eficiencia energética en el Refugio Turístico en Isla Aguada, Campeche, que implica la transición de motores de lancha de combustión interna a un sistema eléctrico-solar, tiene la capacidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al mismo tiempo que ofrece un potencial beneficioso tanto en términos de ahorro energético como económico.

Capítulo 1: Las zonas costeras y el cambio climático

1.1. Cambio climático

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se erige como un organismo científico intergubernamental creado por las Naciones Unidas con el propósito de evaluar información científica relacionada con el cambio climático. Con base en un informe del IPCC publicado en 2021, se concluye de manera contundente que el cambio climático es causado, principalmente, por las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades económicas humanas, destacando especialmente el dióxido de carbono. Este fenómeno ha resultado en un aumento global de aproximadamente 1.0 °C en comparación con los niveles preindustriales. Con un alto nivel de confianza, el informe proyecta que el calentamiento global alcanzará los 1.5 °C entre 2030 y 2052 si se persiste en el actual ritmo de emisiones. Además, el informe señala que el cambio climático está generando modificaciones en el clima a nivel mundial, que incluyen incremento de la temperatura, alteraciones en las precipitaciones, elevación del nivel del mar y la extinción de especies. Ante estas evidencias, se hace un urgente llamado a la toma de medidas inmediatas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los cambios climáticos ya inevitables (IPCC, 2021).

El calentamiento global es una amenaza mundial que requiere medidas urgentes para reducir las emisiones de GEI y adaptarse a los cambios ya inevitables del clima. Esto incluye reducir las emisiones de combustibles fósiles, aumentar la eficiencia energética, promover las energías renovables, mejorar la agricultura sostenible, proteger los bosques, las zonas costeras y los ecosistemas y desarrollar tecnologías para capturar y almacenar CO₂.

Los GEI son compuestos químicos presentes en la atmósfera que contribuyen al calentamiento global. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), el

metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el dióxido de azufre (SO₂) y los compuestos clorofluorocarbonos (CFC) (IPCC, 2007).

Los GEI se miden en términos de su capacidad para absorber radiación infrarroja en comparación con el dióxido de carbono (CO₂). Esto se conoce como "CO₂ equivalente" o "CO₂e". Esto permite comparar la contribución relativa de diferentes gases al calentamiento global. Esto se calcula sumando las emisiones de cada gas de efecto invernadero emitido, multiplicado por su factor de potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) para 100 años. El GWP es una medida de cuánto calor un gas es capaz de absorber en comparación con el CO₂. En la siguiente tabla, se muestra el Potencial de calentamiento global (GWP) de GEI más importantes según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2014:

Tabla 1: Valores del potencial de calentamiento global (PCG) para un horizonte temporal de 100 años en relación con el CO₂

Acrónimo, nombre común o nombre químico	Fórmula química	Valores de PCG en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (CO₂e)
Dióxido de carbono	<i>CO₂</i>	1
Metano	<i>CH₄</i>	25
Óxido nitroso	<i>N₂O</i>	265
Tetrafluoruro de carbono	<i>CF₄</i>	6,630
Hexafluoroetano	<i>C₂F₆</i>	11,100
Trifluoruro de nitrógeno	<i>NF₃</i>	16,100
HFE-125	<i>CHF₂OCF₃</i>	12,400
Hexafluoruro de azufre	<i>SF₆</i>	23,500

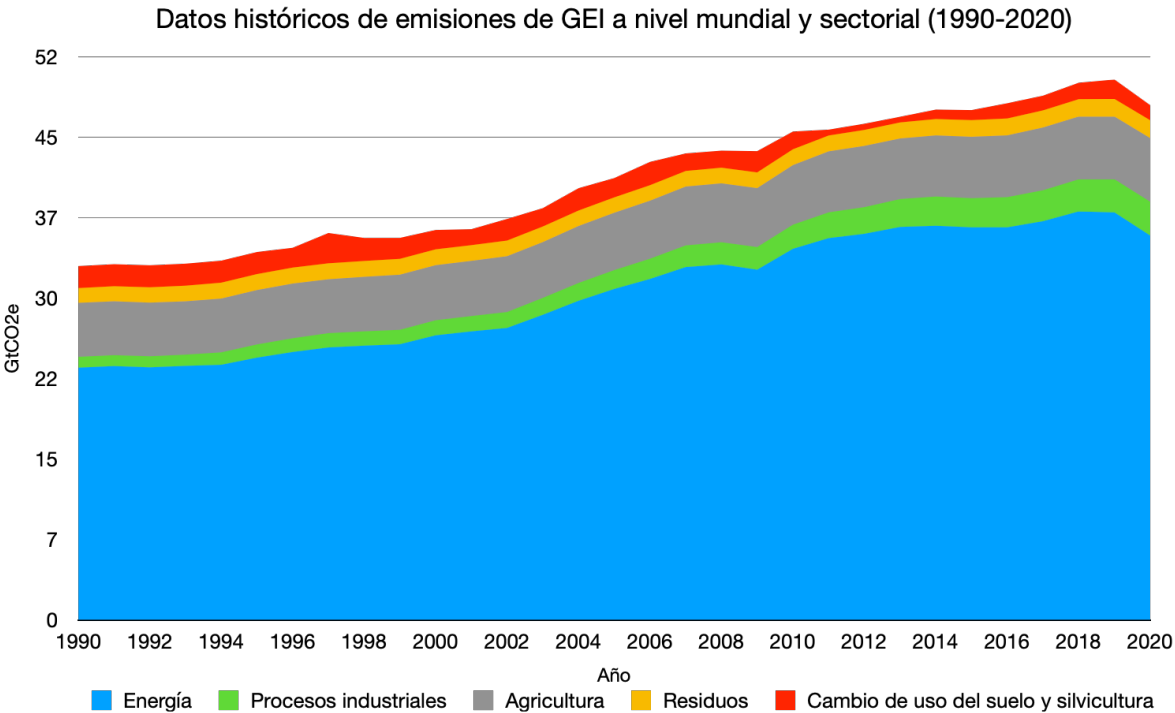
Fuente: Elaboración propia con información de (IPCC, 2014)

Las principales fuentes de emisiones de GEI son la quema de combustibles fósiles (como el petróleo, el carbón y el gas natural) para generar energía eléctrica y calor,

la industria, la agricultura (especialmente la ganadería), el transporte, y el cambio de uso del suelo.

Según datos de Climate Watch (2022), en 2020, aproximadamente el 60% de las emisiones de GEI se originaron exclusivamente en 10 países, mientras que los 100 menos emisores contribuyeron con menos del 3%. Además, la energía representó tres cuartas partes de las emisiones mundiales (75%), seguida por la agricultura (12%) (consultar Gráfico 1). Dentro del sector energético, la principal fuente de emisiones fue la generación de electricidad y calor, seguida por el transporte y la industria. Asimismo, el cambio de uso del suelo y la silvicultura actúan tanto como fuente como depósito de emisiones, desempeñando un papel crucial en la consecución de emisiones netas cero.

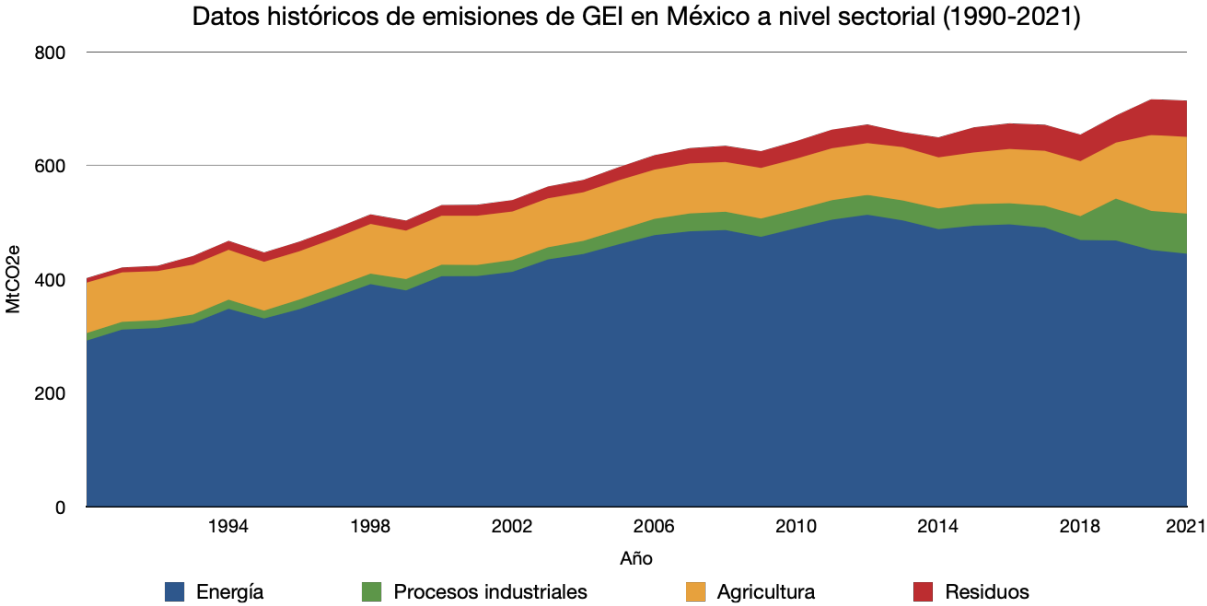
Gráfico 1: Emisiones de GEI a nivel mundial y sectorial



Fuente: Elaboración propia con información de (Climate Watch, 2022)

Además, el aumento de la población y el crecimiento económico también contribuyen a la emisión de GEI, ya que esto implica un mayor consumo de energía, un mayor número de vehículos en las carreteras, una mayor producción de alimentos y una mayor necesidad de viviendas y edificios (Gaytán, 2019).

Gráfico 2: Emisiones de GEI en México a nivel sectorial (1990-2019)



Fuente: Elaboración propia con información de (INECC, 2023)

Las emisiones de GEI de México son significativas a nivel global y se derivan principalmente de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y transporte, así como de la agricultura y la deforestación. En 2021, México emitió alrededor de 714 millones de toneladas de CO₂eq (consultar Gráfico 2), lo que lo sitúa entre los 15 principales emisores a nivel mundial, representan el 1.42% de las emisiones a nivel mundial, y es el segundo país de Latinoamérica con una mayor contribución (INECC, 2023)

Los impactos del cambio climático en los ecosistemas ya sean terrestres u oceánicos, así como en los servicios que proporcionan, pueden ser duraderos e incluso irreversibles. Un informe del IPCC (2018) detalla algunos de los impactos específicos en el océano:

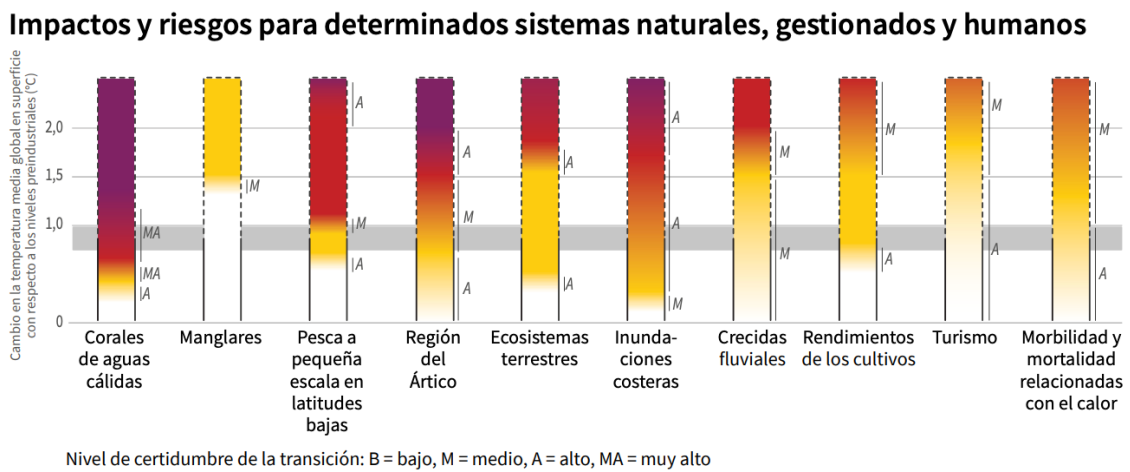
- Riesgos tanto para la pesca como la acuicultura debido de los impactos en la fisiología, la supervivencia, el hábitat, la reproducción y la incidencia de enfermedades y del riesgo de aparición de especies invasoras. En un escenario de calentamiento global de 1.5 °C el riesgo disminuye a comparación con un escenario de incremento de 2.0 °C.
- Con un calentamiento global de 1.5 °C, las capturas mundiales anuales de pesca marina se reducirían en 1.5 millones de toneladas.
- Con un calentamiento global de 2.0 °C se perderían más de 3 millones de toneladas anuales de pesca marina.
- Aumento en la exposición de las pequeñas islas, las zonas costeras bajas y aumento de los riesgos asociados al aumento en el nivel del mar para muchos sistemas humanos y ecológicos, como las intrusiones de agua salada, las inundaciones y los daños en la infraestructura (gráfico 2).
- Los riesgos asociados al aumento del nivel del mar son mayores con un calentamiento global de 2 °C que con uno de 1.5 °C.
- En un escenario de calentamiento global de 1.5 °C se reducen los riesgos en las zonas costeras, haciendo factibles mayores oportunidades de adaptación, como la gestión y la restauración de ecosistemas costeros naturales y el fortalecimiento de la infraestructura.
- Con un calentamiento global de 1.5 °C se prevé que cambie la distribución de muchas especies marinas (a latitudes más altas) y aumente los daños en muchos ecosistemas, además de que se pierdan un número considerable de recursos costeros y se reduzca la productividad de la pesca y acuicultura (sobre todo en latitudes bajas).
- Se pronostican que los arrecifes de coral se reduzcan de un 70% a un 90% adicional con un calentamiento global de 1.5 °C y con un calentamiento global del 2 °C este porcentaje aumentaría a más del 99%.
- Otro impacto es que el nivel de acidificación de los océanos amplifique los efectos adversos del calentamiento como consecuencia del aumento de las concentraciones de CO₂ en un escenario de calentamiento global de 1.5 °C, y que esta amplificación sea aún mayor si el calentamiento global alcanza los

2 °C, afectando el crecimiento, el desarrollo, la calcificación, la supervivencia y, por ende, en la abundancia de una amplia gama de especies.

En el gráfico 3, podemos observar el nivel de Impacto y riesgo para determinados sistemas naturales, gestionados y humanos, en donde el color violeta indica riesgos muy altos o graves, el color rojo indica impactos o riesgos graves, el color amarillo indica que los impactos o riesgos son detectables y el color blanco indica que no hay impactos detectables ni atribuibles al cambio climático.

En el caso de pesca y la acuicultura, se prevé que haya impactos moderados con un calentamiento global de 1.5°C que con uno de 2°C en donde es posible que haya impactos altos. En cuanto al turismo, los impactos son moderados incluso en un escenario de calentamiento global de 2°C.

Gráfico 3: Impactos y riesgos seleccionados en relación con los sistemas naturales y humanos incluyendo el sector turístico de playa



Fuente: (IPCC, 2018)

1.2. Funciones y contribuciones del turismo en el cumplimiento de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un plan global adoptado por los 193 países miembros de las Naciones Unidas en septiembre de 2015. Se compone de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas específicas, que buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar que todas las personas gocen de una vida digna y próspera. Estos objetivos son interdependientes y se enfocan en tres dimensiones del desarrollo sostenible: económico, social y ambiental. Sin embargo, es importante señalar que los ODS, aunque ambiciosos, pueden ser contradictorios, ya que abarcan una variedad de temas, incluyendo el crecimiento económico. Este último, como se mencionó anteriormente, es reconocido como la principal causa de las emisiones y, por ende, del calentamiento global (ONU, 2015).

En relación con la agenda 2030, se encuentra el Decenio de Acción para Cumplir los Objetivos Mundiales, el cual es un período de 10 años (2021-2030) en el que se espera que los países, las organizaciones internacionales y la sociedad en general intensifiquen sus esfuerzos para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados en la Agenda 2030. El Decenio de Acción se estableció para asegurar que se tomen medidas concretas y medibles para alcanzar los ODS antes de su fecha límite en 2030. El objetivo principal es acelerar el progreso hacia los ODS, especialmente en las áreas en las que el avance ha sido insuficiente, y garantizar que nadie quede atrás (principio rector de la Agenda 2030). El Decenio de Acción se enfoca en tres áreas: el fortalecimiento de la implementación de los ODS, la aceleración de la acción en áreas críticas y la movilización de recursos para el desarrollo sostenible (ONU, 2021).

A la fecha, solo quedan 7 años para llegar al 2030, pero los avances en el cumplimiento de los objetivos de la agenda se ven lentos e insuficientes, es por eso por lo que se necesitan medidas urgentes.

La Organización Mundial del Turismo (OMT) es una agencia especializada de la ONU creada en 1975 con el objetivo de promover el turismo como un medio de desarrollo económico y social sostenible y responsable. La OMT trabaja con sus países miembros (Integrada en la actualidad por 156 países) y otros socios relevantes para fomentar el crecimiento sostenible del sector turístico y mejorar su impacto económico, social y ambiental (UNWTO, 2022)

La OMT se esfuerza por desarrollar políticas y estrategias que impulsen el turismo responsable y sostenible, promueva la cooperación internacional y mejore la imagen del turismo en el mundo. También brinda asistencia técnica y capacitación a sus países miembros para mejorar la competitividad del sector turístico y apoyar su desarrollo.

En cuanto a su relación con los ODS, la OMT colabora estrechamente con otros organismos de la ONU y otros actores relevantes para asegurarse de que el sector turístico contribuya al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por ejemplo, la OMT ha desarrollado iniciativas para fomentar la accesibilidad y la inclusión en el turismo, promover la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales, y mejorar la resiliencia de las comunidades locales ante los impactos del turismo.

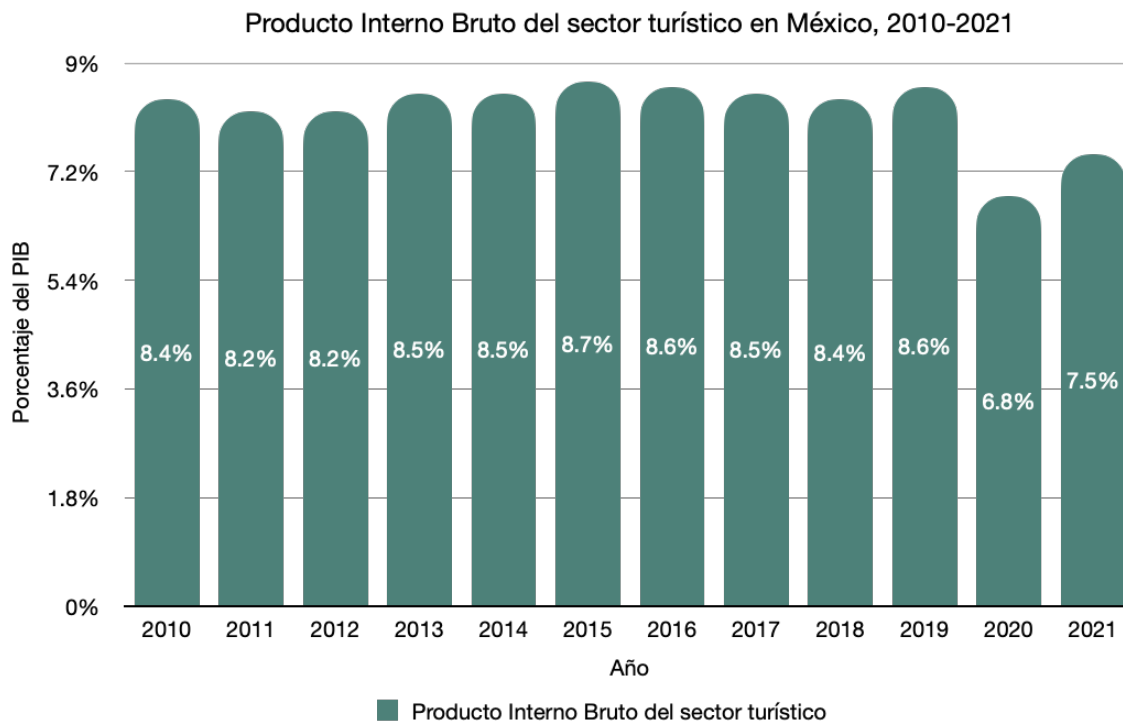
1.3. Estado mundial del turismo y las emisiones de GEI en el sector turístico

Según la Organización Mundial del Turismo (OMT), el turismo representa aproximadamente el 10% del empleo mundial y del producto interior bruto (PIB) mundial (OMT/ITF, 2020). Además, el número de llegadas de turistas internacionales¹ aumentó de 25 millones en 1950 a 1.5 mil millones en 2019 y se espera que para el 2030 lleguen a los 1.8 mil millones. Las llegadas de turistas

¹ Los turistas internacionales son personas que viajan a un país diferente al que residen para realizar actividades turísticas, como visitar lugares de interés, disfrutar de la cultura local, hacer compras o descansar. Los turistas internacionales pueden viajar por razones de ocio, negocios, estudios u otras razones. Son una fuente importante de ingresos para muchos destinos turísticos en todo el mundo y pueden tener un impacto significativo en la economía local, el empleo y la infraestructura turística.

internos² pasaron de 4,000 millones en 2005 a 8,000 millones en 2016 y se prevé que alcancen los 15,600 millones en 2030.

Gráfico 4: Producto Interno Bruto del sector turístico en México, 2010-2021



Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2022).

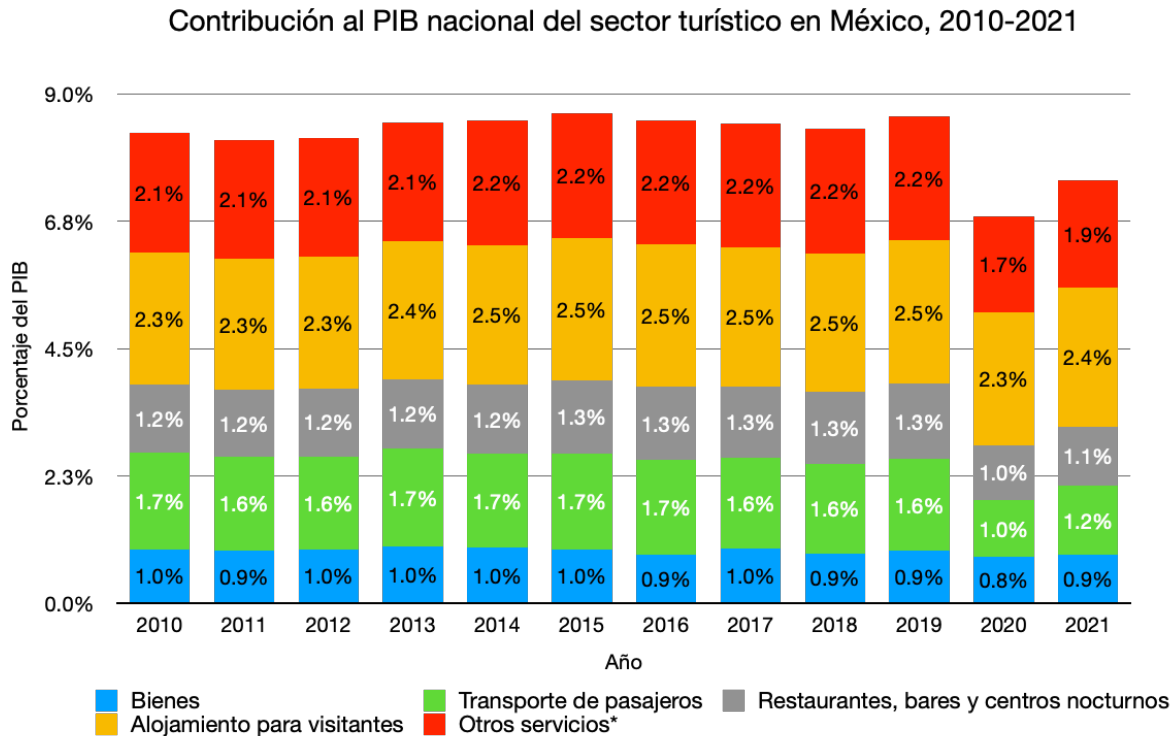
En la gráfica 4, observamos que en 2021, el PIB turístico alcanzó aproximadamente 1.81 billones de pesos, representando un 7.5% de participación con respecto al PIB nacional.

Los servicios de alojamiento para visitantes, el transporte de pasajeros y el servicio de restaurantes, bares y centros nocturnos destacaron como las principales actividades del sector Turismo. En la gráfica 5, podemos ver la contribución al PIB nacional del sector turístico en México en los últimos años, por ejemplo, en el 2021 los servicios de alojamiento para visitantes representaron el 2.4%, el transporte de

² El consumo turístico interior; es decir, el gasto que realizan las y los visitantes, tanto residentes —consumo interno— como extranjeros —consumo receptivo— dentro del país. (INEGI, 2022)

pasajeros el 1.2% y el servicio de restaurantes, bares y centros nocturnos un 1.1% (INEGI, 2022).

Gráfico 5: Contribución al PIB nacional del sector turístico en México, 2010-2021



Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2022).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022), en 2019, el sector turismo generó 2.2 millones de puestos de trabajo en México, lo que representó aproximadamente el 5.5% de los empleos totales en el país.

Los empleos en el sector turismo incluyen una amplia variedad de ocupaciones, como trabajadores de hoteles, restaurantes, agencias de viajes, transporte turístico, guías turísticos, personal de entretenimiento y recreación, entre otros. Los empleos en el sector turismo pueden ser temporales o permanentes, y pueden requerir diferentes niveles de habilidades y capacitación.

En 2021, el gasto total del consumo turístico en México alcanzó aproximadamente 3.12 billones de pesos corrientes. De este monto, el consumo turístico interior contribuyó con alrededor del 95.6% del gasto total, aproximadamente 2.98 billones de pesos. Por otro lado, el consumo turístico emisor representó cerca del 4.4% del gasto total, equivalente a aproximadamente 140.95 mil millones de pesos. Cabe destacar que el consumo turístico emisor se refiere al gasto realizado por los residentes en México en viajes al extranjero (INEGI, 2022).

Es importante notar que el turismo interior tiene una gran importancia en la economía mexicana, ya que representa la gran mayoría del gasto turístico total. El turismo interno (el gasto que realizan las y los visitantes residentes) ayuda a impulsar la economía local al fomentar la actividad turística en diferentes regiones del país, ya que los turistas internos contribuyeron con alrededor de 83% del total del consumo turístico interior. Por otro lado, el turismo emisor también es importante, ya que representa una oportunidad para que los residentes mexicanos conozcan otras culturas y destinos turísticos en el extranjero.

El turismo es una industria altamente vulnerable al cambio climático. La actividad turística depende en gran medida de la calidad del medio ambiente, como playas, montañas, ríos, bosques y otros paisajes naturales. El cambio climático puede afectar estos lugares y reducir su atractivo para los turistas.

Por ejemplo, el aumento del nivel del mar y la frecuencia de eventos climáticos extremos como tormentas, inundaciones y sequías pueden dañar infraestructuras turísticas como hoteles, restaurantes y atracciones turísticas. Además, el cambio climático también puede afectar la flora y fauna local, lo que puede afectar la oferta de actividades turísticas como el ecoturismo (OMT/ITF, 2020).

Por otro lado, la actividad turística también contribuye al cambio climático debido al transporte de turistas, que emite grandes cantidades de gases de efecto invernadero. Además, el turismo a menudo implica un uso intensivo de energía y

recursos, como agua y alimentos, lo que también puede contribuir a la huella de carbono.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publicó en 2008 un informe titulado "Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges" (Cambio climático y turismo: responder a los retos mundiales) que analiza el impacto del cambio climático en la industria turística y propone estrategias para abordar este desafío (OMT/PNUMA, 2008).

El informe destaca que el cambio climático afectará a la industria turística de diversas maneras, incluyendo el aumento del nivel del mar, la erosión de playas, la disminución de la nieve en las montañas y la alteración de los patrones climáticos que pueden afectar la temporada turística. También señala que el turismo contribuye al cambio climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los viajes y la actividad turística en sí misma.

El informe propone una serie de estrategias para abordar estos desafíos, incluyendo:

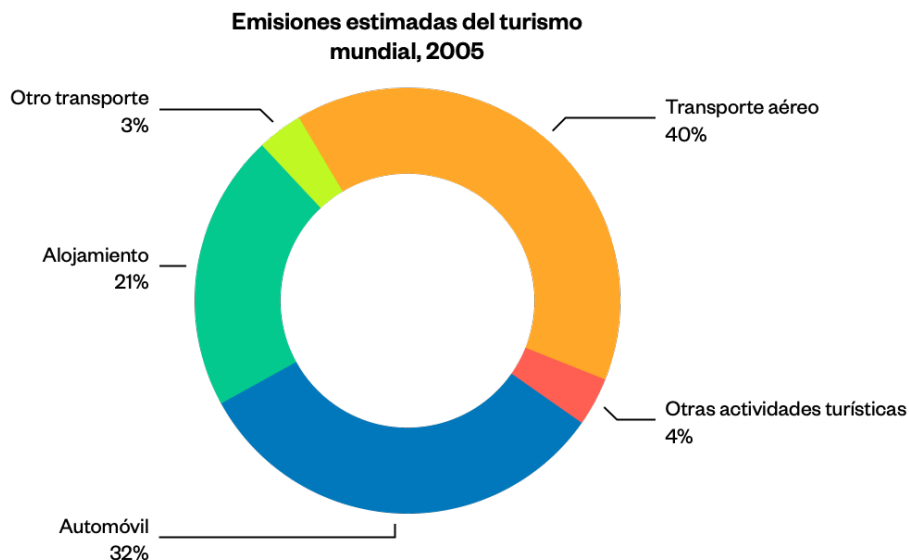
- Promover el turismo sostenible y responsable, que minimice el impacto ambiental y maximice los beneficios para las comunidades locales.
- Fomentar la innovación y la adopción de tecnologías limpias y eficientes en el transporte y la gestión de instalaciones turísticas.
- Fortalecer la adaptación al cambio climático en los destinos turísticos, a través de la gestión de recursos hídricos, la planificación de la infraestructura resistente al clima y la diversificación de las actividades turísticas.
- Sensibilizar a los turistas sobre el impacto ambiental de sus viajes y fomentar prácticas de turismo sostenible y responsable.

El sector turístico es responsable de una cantidad significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono (CO₂). Según este

último informe, el turismo contribuyó con aproximadamente el 5% (1,302 MtCO₂) del total de las emisiones de CO₂ causadas por el ser humano en 2005.

El transporte es uno de los mayores componentes de las emisiones de CO₂ del sector turístico, representando aproximadamente el 75% del total de las emisiones (980 MtCO₂). Los vuelos en avión, en particular, son una fuente importante de emisiones de CO₂ debido al alto consumo de combustible y la gran cantidad de emisiones que se producen durante el despegue y el aterrizaje (40% del total de las emisiones del sector turístico mundial) (Ver gráfica 6).

Gráfico 6: Emisiones estimadas del turismo mundial, 2005



Fuente: Elaboración propia con información de (OMT/PNUMA, 2008).

Además del transporte, otras actividades turísticas también contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la construcción y el mantenimiento de instalaciones turísticas, el consumo de energía y agua en hoteles y resorts, la producción y transporte de alimentos y otros bienes consumidos por los turistas, y la gestión de residuos.

Es importante hacer notar que desde el año 2005 han surgido muchas iniciativas y programas en la industria turística para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como la adopción de tecnologías más limpias y eficientes, la promoción de la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial, y el fomento del turismo responsable y sostenible. Estas iniciativas pueden ayudar a reducir la huella de carbono del sector turístico en el futuro.

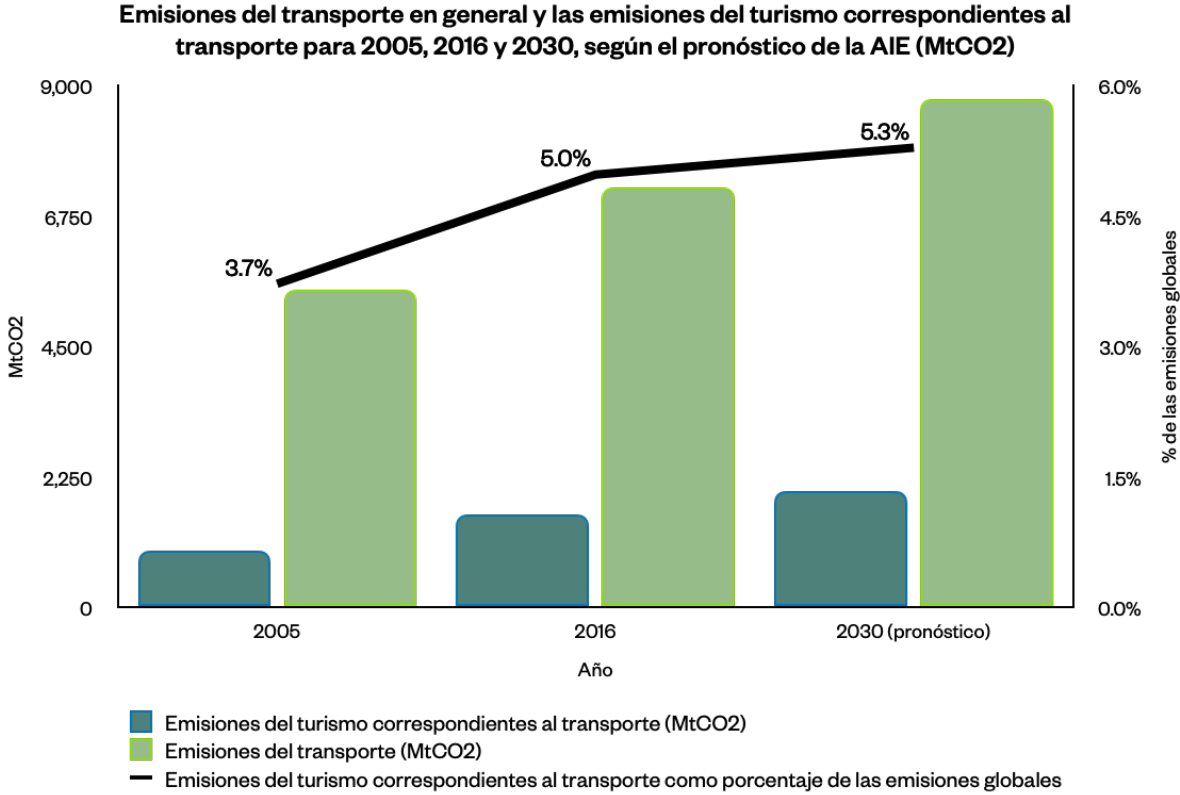
Las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte en la industria turística en el 2016 ascendieron a un total de 1,597 MtCO₂. De este total, 1,371 MtCO₂ fueron atribuibles a las estancias con pernoctación, mientras que los visitantes del día contribuyeron con 200 MtCO₂. En el mismo año, las emisiones totales del turismo relacionadas con el transporte representaron alrededor del 22% del total de las emisiones de transporte a nivel global, y alrededor del 5% de las emisiones globales causadas por el ser humano, que se estimaron en 32,100 MtCO₂ (OMT/ITF, 2020).

El pronóstico de la Agencia Internacional de Energía (AIE) para 2030 apunta a que las emisiones totales del turismo relacionadas con el transporte (excluyendo los cruceros) aumentarán a 1,998 Mt CO₂. De este total, 1,768 MtCO₂ serán atribuibles a los viajes con pernoctación y 230 MtCO₂ serán atribuibles a los visitantes del día.

Según el pronóstico, las emisiones del turismo representarían alrededor del 23% del total de las emisiones previstas en el transporte a nivel global, y alrededor del 5.3% de las emisiones globales previstas causadas por el ser humano en 2030, que se estiman en 37,800 MtCO₂ (AIE, 2018).

En la gráfica 7 están las emisiones del transporte en general y las emisiones del turismo correspondientes al transporte para 2005, 2016 y 2030, según el pronóstico de la Agencia Internacional de Energía (2018):

Gráfico 7: Emisiones del transporte en general y las emisiones del turismo correspondientes al transporte para 2005, 2016 y 2030, según el pronóstico de la AIE (MtCO2)



Fuente: Elaboración propia con información de (OMT/PNUMA, 2008).

Como se puede ver, tanto las emisiones del transporte en general como las emisiones del turismo correspondientes al transporte han aumentado significativamente entre 2005 y 2016. Se pronostica que continuarán aumentando en 2030, aunque se espera que el porcentaje de emisiones del turismo en el total de emisiones del transporte se mantenga relativamente estable. Este aumento destaca la necesidad de tomar medidas urgentes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria turística y en el transporte en general.

Esto destaca la necesidad de tomar medidas urgentes para reducir el impacto ambiental del turismo, particularmente en lo que se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero. La industria turística, los gobiernos y los consumidores deben trabajar juntos para reducir las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte, fomentando alternativas más sostenibles y eficientes, como el transporte público, la bicicleta, el caminar y los vehículos eléctricos.

1.4. Instrumentos existentes para reducir las emisiones de GEI y su aplicación en el sector turístico

Dentro del sector turístico, el transporte desempeña un papel significativo en las emisiones de GEI, especialmente en el caso de los viajes de larga distancia. Según el informe "Turismo y cambio climático" de la Organización Mundial del Turismo (OMT) del año 2008, el transporte representa el 75% de las emisiones totales de GEI causadas por el turismo (OMT/PNUMA, 2008). Este fenómeno se atribuye principalmente al transporte aéreo, que constituye una fuente significativa de emisiones de GEI debido a la quema de combustibles fósiles.

No obstante, es crucial tener en cuenta que no todos los modos de transporte tienen el mismo impacto en el clima. Los viajes en automóvil y avión son los que generan un mayor impacto ambiental, mientras que el transporte en tren o autobús tiende a ser menos contaminante. Además, es importante señalar que estas afirmaciones pueden pasar por alto las emisiones asociadas con la transformación de ecosistemas para convertir un lugar en un sitio turístico. Específicamente, no se consideran las emisiones vinculadas al transporte de productos consumidos en esos destinos ni aquellas relacionadas con la construcción de infraestructuras como carreteras y puertos.

El transporte turístico es una parte importante de la industria del turismo, y es necesario abordar la eficiencia del combustible y el cambio modal para reducir su impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad del sector.

Para aumentar la eficiencia del combustible, es importante fomentar el uso de tecnologías más limpias y eficientes en los diferentes modos de transporte. En el

caso de los automóviles, se puede promover la utilización de vehículos híbridos o eléctricos, así como el uso de biocombustibles o gas natural. En el caso de los aviones, se pueden utilizar combustibles alternativos, como biocombustibles o hidrógeno. En cualquier caso, la eficiencia en la gestión del combustible también es crucial para reducir el consumo y las emisiones de CO₂.

Además, se puede fomentar el cambio modal hacia modos de transporte más sostenibles, como el ferrocarril y el autocar. Estos modos de transporte son más eficientes en términos de consumo de combustible y emisiones de CO₂ por pasajero, y también pueden ser más económicos para los turistas. Para facilitar el cambio modal, es importante mejorar la infraestructura y la calidad de los servicios de transporte, y promover alternativas de transporte más sostenibles.

Continuando con el informe del PNUMA "Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges" (Cambio climático y turismo: responder a los retos mundiales) publicado en 2008, hay cuatro grandes estrategias de mitigación que se pueden implementar para hacer frente a las emisiones de GEI procedentes del turismo (OMT/PNUMA, 2008):

- i) Eficiencia energética y conservación: esta estrategia se enfoca en reducir el consumo de energía en el turismo y aumentar la eficiencia energética de los servicios turísticos. Por ejemplo, se puede implementar iluminación eficiente y sistemas de climatización en hoteles, y fomentar el uso de medios de transporte más sostenibles.
- ii) Uso de energías renovables: la utilización de fuentes de energía renovable como la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, entre otras, puede ayudar a reducir la huella de carbono de la industria turística. Los hoteles pueden instalar paneles solares para generar energía limpia, y las empresas de transporte pueden utilizar vehículos eléctricos o híbridos.
- iii) Gestión de residuos: la gestión adecuada de los residuos en el turismo puede reducir la cantidad de GEI emitidos. Por ejemplo, la separación de residuos y su reciclaje puede reducir la cantidad de desechos que terminan en

vertederos o incineradoras, lo que disminuirá la emisión de gases de efecto invernadero.

- iv) Compensación de carbono: finalmente, la compensación de carbono es una estrategia que consiste en compensar las emisiones de GEI mediante la inversión en proyectos que reduzcan las emisiones en otras partes del mundo. Por ejemplo, una empresa turística puede invertir en proyectos de energías renovables en países en desarrollo para compensar sus emisiones de GEI.

Estas cuatro estrategias de mitigación pueden combinarse y adaptarse a diferentes contextos y necesidades, y pueden ayudar a reducir significativamente las emisiones de GEI procedentes del turismo.

Los instrumentos son más eficaces cuando se dirigen a distintos grupos de interesados, como turistas, operadores turísticos, gestores de alojamientos, compañías aéreas, fabricantes de automóviles y aeronaves, así como gestores de destinos.

El turismo es una industria compleja y multidisciplinaria que involucra a muchos actores diferentes, cada uno de los cuales tiene un papel importante que desempeñar. Para lograr un turismo sostenible, es fundamental que se adopten medidas adecuadas que involucren a todos estos grupos de interesados.

Por ejemplo, los turistas pueden contribuir al turismo sostenible adoptando prácticas de viaje responsables y respetando el medio ambiente y la cultura local. Los operadores turísticos pueden desarrollar y promover paquetes turísticos sostenibles y responsables, y los gestores de alojamientos pueden implementar prácticas de gestión ambiental y socialmente responsables. Las compañías aéreas y los fabricantes de automóviles y aeronaves pueden trabajar para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y los gestores de destinos pueden desarrollar planes de turismo sostenible que protejan y preserven los recursos naturales y culturales de la región.

No obstante, surge la interrogante de si, incluso con todas estas acciones de los actores involucrados, la industria turística en su conjunto lograría ser

verdaderamente sustentable. En este sentido, es crucial considerar la participación de todos los grupos de interesados relevantes para alcanzar un turismo sostenible a largo plazo.

La eficiencia energética de las atracciones turísticas puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como el tipo de atracción, la tecnología utilizada y las prácticas de gestión y mantenimiento. Algunas atracciones turísticas pueden consumir grandes cantidades de energía debido a la iluminación, la climatización, los sistemas de sonido, los equipos electrónicos y otros sistemas necesarios para su funcionamiento.

Sin embargo, cada vez son más comunes las iniciativas para mejorar la eficiencia energética en las atracciones turísticas, lo que puede tener beneficios tanto ambientales como económicos. Estas iniciativas pueden incluir medidas como:

- Utilización de tecnologías de iluminación más eficientes, como bombillas LED y sistemas de control de iluminación.
- Uso de sistemas de calefacción y refrigeración eficientes y bien mantenidos, y de termostatos programables que permitan ajustar la temperatura según las necesidades de los visitantes y las condiciones climáticas.
- Instalación de paneles solares u otras tecnologías renovables para generar energía.
- Implementación de prácticas de gestión de residuos y reciclaje, para reducir la cantidad de residuos generados y fomentar su reutilización.
- Promoción de la movilidad sostenible, como el uso de bicicletas o transporte público, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte.
- En general, mejorar la eficiencia energética en las atracciones turísticas puede no solo reducir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad, sino también reducir los costos de energía y mejorar la rentabilidad a largo plazo.

A pesar de los avances significativos en la eficiencia energética en las últimas décadas, muchos sectores económicos todavía tienen un gran potencial para mejorar su eficiencia energética y reducir su consumo de energía.

La eficiencia energética es importante porque reduce el consumo de energía, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la mitigación del cambio climático. Además, también puede generar ahorros económicos para las empresas y los consumidores al reducir los costos de energía y aumentar la competitividad (Granade et al., 2009).

Los sectores con mayor potencial para mejorar la eficiencia energética incluyen la construcción, el transporte, la industria y el sector eléctrico. En el transporte, se pueden mejorar la eficiencia de los vehículos y promover modos de transporte más sostenibles, como el transporte público y la bicicleta. Además, se pueden implementar tecnologías de eficiencia energética en los motores de combustión interna, reduciendo así el consumo de energía y las emisiones asociadas.

En un estudio realizado en Austria, Petra Wächter (2013) enumeró algunas de las múltiples barreras que impiden una mayor adopción de medidas de eficiencia energética, a pesar de los beneficios que pueden generar. Algunas de estas barreras son:

- Falta de información
- Incentivos insuficientes
- Falta de financiamiento
- Barreras regulatorias
- Falta de capacidades técnicas.
- Inercia tecnológica
- Percepción de riesgos

A pesar del enorme potencial de mejora en la eficiencia energética, existen múltiples barreras que impiden su adopción. Para superar estas barreras, se requiere la colaboración de múltiples actores, incluyendo empresas, consumidores, reguladores y otras instituciones gubernamentales, para crear un entorno propicio para la adopción de medidas de eficiencia energética. Esto puede implicar cambios

en la regulación, el desarrollo de nuevos incentivos económicos y financieros, la promoción de tecnologías y prácticas más eficientes y una mayor educación y concienciación sobre la eficiencia energética.

1.5. Proyectos de eficiencia Energética vinculadas a motores eléctricos para abatir emisiones de GEI

Los siguientes proyectos se enfocan en implementar tecnologías de eficiencia energética en motores eléctricos con el objetivo de reducir las emisiones de GEI en diferentes sectores, como el energético, transporte, minería y ganadería. Para ello, se utilizan diversos estudios y herramientas, como la proyección de la evolución de las emisiones de GEI en el sector energía, realizada por expertos en el tema. También se utilizan estudios realizados por la consultora McKinsey & Company, que analizan los costos y la factibilidad de reducir las emisiones de GEI en diferentes sectores de la economía.

Además, se construyen curvas de abatimiento de gases de efecto invernadero y de costo marginal de abatimiento para diferentes tecnologías. Estas curvas permiten visualizar el impacto que tendría la implementación de cada tecnología en la reducción de emisiones de GEI y el costo asociado a cada una de ellas.

En la siguiente tabla se resumen algunos de estos proyectos, así como en que se aplicó la metodología de las curvas marginales de abatimiento de gases de efecto invernadero en algunas zonas.

Tabla 2: Proyectos de Investigación en Eficiencia Energética y Reducción de GEI

Proyectos	Descripción
Proyecto 1: "Proyección de la Evolución de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Energía. Años 2000-2025", PROGEA (2008).	Este proyecto se centra en proyectar cómo evolucionarán las emisiones de GEI en el sector energético, realizado por expertos en la materia y gestionando la demanda energética con el cambio de motores en las industrias industriales y minerales.
Proyecto 2: Mckinsey & Company (2007b) "Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions: How Much at What Cost?"	La consultora McKinsey & Company analiza los costos y la factibilidad de reducir las emisiones de GEI en diversos sectores de la economía. Una de las propuestas es incrementar la eficiencia energética en edificios.
Proyecto 3: OECD/IEA. (2008). "Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency".	La eficiencia energética ha reducido el consumo y las emisiones de CO2 en las últimas décadas, con un gran potencial de ahorro, especialmente en la industria y la generación de energía. Motores eléctricos eficientes son fundamentales para esto.
Proyecto 4: INECC, (2014). "Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Crecimiento Verde"	En el sector del transporte, se realizó un análisis comparativo entre las tecnologías convencionales (gasolina y diésel) y las tecnologías de bajo carbono con un alto potencial (GNC, híbrido y eléctrico).
Proyecto 5: Construcción de curvas de abatimiento de gases de efecto invernadero asociadas a proyectos de eficiencia energética en molienda y clasificación de la compañía minera Doña Inés de Collahuasi (Pérez, S.,2014).	Se construyeron curvas de abatimiento de GEI para proyectos de eficiencia energética en la compañía minera Doña Inés de Collahuasi, centrados en molienda y clasificación.
Proyecto 6: Elaboración de curvas de costo marginal de abatimiento para tecnologías del nama ganaderia costa rica por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2017).	El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza elabora curvas de costo marginal de abatimiento para tecnologías en el sector ganadero de Costa Rica relacionadas al NAMA.

Fuente: Elaboración propia a partir recopilación de diversos estudios y herramientas.

Capítulo 2: Economía ambiental: Objetivos e Instrumentos de control de la contaminación

La economía ambiental es un campo de estudio que aplica los principios económicos de la economía neoclásica para analizar cómo las actividades humanas afectan el medio ambiente y cómo se pueden gestionar económicamente de manera eficiente los recursos naturales y la protección ambiental. En términos económicos, esto implica maximizar el bienestar social o la utilidad total, considerando tanto los costos como los beneficios, tanto presentes como futuros. En este capítulo, se abordarán los fundamentos teóricos de la economía ambiental, el marco conceptual que la sustenta, así como los modelos y estándares de contaminación ambiental desde una perspectiva de eficiencia económica.

Se examinarán los objetivos de la política de control de la contaminación, incluyendo la eficiencia económica y la sustentabilidad ambiental. Además, se analizarán los instrumentos de control de la contaminación utilizados en la práctica, como los estándares de emisión, los impuestos y los sistemas de comercio de emisiones.

Se analizarán las ventajas y desventajas de los enfoques de comando y control en comparación con los instrumentos económicos de incentivos. El capítulo 2 de esta tesis se basa en el libro "Natural Resource and Environmental Economics" de Perman, Common, & McGilvray, publicado en 2011. Este libro es considerado una referencia clave en el campo de la economía ambiental y de los recursos naturales.

2.1. Modelos de contaminación dentro de un enfoque de eficiencia económica:

La economía ambiental es una disciplina que se fundamenta en los principios económicos de la economía neoclásica para analizar y abordar los desafíos

relacionados con la gestión de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. En el contexto de la metodología que se utilizará en esta tesis para analizar el costo-abatimiento de las medidas de mitigación de emisiones a través de la implementación de un proyecto de eficiencia energética, resulta fundamental comprender los fundamentos teóricos que respaldan la economía ambiental. Esto permitirá entender cómo se aplican los conceptos económicos en el análisis y diseño de políticas ambientales efectivas

En primer lugar, uno de los pilares de la economía ambiental es el análisis de la oferta y demanda de recursos naturales. Estos recursos son bienes escasos y limitados, y su gestión adecuada es esencial para asegurar su sostenibilidad y mantener la calidad del medio ambiente. Se entiende la calidad del medio ambiente en términos de la provisión continua de servicios y funciones ecosistémicas que sustentan la vida humana y económica, contribuyendo directamente al bienestar humano. Por lo tanto, su mantenimiento es fundamental desde una perspectiva de maximización del bienestar social.

El análisis de la oferta y demanda de recursos naturales implica estudiar cómo se determinan los precios de estos recursos en los mercados, cómo se asignan los recursos entre diferentes usos, y cómo se pueden mejorar los mecanismos de mercado para promover una gestión eficiente y sostenible de los recursos naturales.

En segundo lugar, otro concepto fundamental en la economía ambiental es el de externalidades y fallas de mercado. Las externalidades son efectos positivos o negativos de las actividades económicas que afectan a terceros y que no se reflejan en los precios de mercado. Según la teoría económica, algunos bienes y servicios ambientales no tienen un precio en los mercados debido a problemas de propiedad, externalidades y bienes públicos. Esta falta de precio puede deberse a la dificultad para excluir a las personas de su disfrute y a la posibilidad de que un individuo pueda beneficiarse sin pagar.

Por ejemplo, la contaminación es una externalidad negativa que afecta a la sociedad en general, pero no se refleja en los precios de los bienes y servicios contaminantes. Las fallas de mercado, como las externalidades, pueden generar ineficiencias en la

asignación de recursos y en la protección del medio ambiente. Esta situación requiere intervención del gobierno

En tercer lugar, la valoración económica del medio ambiente es un tema central en la economía ambiental. La valoración económica permite asignar un valor monetario a los bienes y servicios ambientales, como la calidad del aire, el agua o la biodiversidad, que a menudo no se reflejan en los precios de mercado. Esto es crucial para evaluar los beneficios y costos de las políticas ambientales, y para tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos y la evaluación de proyectos y políticas ambientales. La valoración económica se basa en una variedad de métodos, como la valoración contingente, la valoración hedónica y la valoración de precios de mercado, que requieren un análisis riguroso y preciso para obtener resultados confiables.

El objetivo principal de este capítulo es determinar el nivel apropiado de contaminación, o el "objetivo" de contaminación. Sin embargo, diferentes analistas pueden llegar a respuestas diferentes debido a varias razones. Estas razones incluyen diferencias en el marco de modelado utilizado, el objetivo que se persigue y la interpretación de la pregunta (Perman, R., Common, M., & McGilvray, J, 2011).

La actividad económica genera flujos de emisiones o residuos que imponen cargas en los sistemas ambientales. El impacto de estos flujos de residuos en la generación de daños ambientales depende de varios factores, como la capacidad asimilativa de los medios ambientales receptores, las cargas existentes en estos medios, la ubicación de los medios receptores y las preferencias de las personas afectadas. Parte de los flujos de emisiones se absorben y transforman rápidamente en formas inofensivas para los seres humanos y otros seres vivos por parte del medio ambiente. Sin embargo, en muchos casos, las capacidades de asimilación no son suficientes para tratar todos los residuos de esta manera, y en casos extremos, las capacidades de carga pueden llegar a cero cuando las cargas se vuelven excesivas. Además, los procesos físicos y químicos requieren tiempo para operar. Algunos gases de efecto invernadero, por ejemplo, requieren décadas para ser completamente absorbidos en los sistemas de agua o transformados químicamente

en sustancias no contaminantes. Esto implica que una parte de los residuos permanecerá sin absorberse o transformarse en cualquier intervalo de tiempo, lo que puede causar daños en el momento de su emisión y también acumularse como contaminantes en el futuro. Por lo general, los contaminantes se degradan en formas inofensivas, pero la tasa de degradación a menudo es muy lenta. El tiempo de vida de algunas sustancias radiactivas son de miles de años, y para algunos contaminantes altamente persistentes, como los metales pesados, la tasa de degradación es aproximadamente cero.

Se definen las siguientes dos clases de contaminación: contaminación por flujo y contaminación por existencias (pero puede haber casos mixtos).

- La contaminación por flujo se refiere a los daños causados por la velocidad con la que los residuos son vertidos en el medio ambiente. En este caso, el impacto está relacionado con la cantidad y la velocidad de los residuos que se generan y se vierten en el medio ambiente en un período de tiempo determinado.
- Por otro lado, la contaminación por existencias se refiere a los daños que dependen únicamente de la cantidad acumulada de contaminantes en el medio ambiente en un momento dado. En este caso, el impacto está relacionado con la cantidad total de contaminantes que se han acumulado en el medio ambiente, sin tener en cuenta la velocidad de generación de nuevos residuos.

Notemos que también puede haber casos mixtos en los que la contaminación resultante sea una combinación de la contaminación por flujo y la contaminación por existencias, es decir, tanto la velocidad de generación de residuos como la cantidad acumulada de contaminantes en el medio ambiente pueden influir en los daños causados.

En este contexto, se utilizan las siguientes notaciones para representar los aspectos relacionados con la contaminación y el daño ambiental asociado a las emisiones de GEI:

- M: Representa el flujo de contaminación, es decir, la tasa a la que se emiten los contaminantes al medio ambiente.
- A: Representa el stock de contaminación, es decir, la cantidad acumulada de contaminantes en el medio ambiente en un momento dado.
- D: Representa el daño causado por la contaminación.

Se plantean dos variantes de la función de daño:

1. Contaminación por flujo: En este caso, el daño (D) depende únicamente del flujo de contaminación (M), es decir, de la tasa a la que se emiten los contaminantes. Esto implica que el daño disminuirá instantáneamente a cero si se detiene por completo la emisión de contaminantes. Esta variante se representa matemáticamente como: $D = D(M)$.
2. Contaminación por existencias: En este caso, el daño (D) depende únicamente del stock de contaminación (A), es decir, de la cantidad acumulada de contaminantes en el medio ambiente en un momento dado. Esto implica que el daño persiste incluso si se detiene por completo la emisión de contaminantes, ya que los contaminantes previamente acumulados aún pueden causar daño. Esta variante se representa matemáticamente como: $D = D(A)$.

La teoría económica asume que los costos asociados a las emisiones de contaminantes se consideran como daños causados por la contaminación. Estos daños se asumen como independientes del tiempo y de la fuente de emisión, es decir, no varían a lo largo del tiempo ni dependen de la fuente específica de emisiones.

Además, se supone que las emisiones de contaminantes no tienen efectos fuera de la economía estudiada, es decir, se considera que los efectos de las emisiones están limitados al área o región económica que se está analizando, y no tienen impactos más allá de esa área.

Un nivel eficiente de emisiones, en la economía ambiental es aquel que maximiza los beneficios netos de la contaminación. Los beneficios netos se definen como los

beneficios generados por la contaminación menos los daños causados por la misma. En otras palabras, el nivel de emisiones óptimo es aquel que maximiza la diferencia entre los beneficios generados por la contaminación y los daños causados por la misma.

El nivel óptimo de emisiones se define como el resultado que se obtendría si la externalidad de la contaminación se internalizara por completo, es decir, si se lograra considerar y calcular de manera integral los costos sociales asociados a la contaminación. Es crucial reconocer, sin embargo, que esta internalización completa presupone una comprensión exhaustiva de los efectos interrelacionados de todos los componentes de los ecosistemas. Este planteamiento enfrenta el desafío inherente a las generalizaciones, ya que asume que podemos conocer de manera total los sistemas complejos. La complejidad y la incertidumbre inherentes a los ecosistemas impiden la internalización, ni siquiera parcial, de los costos de las actividades. La naturaleza impredecible de los sistemas complejos subraya la dificultad de anticipar plenamente cómo responderán a las presiones o cambios generados. En consecuencia, la búsqueda de un equilibrio entre beneficios y costos de la contaminación, a través de la internalización completa de sus costos, se ve limitada por la característica intrínseca de la incertidumbre en los sistemas complejos.

- $D = D(M)$: Esta ecuación establece que la función de daños causados por la contaminación (D) es una función de M , es decir, D varía en función del flujo de emisiones (M). La derivada $\frac{dD}{dM}$ (o $D'(M)$ en otra notación) representa la tasa de cambio marginal de los daños causados por la contaminación con respecto al flujo de emisiones, es decir, la cantidad adicional de daños causados por la contaminación que se espera como resultado de un incremento marginal en el flujo de emisiones.
- $B = B(M)$: Esta ecuación establece que la función de beneficios de la contaminación (B) es una función de M , es decir, B varía en función del flujo de emisiones (M). La derivada $\frac{dB}{dM}$ (o $B'(M)$ en otra notación) representa la tasa de cambio marginal de los beneficios de la contaminación con respecto

al flujo de emisiones, es decir, la cantidad adicional de beneficios de la contaminación que se espera como resultado de un incremento marginal en el flujo de emisiones.

- $NB = B(M) - D(M)$: Esta ecuación establece que la función de beneficios netos (NB) es la diferencia entre los beneficios (B) y los daños (D) de la contaminación. En otras palabras, representa el exceso de beneficios de la contaminación sobre los daños. La derivada $\frac{dNB}{dM}$ (o $NB'(M)$ en otra notación) representa la tasa de cambio marginal de los beneficios netos con respecto al flujo de emisiones, es decir, la cantidad adicional de beneficios netos que se espera como resultado de un incremento marginal en el flujo de emisiones.

La condición para maximizar los beneficios netos de la actividad económica en el contexto de las funciones marginales de beneficios y daños de la contaminación es:

$$\frac{dNB(M)}{dM} = \frac{dB(M)}{dM} - \frac{dD(M)}{dM} = 0$$

Esto significa que los beneficios marginales de la contaminación $\left(\frac{dB(M)}{dM}\right)$ deben ser iguales a los daños marginales de la contaminación $\left(\frac{dD(M)}{dM}\right)$ para lograr la maximización de los beneficios netos. En otras palabras, se busca el punto donde el beneficio adicional de un aumento marginal en el flujo de emisiones es igual al daño adicional causado por la contaminación en ese mismo nivel de emisiones.

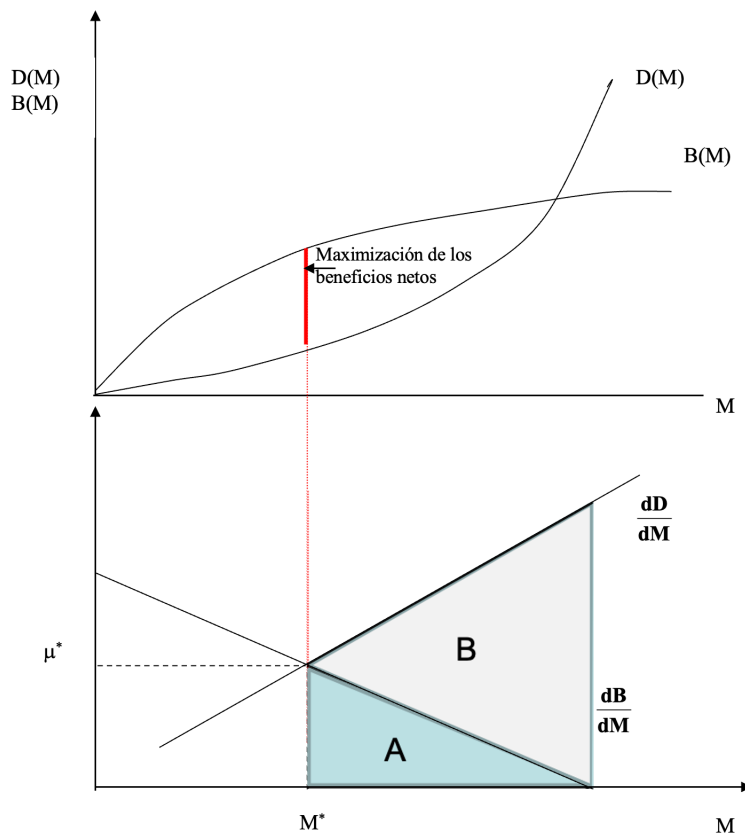
Esta condición es importante en la toma de decisiones de políticas ambientales, ya que implica que, para alcanzar la maximización de los beneficios netos de la actividad económica, se debe encontrar un equilibrio entre los beneficios y los daños de la contaminación. Si los beneficios marginales superan a los daños marginales, significa que todavía hay margen para aumentar el flujo de emisiones para maximizar los beneficios netos. Por otro lado, si los daños marginales superan a los beneficios marginales, significa que se deben reducir las emisiones para lograr una maximización de los beneficios netos.

En el gráfico 8 se presenta un resumen de estos últimos puntos, los cuales se pueden sintetizar como:

- El valor de las funciones de daño y beneficio marginales en su intersección se etiqueta como μ^* , y se puede considerar como el “precio” de equilibrio de la contaminación.
- Este precio tiene un significado particular en términos de una tasa eficiente de impuesto o subsidio a las emisiones, pero es un precio hipotético o sombra, ya que no existe un mercado real para la contaminación.
- μ^* también se puede describir como el precio sombra de la externalidad de la contaminación, y sería el precio de mercado eficiente si hubiera un mercado para el contaminante.
- El diagrama se aplica al primer mejor escenario, donde se asume un equilibrio competitivo total en el resto de la economía.
- En este escenario, la introducción de un impuesto pigouviano a una tasa μ^* por unidad de emisión reduciría las emisiones al nivel eficiente M^* , y la ganancia de eficiencia resultante se representa como el área B bajo la curva de beneficio marginal.
- El área "A" representa la pérdida de producción neta debido a la internalización de la externalidad, es decir, la reducción en el valor de la producción neta de los costos directos de producción que resulta de la imposición de un impuesto pigouviano.
- Sin embargo, fuera de un mundo óptimo, el resultado generalmente no es válido debido a las distorsiones del equilibrio competitivo del primer mejor, y estamos en un segundo mejor mundo con múltiples distorsiones del mercado.
- La condición de eficiencia de emisiones es que *el nivel eficiente de contaminación es aquel que minimiza la suma de los costos totales de abatimiento y los costos totales de daños*. Esto se puede observar en la gráfico 9, donde la curva de "costo marginal de abatimiento" representa los

beneficios marginales perdidos al reducir las emisiones, y el objetivo es encontrar el punto en el que estos costos son mínimos

Gráfico 8: Funciones de daños y beneficios totales y marginales, y nivel eficaz de emisiones contaminantes de los flujos

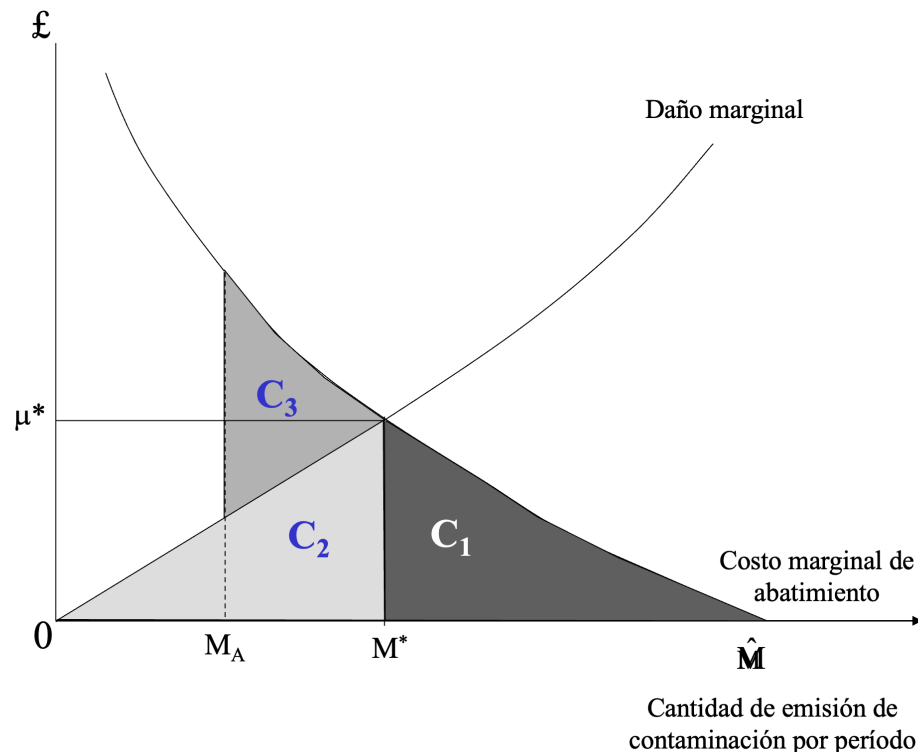


Fuente: (Perman, Common, & McGilvray, 2011)

Para confirmar el resultado de minimización de costos, se observa en gráfico 9, que en el nivel eficiente de contaminación, M^* , la suma de los costos totales de daños y los costos totales de reducción es mínima (C_2+C_1). Cualquier otro nivel de emisiones resultará en costos totales más altos. Además, poca contaminación o reducción de la contaminación resultará en costos totales más altos ($C_1 + C_2 + C_3$), donde C_3 representa la pérdida de eficiencia por reducción excesiva. El nivel eficiente de contaminación no será, en general, cero, lo que implica que la eliminación completa de la contaminación no es necesariamente eficiente.

Esta última reinterpretación se basa en el hecho de que *la reducción de emisiones implica costos de abatimiento, que son iguales a los beneficios marginales perdidos. A medida que aumenta el nivel de abatimiento de la contaminación (nos movemos a la izquierda de \widehat{M}), los costos marginales de abatimiento aumentan a una tasa creciente.*

Gráfico 9: El nivel de contaminación económicamente eficiente minimiza la suma de los costes de reducción y de daños



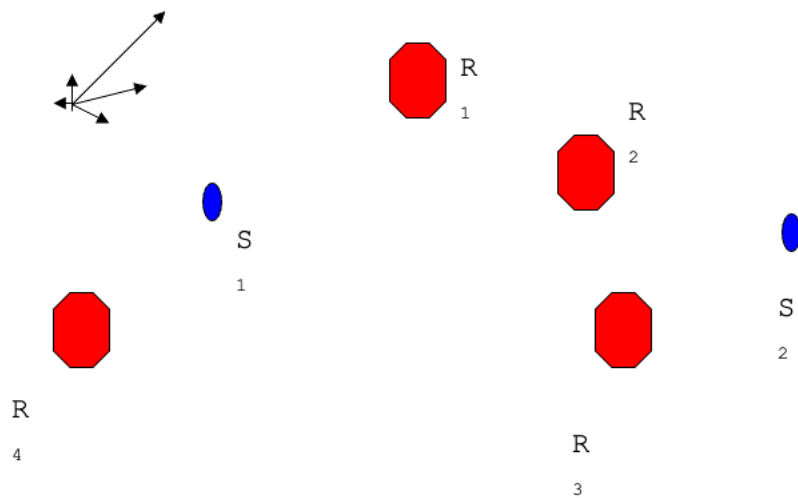
Fuente: (Perman, Common, & McGilvray, 2011)

2.2. Control de la contaminación cuando los daños dependen de la ubicación de las misiones:

Analicemos ahora los contaminantes comunes que tienen tiempos de residencia cortos en el medio ambiente. Si consideramos una figura (gráfico 10) que muestra dos fuentes de contaminación, S1 y S2, ubicadas cerca de áreas urbanas, R1, R2, R3 y R4, cuyas poblaciones se ven afectadas negativamente por las

concentraciones del contaminante. Se asume que las emisiones de las fuentes persisten como máximo durante unos pocos días y que las concentraciones de contaminantes en cualquier día están determinadas únicamente por las emisiones recientes, sin efectos de acumulación a largo plazo.

Gráfico 10: Una cuenca atmosférica espacialmente diferenciada



Fuente: (Perman, Common, & McGilvray, 2011)

La mezcla de un contaminante se refiere a la forma en que se dispersa o extiende en el medio ambiente. Un contaminante se considera que se mezcla uniformemente (UM) cuando se dispersa rápidamente y su distribución espacial es uniforme, lo que significa que la concentración del contaminante no varía de un lugar a otro. Esto es común en gases de efecto invernadero y algunos contaminantes del aire. Sin embargo, muchos contaminantes, como el ozono en la atmósfera inferior, los óxidos de nitrógeno y azufre en áreas urbanas, y las emisiones de motores diésel, no se mezclan uniformemente.

La ubicación de la fuente de emisión de un contaminante UM es irrelevante en términos de la distribución espacial de las concentraciones de contaminantes. Independientemente de la ubicación de la fuente, las concentraciones de contaminantes se distribuyen uniformemente en el área de interés. Esto significa que la cantidad total de emisiones es lo que importa en términos de las concentraciones en cualquier receptor.

Cuando los contaminantes no se mezclan uniformemente, la ubicación de las fuentes se vuelve importante. No habrá una relación única entre las emisiones y las concentraciones en todo el espacio, y los valores de concentración pueden variar en diferentes lugares. Además, si la cantidad total de emisiones (representada como M) se mantiene constante pero la distribución de fuentes cambia, la configuración espacial de las concentraciones (representada como A) también cambiará.

La relación entre la mezcla de un contaminante (M) y la concentración del contaminante en un área específica (A) está determinada por un coeficiente fijo (k), que es constante para cualquier tipo de contaminación. Esto significa que la concentración del contaminante (A) es igual al producto del coeficiente (k) y la mezcla del contaminante (M), es decir, $A = kM$.

Esta relación permite traducir la función de daño, que es una función de la población afectada, en una función de flujo equivalente utilizando la relación $A = kM$. Esto significa que se puede utilizar el modelo de contaminación por flujo, en el cual se considera la concentración del contaminante en el área afectada en lugar de la mezcla del contaminante. Esto simplifica el análisis y cálculo de los objetivos de emisiones de diversas fuentes de contaminación, ya que se puede utilizar una medida más concreta y fácil de medir como la concentración del contaminante en lugar de la mezcla del contaminante, que puede ser más difícil de determinar en la práctica.

En situaciones donde la ubicación de los contaminadores y las personas ya está determinada y no es factible trasladarlos, es importante calcular los objetivos de emisiones de las diversas fuentes. Esto puede implicar el uso de instrumentos de regulación y control, como la zonificación y otras formas de planificación, para

abordar los aspectos espaciales de la contaminación y minimizar sus impactos en la salud humana y el medio ambiente

2.3. Niveles eficientes de emisión de contaminantes de stock

El análisis de contaminantes de stock, donde el daño depende del nivel acumulado del contaminante en lugar de las emisiones en un periodo de tiempo, requiere consideraciones adicionales en comparación con el análisis de contaminantes de flujo. En el caso especial en el que la reserva de contaminantes se degrada instantáneamente a una forma inofensiva, se puede trabajar con unidades de flujo y el análisis es similar al de los contaminantes de flujo.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, los contaminantes de stock son persistentes a lo largo del tiempo y pueden ser transportados en el espacio, lo que requiere tener en cuenta el tiempo y el espacio en el análisis de la contaminación. Por lo tanto, es conveniente tratar estas dos dimensiones por separado.

En particular, los contaminantes con un tiempo de residencia corto, del orden de un día o algo similar, y aquellos con una vida considerablemente más larga, en años en lugar de días, requerirán diferentes enfoques de análisis. Por ejemplo, los contaminantes con un tiempo de residencia corto pueden tener un impacto localizado y su análisis puede estar más enfocado en el estudio de la dispersión espacial y temporal de la contaminación en una región específica. En cambio, los contaminantes con una vida más larga pueden tener un alcance más amplio y requerir un análisis que considere la acumulación del contaminante en el tiempo y el espacio en una escala regional o global.

2.4. Instrumentos de control de la contaminación:

Cuando la entidad encargada de la protección ambiental tiene la tarea de alcanzar un objetivo de reducción de la contaminación, tiene a su disposición una variedad

de instrumentos o herramientas para lograrlo. Sin embargo, la elección del instrumento apropiado puede ser complicada, ya que esta entidad generalmente tiene múltiples objetivos y considera varios criterios al tomar decisiones.

Una forma de abordar la elección del instrumento es mediante la caracterización de cada uno de ellos en términos de un conjunto de atributos, que incluyen aspectos como el impacto en la distribución del ingreso y la riqueza, la estructura de incentivos generados y los costos asociados con la reducción de la contaminación. Cada instrumento puede recibir una puntuación en función de cómo se ajusta a los objetivos buscados por la entidad encargada de la protección ambiental. Por ejemplo, se puede asignar una puntuación más alta a un instrumento que tenga atributos que se alineen bien con los objetivos deseados por la entidad encargada de la protección ambiental.

La tabla 3 presenta un conjunto de criterios que se pueden utilizar para evaluar los méritos relativos de los instrumentos. Estos criterios incluyen aspectos como eficiencia en costos, efectividad en la reducción de la contaminación, equidad en la distribución de costos y beneficios, flexibilidad para adaptarse a cambios en las condiciones y capacidad para enfrentar la incertidumbre.

Tabla 3: Criterios para la selección de instrumentos de control de la contaminación

Criterio	Breve descripción
Rentabilidad	¿El instrumento logra el objetivo al menor costo?
Efectos a largo plazo	¿La influencia del instrumento se fortalece, debilita o permanece constante en el tiempo?
Eficiencia dinámica	¿Crea el instrumento incentivos continuos para mejorar los productos o procesos de producción de manera que se reduzca la contaminación?
Beneficios complementarios	¿El uso del instrumento permite lograr un “doble dividendo”?
Equidad	¿Qué implicaciones tiene el uso de un instrumento para la distribución del ingreso o la riqueza?

Confianza	¿Hasta qué punto se puede confiar en el instrumento para lograr el objetivo?
Flexibilidad	¿Se puede adaptar el instrumento de forma rápida y económica a medida que surge nueva información, cambian las condiciones o se modifican los objetivos?
Costos de uso bajo incertidumbre	¿Qué tan grandes son las pérdidas de eficiencia cuando el instrumento se usa con información incorrecta?
Requisitos de información	¿Cuánta información requiere el instrumento que posea la autoridad de control y cuáles son los costos de adquirirla?

Fuente: (Perman, Common, & McGilvray, 2011)

Estas tres observaciones son importantes al considerar la elección de instrumentos para abordar la contaminación:

- Conflictos o compensaciones entre criterios alternativos: El uso de cualquier instrumento puede implicar conflictos o compensaciones entre diferentes criterios.
- Variación de ponderaciones en función de los tipos de contaminación: Es probable que las ponderaciones de los criterios varíen según el tipo de contaminación que se esté abordando.
- No hay un único instrumento ideal para todas las circunstancias: No existe un único instrumento que sea el mejor para abordar todos los tipos de contaminación en todas las circunstancias. La elección del instrumento adecuado dependerá de una serie de factores, como la naturaleza y magnitud de la contaminación, la disponibilidad de tecnologías y recursos, las consideraciones económicas, sociales y políticas, y los objetivos específicos de la entidad encargada de la protección ambiental en un contexto particular.

En la Tabla 4 se presentan los instrumentos más comunes, y se hace énfasis en su método de operación y en si son o no rentables.

Tabla 4: Instrumentos más comunes de control de la contaminación

Instrumento	Descripción	Ejemplos (Notas 1, 2)
Enfoques institucionales para facilitar la internalización de las externalidades		
Facilitación de la negociación	Costo o impedimentos para la negociación son reducido	Información sobre contaminadores colocada en el domino público
Especificación de responsabilidad	Codificación de la responsabilidad por daños ambientales	Se utiliza para compensar el daño respiratorio en Japón
Desarrollo de la responsabilidad social	Programas de educación y socialización que promuevan la "ciudadanía"	Campañas mediáticas de conservación de energía; Etiquetado ambiental
Instrumentos de comando y control		
Controles		
Controles de entrada sobre la cantidad y/ o combinación de entradas	Requisitos para usar insumos particulares, o prohibiciones/restricciones en el uso de otros	Prohibición del uso de agentes de limpieza tóxicos
Controles de tecnología	Requisitos para usar métodos o estándares particulares	Obligación de instalar convertidores catalíticos en los escapes. BAT, BATNEEC
Cuotas de producción o prohibiciones	Límites máximos intransferibles a la producción de productos	
Licencias de emisiones	Límites máximos no transferibles de las cantidades de emisión	Prohibición del uso de DDT Cuotas de vehículos Licencias de descarga de efluentes
Controles de ubicación (zonificación, controles. o mantención)	Normas relativas a la ubicación admisible de actividades	Regulaciones de zonificación de la industria pesada
Instrumentos de incentivos económicos (market-based)		

Cargos/impuestos por emisiones	Cargos directos basados en la cantidad y/o calidad de un contaminante	Cargos por contaminación del aire (p. ej., sobre NOx y SO2) Impuestos sobre el carbono/energía Cargos por afluentes de agua Cargos por contaminación acústica Impuestos sobre fertilizantes y plaguicidas
Cargos de usuario/tarifas/impuestos sobre recursos naturales	Pago por el costo de los servicios colectivos (cargos), o por el uso de un recurso natural (tasas o impuestos sobre los recursos)	Cargos a los usuarios por la recolección, el tratamiento o la eliminación de desechos municipales Cargos por desechos peligrosos Cargos por aguas residuales Cargos por ruido de aeronaves Cargos por extracción de agua Tarifa de congestión
Cargos/impuestos del producto	Aplicado a productos contaminantes	Impuestos o cargas sobre neumáticos de vehículos, residuos nucleares, bolsas de plástico, otros desechables
Subsidios para la reducción de emisiones y la gestión de recursos	Pagos financieros diseñados para reducir emisiones dañinas o conservar recursos escasos	Subvención a la energía generada a partir de residuos Ayudas a la agricultura ecológica
Permisos de emisión negociables(transferibles, negociables)	Dos sistemas: los basados en créditos de reducción de emisiones (ERCS) o cap-and-trade.	Emisiones de CO2, de las centrales eléctricas
Sistemas de depósito-reembolso	Un pago total o parcialmente reembolsable incurrido en la compra de un producto	Botellas de plástico recargables Tasas por botellas de cerveza y refrescos de un solo uso
Tarifas por incumplimiento	Pagos realizados por contaminadores o usuarios de recursos por	Vertimiento al mar de petróleo de los buques

	incumplimiento, generalmente proporcionales al daño o a las ganancias	
Fianzas de cumplimiento	Un depósito pagado, reembolsable al lograr el cumplimiento	Australia: sitios mineros EE. EE.UU: tajos abiertos
Pagos de responsabilidad	Pagos en compensación por daños	Restauración de sitios contaminados por vertidos ilegales

Fuente: (Perman, Common, & McGilvray, 2011)

1. Muchos de los ejemplos de la tabla están extraídos de OCDE (1999) y EPA (1999). Estas referencias estaban disponibles en línea en el momento de escribir este artículo en los sitios web de la OCDE y la USEPA.
2. Los casos particulares se mencionan únicamente como ejemplos. Los listados no son exhaustivos.
3. BAT es 'Mejor tecnología disponible'; BATNEEC es 'La mejor tecnología disponible, que no implica un costo excesivo'.

2.5. Eficiencia y eficacia de los instrumentos de abatimiento de la contaminación:

El principio de eficiencia en costos se refiere a que el uso de instrumentos que sean costo-efectivos es necesario para lograr una asignación económicamente eficiente de recursos en el control de la contaminación. Esto significa que, si existe un instrumento en particular que pueda alcanzar una meta de reducción de emisiones a un costo real más bajo que cualquier otro instrumento, entonces ese instrumento se considera costo-efectivo.

El teorema del costo mínimo del control de la contaminación establece que una condición necesaria para lograr la reducción de contaminación al menor costo posible es igualar los costos marginales de abatimiento (MCA, por sus siglas en inglés) entre todos los contaminadores. Esto implica que los contaminadores deben reducir sus emisiones de manera que el costo adicional de reducir una unidad adicional de emisiones sea igual para todos.

Capítulo 3: Descripción de la zona costera de Isla Aguada, Campeche

3.1. Importancia de las zonas costeras en México

El territorio mexicano cuenta con una extensión importante de zonas marítimas de jurisdicción nacional, que incluyen el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva. Esta área representa una superficie de 3,149,920 km^2 , que se divide en 2,320,380 km^2 para el Océano Pacífico y 829,540 km^2 para el Golfo de México y Mar Caribe. Es esencial que estas zonas sean gestionadas de manera sostenible para garantizar el bienestar de la nación (Gobierno de México, 2018).

De las entidades federativas que componen México, 17 tienen costa y representan el 56% del territorio nacional. En estas entidades, existen 150 municipios con frente litoral, lo que corresponde al 21% de la superficie continental del país. Además, la superficie insular mexicana es de 5,127 km^2 .

La longitud total de la costa mexicana es de 11,122 km, siendo 7,828 km correspondientes al litoral del Pacífico y Golfo de California, y 3,294 km al Golfo de México y Mar Caribe. La importancia estratégica de la ubicación geográfica de México, entre los dos océanos más grandes del planeta, resalta la necesidad de gestionar de manera efectiva y sostenible los recursos marinos y costeros de la nación.

Durante el período de 2003-2016, los estados costeros de México contribuyeron con el 43% del Producto Interno Bruto (PIB) del país, aunque se observó una disminución del 2.15% en 13 años (Gobierno de México, 2018). Esta tendencia a la baja se refleja en los indicadores históricos de las actividades económicas en las regiones costeras y marítimas. Entre los estados que tienen un mayor impacto en esta contribución se encuentran Baja California, Jalisco, Sonora, Campeche y Veracruz (Gobierno de México, 2018). Estos estados se caracterizan por su predominio en actividades manufactureras y servicios. Además, aproximadamente el 43% de la población en los estados costeros forma parte de la población económicamente activa, con notables disparidades en los ingresos de los ocupados

en diferentes áreas geográficas. Estos datos subrayan la complejidad económica de las regiones costeras y su importancia en el contexto nacional.

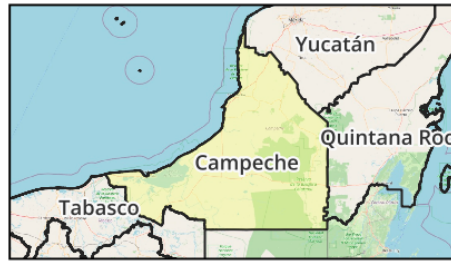
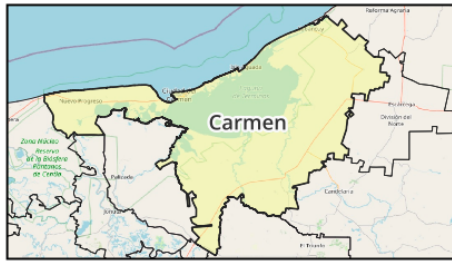
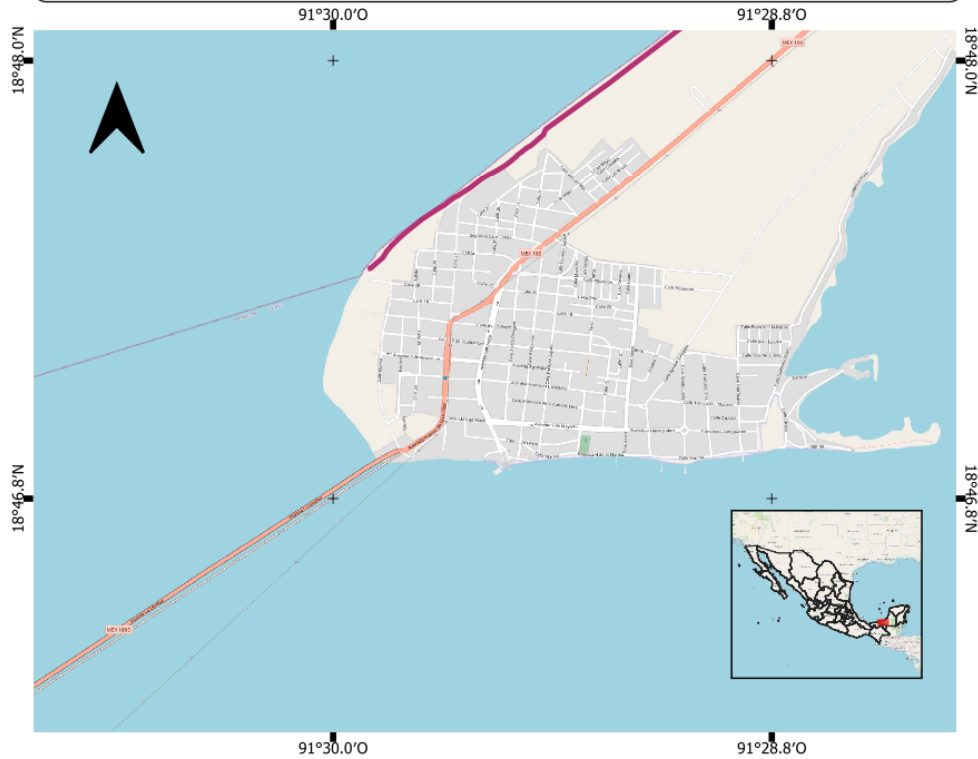
El turismo emerge como una de las fuerzas económicas más dinámicas en el país, experimentando un crecimiento de más del 11% en ingresos de divisas durante el periodo 2012-2016 (SECTUR, 2017). Esta industria aporta entre el 8.5% y el 8.7% al Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Las proyecciones indican que esta tendencia de crecimiento en la contribución al PIB, ingresos y empleos generados por el sector persistirá. A pesar de los beneficios económicos, es esencial abordar las implicaciones ambientales que el turismo puede tener en el ecosistema marino y costero.

3.2. Área de estudio: Isla Aguada, Campeche


La región de estudio de esta investigación es Isla Aguada, Campeche, una región con un valor económico y ambiental excepcional. Esta área y su zona de influencia forman parte del Área de Protección de Flora y Fauna "Laguna de Términos", un sistema lagunar y estuario que desempeña un papel crucial en la ecología y economía del Golfo de México.

La delimitación geográfica abarca Isla Aguada, una región situada en el estado de Campeche, México. Coordenadas geográficas 18°46'59"N 91°29'00"O, definen su ubicación precisa (Mapa 1).

Mapa 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio



Leyenda

-  Municipio: Carmen
-  Municipios
-  Estado: Campeche
-  Entidades Federativas
-  Línea Costera
- OSM Standard



Sistema de Referencia de Coordenadas
EPSG: 6365 - México ITRF 2008

Escala Numérica: 19365

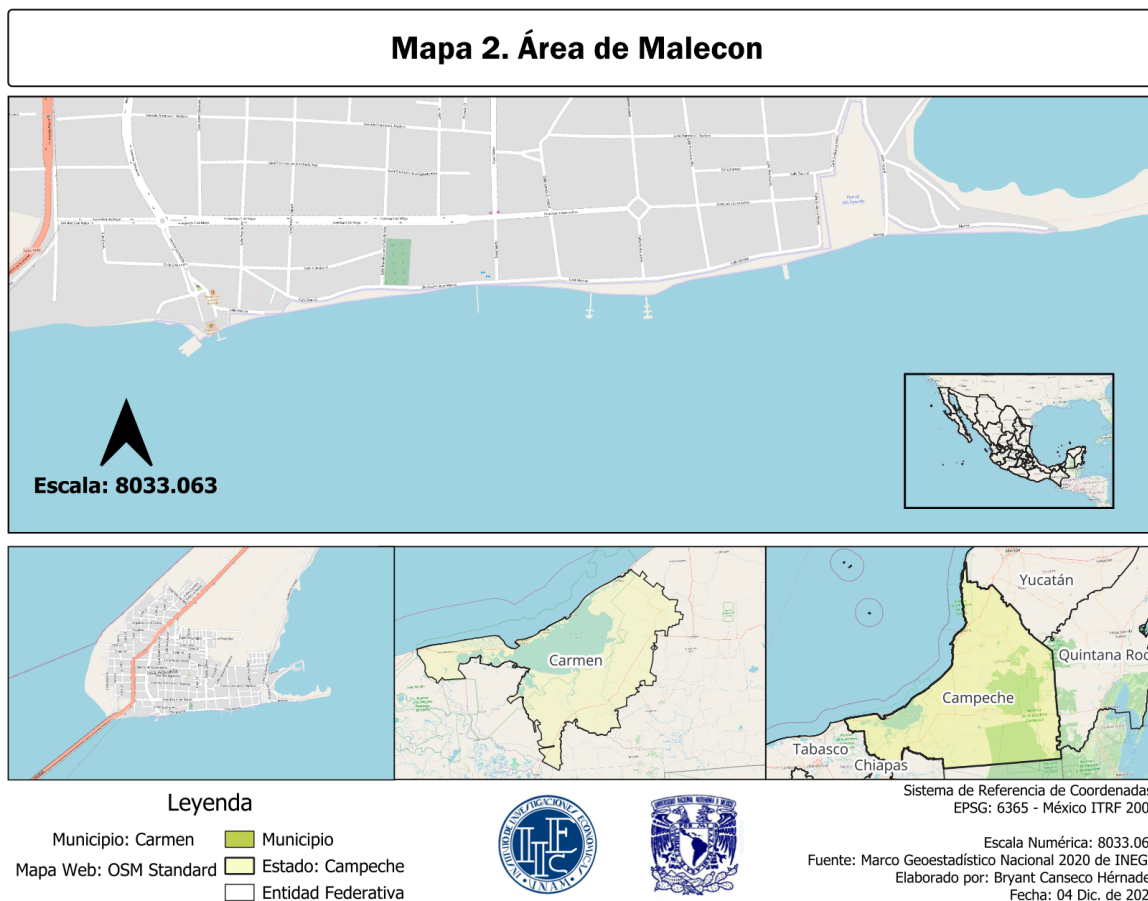
Fuente: Marco Geoestadístico Nacional
2020 de INEGI.

Elaborado por: Bryant Canseco Hernández
Fecha: 04 Diciembre de 2023

Los humedales que abarcan Isla Aguada forman una de las unidades ecológicas más significativas en México debido a su rica biodiversidad y productividad natural. Estos hábitats albergan una diversidad de asociaciones vegetales acuáticas y terrestres, desempeñando un papel crítico para especies pesqueras y de anidación, como las tortugas marinas y aves migratorias. La presencia destacada de delfines

"Nariz de botella" y el islote de "Isla de los pájaros", hogar de diversas especies de aves marinas, contribuyen al peculiar paisaje natural. Isla Aguada se ha convertido en un "Pueblo Mágico" desde el año 2020, reforzando su atractivo turístico (Secretaría de Turismo, 2020)

La ubicación de esta área de estudio abarca la región costera del estado de Campeche, con su historia cultural y económica íntimamente relacionada con la Laguna de Términos. Esta laguna es un componente clave del sistema de ríos Grijalva-Usumacinta, que aporta significativa agua dulce y sedimentos al Golfo de México. Su biodiversidad se mantiene en gran parte debido a la relativa preservación del uso del suelo en Campeche (Mapa 2).



La región ofrece hábitats esenciales para especies pesqueras de importancia comercial, como camarones y robalos, y también alberga especies amenazadas como cocodrilos, manatíes y jaguares. La presión económica, incluyendo la industria petrolera, la navegación y la pesca, junto con factores naturales, ha

impulsado la designación de esta área como protegida. La regulación y promoción de actividades sustentables son fundamentales para equilibrar la interacción entre el medio ambiente y la comunidad local (Secretaría de Turismo, 2020).

3.3. Actividades económicas

López Laynes (2011) señaló en una investigación que Isla Aguada, Campeche, está experimentando una transformación económica significativa, pasando de depender principalmente de la pesca a explorar el potencial del turismo. Esta transformación implica cambios fundamentales tanto en la dinámica económica como en la vida cotidiana de sus habitantes.

La pesca ha sido una columna vertebral histórica de la economía de Isla Aguada, sustentando a cientos de familias durante generaciones. Sin embargo, en las últimas décadas, una serie de desafíos ha socavado la rentabilidad y sostenibilidad de la pesca en la región. López Laynes también señaló en su trabajo, que entre estos desafíos se incluyen los crecientes costos de insumos esenciales como la gasolina y el diésel, problemas en la comercialización de productos pesqueros en los mercados internacionales, como el camarón, y la explotación insostenible de los recursos marinos. La actividad petrolera, que se ha expandido desde mediados de los años setenta en la Sonda de Campeche, ha contribuido aún más a la disminución de las áreas de pesca tradicionales.

El resultado de estos factores es una reducción dramática en la producción pesquera, lo que ha dejado a numerosas familias de Isla Aguada enfrentando dificultades económicas. A pesar de esta situación, más de 12,000 familias en el estado de Campeche todavía dependen de la pesca para su subsistencia.

En respuesta a este panorama desafiante, se han impulsado proyectos de desarrollo turístico en la región. Estos proyectos, promovidos por el gobierno, organizaciones de la sociedad civil y el sector privado, buscan capitalizar los recursos naturales y culturales de Isla Aguada para fomentar el crecimiento del turismo en la zona. Entre las actividades turísticas que se han promovido se incluyen

recorridos en lancha para la observación de aves, delfines y manglares, así como experiencias de ecoturismo en la Isla de Pájaros.

Es importante observar que Isla Aguada se encuentra dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, lo que impone una responsabilidad adicional de planificación cuidadosa y conservación del entorno natural en cualquier desarrollo económico en la zona.

Sin embargo, la transición hacia una economía más orientada al turismo no ha estado exenta de desafíos. Los pescadores locales, organizados en cooperativas, están tratando de participar en la actividad turística, pero se enfrentan a obstáculos relacionados con la capacitación y la organización. López Laynes también señaló que la falta de unidad y la rivalidad entre los diferentes grupos de pescadores han sido desafíos para aprovechar plenamente las oportunidades del turismo. A pesar de estas dificultades, la población local ve el turismo como una fuente de empleo y una vía para mejorar su calidad de vida. Se espera que los programas de turismo generen empleos en diversas áreas, como meseros, jardineros, choferes, restaurantes, tiendas y servicios turísticos, diversificando así las fuentes de ingresos en la comunidad (López Laynes, 2011).

Además del turismo y la pesca, Isla Aguada también ha experimentado cambios en otras actividades económicas. La agricultura, aunque menos prominente que la pesca y el turismo, sigue siendo una fuente de sustento para algunos habitantes. Además, pequeños negocios locales, como tiendas y restaurantes, han surgido para atender tanto a la población local como a los turistas.

3.4. Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) en la zona costera Isla Aguada, Campeche: Necesidad de cambio de motores como parte de la transición energética.

El Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) se originó en 1992 con el propósito de promover el desarrollo sostenible. Esta iniciativa ha habilitado el acceso de comunidades locales y organizaciones de la sociedad civil (OSC) a los recursos del

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Su enfoque está en apoyar proyectos que estén alineados con las estrategias del FMAM (PPD-MÉXICO, 2021a).

El PPD tuvo su fase piloto inicial entre 1992 y 1996, estableciéndose en 33 países, incluyendo México. Gracias a su éxito, en su segunda fase operativa se expandió a 63 países. Durante su tercera fase operativa, que ocurrió entre 2003 y 2007, su presencia se amplió a 101 países, y en la actualidad opera en 126 países en todo el mundo.

En México, el PPD comenzó durante la fase piloto en 1992. Desde entonces y hasta 2019, ha invertido más de 38 millones de pesos en el sur-sureste de México, respaldando una variedad de proyectos que abarcan temas como agroecología, manejo forestal sustentable, apicultura, entre otros. Los recursos del PPD se han destinado principalmente a cinco estrategias clave: agroecología y agroforestería, acuacultura sustentable y pesca responsable, turismo alternativo, manejo forestal sustentable y apicultura orgánica.

El PPD en México se enfoca en fomentar la participación comunitaria en la resolución de desafíos ambientales globales y en mejorar la calidad de vida de las comunidades en las que opera a través de organizaciones con personalidad jurídica.

Los subsidios del PPD se otorgan a iniciativas que involucran actividades como acuacultura de bajo impacto con especies autóctonas, agroforestería y agroecología, apicultura orgánica, capacitación y asistencia técnica, conservación, difusión, forestería certificada, investigación y educación, manejo de fauna y flora, planificación de propuestas de proyectos, turismo alternativo, entre otras.

En 2019, se desarrollaron cinco estrategias con visión de paisaje al 2030 para el PPD en México en colaboración con las comunidades locales. Estas estrategias buscan abordar las necesidades actuales de las comunidades basándose en su entorno biocultural y promoviendo el manejo sustentable de los recursos naturales en los ecosistemas más biodiversos del sureste mexicano.

El PPD otorga pequeñas donaciones a organizaciones no gubernamentales y grupos de base que desarrollan proyectos en iniciativas como acuacultura de bajo impacto con especies autóctonas, agroforestería y agroecología, apicultura orgánica, capacitación y asistencia técnica, conservación, difusión, forestería certificada, investigación y educación, turismo alternativo, entre otras.

La estrategia del Paisaje de la cuenca baja del Grijalva-Usumacinta se desarrolló en colaboración con el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo del Medio Ambiente Mundial (FMAM) y otras agencias. Su objetivo es guiar la planificación, gestión, implementación y monitoreo de inversiones futuras del PPD para contribuir a la preservación, recuperación y revitalización de las interrelaciones socioambientales en el paisaje hídrico, lagunar y estuarino Grijalva-Usumacinta. Este paisaje es estratégicamente importante para la seguridad nacional debido a su extensión y contribución al caudal de agua dulce de la nación. No obstante, también enfrenta desafíos significativos, como la pérdida y degradación de ecosistemas y el impacto del cambio climático.

3.5. Cooperativa de Bienes y Servicios Turísticos Isla de Pájaros S.C. de R.L. de C.V. Isla Aguada, Campeche: TURISMO ALTERNATIVO EN HUMEDALES DE ISLA AGUADA

Etapas 1: Fomento del turismo alternativo en los humedales de Isla Aguada

El proyecto de TURISMO ALTERNATIVO EN HUMEDALES DE ISLA AGUADA, desarrollado en colaboración con el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo del Medio Ambiente Mundial (FMAM) y otras agencias, tiene como objetivo principal fomentar el turismo alternativo en los humedales de Isla Aguada, en Campeche, a través de la Cooperativa de Bienes y Servicios Turísticos Isla de Pájaros S.C. de R.L. de C.V. La meta de esta etapa es incrementar tanto la afluencia de visitantes en la temporada alta como en la temporada baja, con el propósito de generar mayores ingresos para la comunidad y promover un uso sustentable de los recursos naturales. Además, se busca atraer a más turistas extranjeros y contribuir

a la conservación de los humedales costeros en el Área Natural Protegida (ANP) Laguna de Términos (PPD-MÉXICO, 2021b).

Etapa 2: Investigación sobre la transición a motores eléctricos

Dentro de este ambicioso proyecto de fomentar la transición a motores eléctricos en Isla Aguada, la presente tesis desempeña un papel fundamental al proporcionar un análisis integral de la viabilidad y los beneficios asociados con la transición de los motores actuales a motores eléctricos. Esta investigación no solo evalúa los aspectos técnicos y económicos de dicho cambio, sino que también calcula las emisiones de gases contaminantes que se reducirán significativamente como resultado de esta transición.

El estudio desarrollado en esta tesis aborda detalladamente los siguientes aspectos clave:

- **Análisis de Viabilidad Técnica:** Se examinarán las características técnicas y el desempeño de los motores eléctricos en el contexto de las actividades turísticas en los humedales. Se consideran aspectos como la potencia, autonomía, y la capacidad para cumplir con los requisitos operativos.
- **Análisis de Costos y Beneficios:** Se realizará un análisis económico exhaustivo que incluye la inversión inicial en los nuevos motores eléctricos, los costos operativos, y la proyección de los beneficios económicos esperados. Esto abarca desde el ahorro en combustible hasta el potencial aumento de ingresos debido a la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles.
- **Cálculo de Emisiones Abatidas:** Un aspecto crucial de esta investigación es la cuantificación precisa de las emisiones de gases contaminantes, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas, que se reducirán como resultado del uso de motores eléctricos en lugar de los motores de combustión interna actuales. Estos cálculos se basan en estándares reconocidos y en mediciones reales.

El aporte de esta tesis no solo fortalece la base de conocimientos de este proyecto, sino que también proporciona información esencial para respaldar la toma de decisiones informadas en la implementación de tecnologías más sostenibles en el sector turístico de Isla Aguada. La incorporación de motores eléctricos no solo promoverá la conservación del entorno natural, sino que también contribuirá a la mejora de la calidad del aire y al desarrollo de una experiencia turística más responsable y amigable con el medio ambiente.

Capítulo 4: Método

Las curvas de costos marginales de abatimiento (CCMA) son una herramienta importante para concienciar y proporcionar información a los actores involucrados sobre el potencial de reducción de emisiones de GEI y el costo asociado a las medidas de eficiencia energética en un año o periodo específico. Esto puede ayudar a superar la barrera de la falta de información y concientización sobre las opciones disponibles para mejorar la eficiencia energética (Wächter, 2013).

Al proporcionar una visualización clara del costo y potencial de reducción de emisiones de cada medida, las curvas de costos marginales de abatimiento pueden ayudar a los tomadores de decisiones a identificar las medidas de eficiencia energética más rentables y efectivas en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto puede motivar a los actores a adoptar medidas de eficiencia energética y proporcionar un marco para el diseño de políticas y estrategias de eficiencia energética más efectivas.

El objetivo de esta tesis es estimar los costos del consumo energético para un año determinado de las lanchas con motores de combustión interna en la cooperativa turística de Isla Aguada, Campeche, con tal de obtener un punto de referencia que permita comparar los costos de implementar el cambio de los motores de combustión interna en eléctrico-solares para así, mitigar las emisiones de GEI, para después representarlos en una curva de costos marginales de abatimiento (MACC por sus siglas en inglés). De esta forma se podrán determinar las opciones más

costo-efectivas que permitan reducir el consumo de energía y la huella de carbono asociado a las actividades de pesca y turismo a través del cambio los motores de combustión interna en eléctrico-solares.

Con este fin, se utilizará un modelo que consiste en la comparación de dos escenarios: uno tendencial o escenario base (consumo energético para un año determinado de las lanchas con motores de combustión interna en la zona costera de Isla Aguada, Campeche) y uno alternativo o escenario de mitigación (el cambio de los motores de lancha de combustión interna en eléctrico-solares, a partir de un motor eléctrico y un sistema de carga de baterías, asociado a las actividades de turismo. Estos escenarios proyectados a un año típico de actividad turística).

Al identificar las medidas que tienen un costo de abatimiento más bajo, los responsables de la toma de decisiones pueden priorizar estas medidas en sus planes de mitigación y lograr la máxima reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al menor costo posible.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para construir las curvas de costos marginales de abatimiento. Se describen los componentes necesarios para la construcción de cada escenario y se detallan los pasos seguidos para obtener la información, así como el análisis realizado.

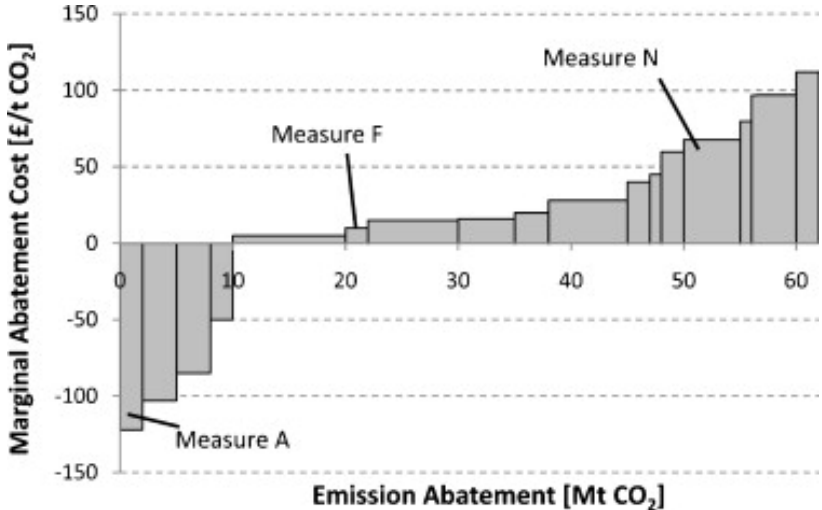
4.1. Ejemplo de una CCMA de GEI

La curva CMA es un gráfico que muestra el costo de reducir una unidad adicional de emisiones de gases de efecto invernadero en relación con la cantidad total de emisiones reducidas. En la curva CMA, el eje horizontal representa la cantidad de emisiones reducidas, en general en millones de toneladas de CO₂eq, y el eje vertical representa el costo marginal de reducir una unidad adicional de emisiones, en general en dólares o cualquier otra moneda (Wächter, 2013).

El diseño de la CCMA utilizando múltiples bloques rectangulares es una forma visual y efectiva de representar los resultados de cada opción de reducción de CO₂eq. El

ancho del bloque indica los beneficios potenciales en términos de reducción de CO₂eq en toneladas, lo que indica la cantidad de reducción de CO₂ que se puede lograr mediante la implementación de esa opción. Cuanto más ancho sea el bloque, mayor será la reducción de CO₂ potencial asociada con esa opción.

Gráfico 11: Ejemplo de curva CMA



Fuente: Kesicki and Strachan (2011).

La CCMA se utiliza comúnmente para evaluar la rentabilidad de diferentes opciones de mitigación, y para identificar las opciones más rentables para lograr un determinado objetivo de reducción de emisiones. Por lo general, las opciones de mitigación se ordenan en orden creciente de costo marginal, lo que permite a los responsables políticos seleccionar las opciones más rentables para alcanzar un objetivo de reducción de emisiones determinado.

Si en un análisis de costo-beneficio de tecnologías de mitigación, el resultado es negativo, esto significa que la nueva tecnología tiene una ventaja financiera derivada de menores costos de energía. Por lo tanto, cuando el valor es negativo, se puede decir que la reducción de las emisiones es efectivamente "gratis" en el sentido de que los beneficios obtenidos superan con creces los costos incurridos.

Esto sugiere una situación favorable desde una perspectiva económica, ya que se logra la mitigación de emisiones con un impacto financiero positivo.

Para calcular los costos (flujos netos descontados) de abatimiento de CO₂eq, se divide el costo adicional o el ahorro financiero obtenido por la cantidad de CO₂eq ahorrados. Esto permite comparar el costo de reducción de emisiones de diferentes tecnologías o medidas de mitigación.

La CCMA es solo una herramienta simplificada para evaluar las opciones de mitigación, ya que los costos y beneficios reales pueden variar ampliamente en función de factores como la ubicación geográfica, el tipo de tecnología y la disponibilidad de recursos. Además, la CCMA no tiene en cuenta los costos y beneficios a largo plazo de las medidas de mitigación.

La evaluación de opciones tecnológicas de mitigación se basa en la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con las tecnologías disponibles, así como en la identificación de los costos y beneficios de cada opción. La selección de opciones tecnológicas de mitigación se basa en el análisis de la eficacia y la viabilidad técnica de las opciones, así como en la evaluación de los costos y beneficios de cada opción (Huang & Wu, 2021).

Es cierto que la CCMA ha ganado importancia en los últimos años como una herramienta clave para la toma de decisiones en la mitigación del cambio climático. McKinsey & Company han sido uno de los principales actores en la popularización de la CMA, a través de su trabajo en la identificación y evaluación de opciones de mitigación en diferentes sectores y países (McKinsey, 2007).

En 2007, McKinsey publicó un informe llamado "Cost Curves for Greenhouse Gas Reduction", que evaluó más de 250 opciones de mitigación en todo el mundo y desarrolló curvas de costo marginal de abatimiento para cada opción. Este informe fue uno de los primeros en utilizar la CMA para evaluar la efectividad y el costo de diferentes opciones de mitigación, y ha sido ampliamente citado y utilizado por investigadores, responsables políticos y empresas en todo el mundo (Enkvist, Naucler y Rosander, 2007)

Desde entonces, otros grupos de investigación y organizaciones han utilizado la CCMA para evaluar las opciones de mitigación y promover políticas climáticas efectivas y costo-efectivas. La CCMA ha demostrado ser una herramienta útil para identificar las opciones de mitigación más efectivas y rentables, y ha ayudado a orientar la inversión en tecnologías bajas en carbono y en la implementación de políticas climáticas ambiciosas.

Antes de detallar cada paso para la construcción de CCMA de GEI, se procederá a explicar en profundidad el trabajo de campo realizado. Este trabajo de campo fue fundamental para recopilar la información necesaria que se utilizó en el cálculo de la CCMA y en los análisis de viabilidad económico-ambientales.

En términos metodológicos, es importante destacar que el método empleado para este estudio se divide en dos secciones principales: el trabajo de campo y el trabajo de gabinete o construcción de la curva CMA. Comenzando con el trabajo de campo, se describirá cuándo y a quiénes se entrevistó, proporcionando una visión clara de la recolección de datos en el terreno.

4.2. Obtención de la información

Se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas con los responsables de la “Cooperativa de Bienes y Servicios Turísticos Isla de Pájaros S.C. de R.L. de C.V” con el objetivo de recopilar información detallada acerca de los motores existentes y los motores eléctricos proyectados. Se obtuvieron datos relativos a los costos totales vinculados a la creación de los motores eléctricos, así como información sobre la operación y mantenimiento de ambos tipos de motores utilizados exclusivamente en sus actividades turísticas.

Las entrevistas semi-estructuradas involucraron a los dos fundadores de la cooperativa, quienes poseen la información clave sobre las actividades turísticas, específicamente los recorridos en lancha, objeto de nuestro análisis de eficiencia energética. También se realizó una entrevista adicional con el asesor técnico externo, responsable de guiar la construcción de los motores eléctricos que

reemplazarán a los motores de combustión. La elección de esta cooperativa se basa en su compromiso con un proyecto respaldado por el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este proyecto al busca la construcción de motores eléctricos, hace más probable su implementación en los próximos meses, aportando datos más realistas sobre costos y consumo eléctrico.

Las entrevistas se llevaron a cabo del 05 al 07 de mayo de 2023 en el Centro Ecoturístico Zazil-Há. Se organizaron en tres secciones esenciales, detalladas en el Anexo 1, que incluye la entrevista completa. Dichas secciones fueron:

- Sección 1 - Datos generales de la cooperativa: En esta sección, se recopilaron datos generales sobre la cooperativa turística, incluyendo su nombre, año de fundación, número de miembros totales y las actividades ecoturísticas que lleva a cabo. También se obtuvieron datos relacionados con la flota de lanchas que utilizan motores de combustión interna, la cantidad de viajes realizados, la duración de los viajes y las tarifas aplicadas.
- Sección 2 - Datos de motores de combustión interna: En esta parte, se recopilaron datos específicos sobre los motores de combustión interna utilizados por la cooperativa. Estos datos incluyeron información sobre los modelos de motores, costos de adquisición, costos de puesta en marcha, costos de mantenimiento y reparaciones, consumo de combustible, seguros, impuestos, licencias y costos de capacitación.
- Sección 3 - Datos de motores eléctricos: se obtuvieron datos sobre los motores eléctricos, incluyendo los costos de inversión, materiales, mano de obra, baterías, cargadores, inspecciones y certificaciones, seguros, reguladores de carga y paneles solares. También se recopilaron datos sobre el consumo de electricidad, costos de operación y mantenimiento, y otros costos operativos asociados. Estos datos se obtuvieron de una entrevista con el asesor técnico de la cooperativa.

Adicionalmente, se obtuvieron datos sobre la percepción ambiental de los entrevistados, así como su opinión sobre el cambio de motores y su impacto en el medio ambiente marino. También se recabaron opiniones sobre programas de apoyo para transiciones tecnológicas más sostenibles en el turismo. Aunque esta información no se utilizó en el análisis, contribuyó a entender las perspectivas sobre proyectos de eficiencia energética.

Además de las entrevistas, los responsables de la cooperativa mostraron los motores en uso y el progreso en la construcción de los motores eléctricos, una tarea que realizan con la asesoría técnica de un externo.

Gráfico 12: Motor de combustión interna en uso actualmente en la cooperativa y motor eléctrico en proceso de construcción



El motor de la izquierda es el motor de combustión utilizado actualmente por la cooperativa, mientras que el motor de la derecha es el motor eléctrico en proceso de construcción que sustituirá a los motores de combustión interna actualmente en uso.

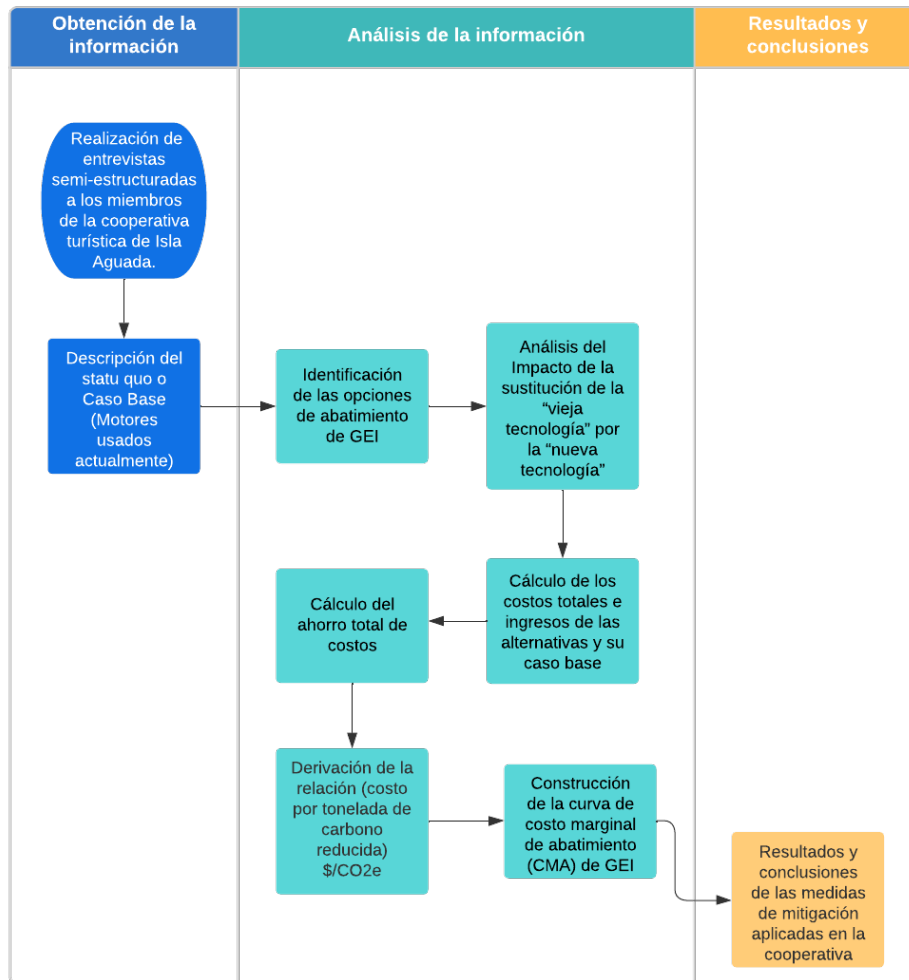
Fuente: Propia

4.3. Pasos para construir la CCMA de GEI

La creación de una CCMA para la reducción de GEI puede requerir varios pasos, que dependerán del nivel de detalle y precisión deseados (Wächter, 2013). A continuación, se describen los pasos que se seguirán, y que generalmente se siguen, para obtener las CCMA:

Gráfico 13: Pasos para construir la CCMA de GEI

Pasos para construir la curva de costo marginal de abatimiento (CMA) de GEI asociada a la implementación de medidas tecnológicas de eficiencia energética en la navegación eléctrica de la cooperativa turística en Isla Aguada, Campeche



Fuente: Elaboración propia a partir del artículo de Wächter, 2013.

1) Paso 1: Descripción del statu quo o escenario base:

El primer paso para derivar una CCMA implica la descripción del estado actual o caso base en un año específico. Esto requiere la recopilación de información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) actuales, las fuentes de emisión y los patrones de consumo de energía y recursos naturales. Esta descripción se basó en datos y detalles específicos recopilados para la tesis, y la información base se obtuvo a través del trabajo de campo descrito en la sección anterior.

2) Paso 2: Identificación de las opciones de abatimiento de GEI:

El segundo paso es identificar las opciones de abatimiento de GEI disponibles para reducir las emisiones de GEI. Estas opciones pueden incluir tecnologías de eficiencia energética, energías renovables, medidas de conservación, cambios en el uso de la tecnología y otros enfoques de mitigación.

En la siguiente tabla se presentan las alternativas tecnológicas de abatimiento de emisiones que se utilizarán para el análisis de las curvas MACC en el contexto de la cooperativa turística investigada. Las medidas propuestas consideran la sustitución de todos los motores de combustión de la cooperativa turística por 4 alternativas que se describen a continuación:

Tabla 5: Descripciones de las medidas de abatimiento de emisiones que se usarán para el análisis de curvas MACC

Medida	Explicación de la medida
Motores eléctricos creados	Esta medida plantea la construcción, por parte de los miembros de la cooperativa turística, de motores eléctricos que cuenten con las mismas o al menos muy cercanas características de los motores de combustión interna usados actualmente. Estos motores eléctricos sustituirán por completo a los 4 motores de combustión que se usan y realizará los mismos trayectos en cuanto a número y tiempo. Las características completas del nuevo motor se muestran en los anexos.
Motores de combustión nuevo más eficiente	Se plantea comprar un motor de combustión nuevo, pero al menos un 15% más eficiente en cuanto a consumo de combustible. Este motor tendría las mismas características de los motores usados actualmente.

Motores eléctricos comprado	Esta media contempla la compra de un motor eléctrico en el mercado con al menos las mismas características de los motor actuales o muy cercanas a estas. La cotización de este motor se agrega en los anexos.
Motores eléctricos creado + paneles solares	La última medida contempla añadir a la medida de los motores eléctricos creados la opción de alimentar a las baterías de estos motores por medio de paneles solares. Aproximadamente, se instalarían 12 paneles para poder satisfacer los viajes que la cooperativa realizaría al año.

Fuente: Elaboración propia

3) Paso 3: Análisis del Impacto de la sustitución de la “vieja tecnología” por la “nueva tecnología” en cuanto a sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):

Para llevar a cabo este análisis, es necesario comparar los parámetros de la tecnología antigua y la nueva para identificar las diferencias en términos de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El análisis se llevará a cabo durante un período de 5 años, y durante este tiempo se contabilizarán las emisiones de GEI de ambas tecnologías.

Los factores de emisión son valores que representan la cantidad promedio de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidas por unidad de energía o combustible utilizado. Estos factores son esenciales para calcular la cantidad de toneladas de CO₂e que se reducirán al implementar una tecnología o medida de mitigación específica. Los factores de emisión son generados por organismos nacionales o internacionales, como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), y pueden variar según la fuente de energía o combustible, la región geográfica y otros factores.

Para calcular la cantidad de toneladas de CO₂e emitidas, se multiplica la cantidad de energía o combustible consumido por el factor de emisión correspondiente. Por ejemplo, si se utiliza una tecnología que consume 1,000 kWh de energía y el factor de conversión para la región es de 0.5 tonCO₂e/kWh, entonces se puede calcular que se han emitido 500 toneladas de CO₂e.

Es importante destacar que, en esta investigación, se utilizaron los siguientes factores de emisión específicos para el análisis:

Tabla 6: Factores de emisión de los combustibles usados en los motores

Factores de emisión		
Factor de emisión gasolina en kg de CO2 por litro de combustible.	2.31	El factor de emisión de gasolina es una cifra importante para calcular las emisiones de CO2e asociadas con la navegación eléctrica en comparación con el uso de gasolina. Se ha elegido el valor de 2.31 kg de CO2 por litro de combustible de acuerdo con el informe técnico INECC/A1-008/2014 realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC, 2014). Se calculó como el promedio de los factores de emisión para la gasolina en todas las regiones del país.
Factor de emisión eléctrico en tCO2e / MWh	0.423	El factor de emisión eléctrico es esencial para evaluar la huella de carbono de la energía eléctrica utilizada en la navegación eléctrica. Se ha seleccionado el valor de 0.423 tCO2e por MWh como el factor de emisión del año 2021 publicado por la SEMARNAT, 2022. Esto permite una evaluación precisa de la eficiencia energética de la navegación eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

La fórmula para calcular la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de la medida m durante t años es la siguiente, según el informe de Cifuentes y Pica (2010):

$$Em_t^m = \sum_t (FE_t^c * CE_t^{cm})$$

Donde:

- c es el tipo de combustible utilizado.
- FE_t^c es el factor de emisión de GEI del combustible c en el año t , expresado en toneladas de CO2 equivalente por unidad de energía.
- CE_t^{cm} es el consumo de energía del combustible c de la implementación de la medida m .

Esta última fórmula calcula la emisión de GEI anual de la medida m durante t años, como la suma de las emisiones de cada tipo de combustible utilizado, multiplicado por el consumo de energía de cada combustible.

En este caso, calculamos el consumo de combustible durante un período de 5 años y lo multiplicamos por un factor de emisión único para cada medida, asumiendo que dicho factor se mantuvo constante a lo largo de los 5 años de la proyección. Además, consideramos que la cantidad de viajes realizados fue constante cada año. El balance de carbono se calculó restando las emisiones totales de CO2e de cada alternativa a las emisiones totales de CO2e del caso base (remociones de carbono). De esta manera, obtenemos las emisiones abatidas por escenario durante todo el periodo de proyección de 5 años. La siguiente fórmula muestra cómo se calculan las emisiones abatidas (balance de carbono) para cada medida de mitigación (m) durante la proyección:

Emisiones abatidas de CO2e en ton durante el periodo de proyección (5 años)

$$= Em_{5 \text{ años}}^{\text{Medida de mitigación } m} - Em_{5 \text{ años}}^{\text{Caso base}}$$

4) Paso 4: Cálculo de los costos totales e ingresos de las alternativas y su escenario base

El paso 4 del proceso implica el cálculo de los costos totales de cada medida de mitigación, teniendo en cuenta factores como los costos de inversión, el tiempo de vida de la medida y las tasas de interés relevantes. Además, es esencial calcular los ingresos de las alternativas y del caso base.

A continuación, proporciono una explicación detallada de cómo se llevaron a cabo los cálculos de los diferentes costos, gastos y flujos netos en los estados financieros, tanto para las medidas de mitigación como para el caso base. Es fundamental destacar que los costos y gastos relacionados con las ventas se refieren exclusivamente a los ingresos generados por los viajes turísticos en las lanchas de la cooperativa.

Es necesario tener en cuenta que la cooperativa opera con cuatro motores en su flota. Por lo tanto, los cálculos se realizaron de manera individual para cada uno de estos motores. Luego, para obtener los resultados totales, multiplicamos los cálculos por 4, ya que hay cuatro motores en total. Esto nos proporciona una visión

completa de los costos, gastos y flujos netos relacionados con las medidas de mitigación y el caso base, considerando la operación de toda la flota de motores de la cooperativa.

a) Costos, gastos y flujos netos:

- **Ventas totales** = Total de viajes al año * Precio total por viaje
- **Costos de inversión de las lanchas con motor de combustión interna de la cooperativa turística (en pesos)** = Costo de adquisición del motor + Costos de puesta en marcha + Costos de pruebas y certificaciones + Costos de capacitación y entrenamiento.
- **Costos de operación y mantenimiento para el motor de combustión interna (en pesos) por modelo de motor al año** = Costo del combustible (anual) + Mantenimiento y reparaciones (anuales) + Seguro (anual) + Impuestos y licencias (anual) + Salarios de empleados (anual).
- **Costo de ventas (para los motores de combustión interna anuales en pesos)** = Costo del combustible (anual) + Mantenimiento y reparaciones (anuales) + Salarios de empleados (anual).
- **Gastos de administración (para todas las medidas de mitigación anual en pesos)** = Seguro (anual) + Impuestos y licencias (anual).
- **Ventas (para todas las medidas de mitigación anuales en pesos)** = Costo total por viaje * Número promedio de viajes por año.
- **Costos de inversión de las lanchas con motor eléctrico creado (en pesos)** = Diseño + Materiales + Mano de obra (construcción e instalación) + Batería + Cargador de batería.
- **Costos de inversión de las lanchas con motor eléctrico creado + Paneles solares (en pesos)** = Diseño + Materiales + Mano de obra (construcción e instalación) + Batería + Cargador de batería + Regulador de carga y paneles solares.
- **Costos de operación y mantenimiento para las lanchas con motor eléctrico (en pesos) anual** = Costo de electricidad (KWh) anual +

Mantenimiento y reparaciones (anuales) + Seguro (anual) + Impuestos y licencias (anuales) + Salarios de empleados (anual).

- **Costo de ventas (para los motores eléctricos sin paneles solares anuales en pesos) = Costo de electricidad (KWh) anual + Mantenimiento y reparaciones (anuales) + Salarios de empleados (anual).**
- **Gastos de administración (para todos los motores eléctricos anual en pesos) = Seguro (anual) + Impuestos y licencias (anual).**
- **Costo de ventas (para los motores eléctricos con paneles solares anuales en pesos) = Mantenimiento y reparaciones (anuales) + Salarios de empleados (anual).**

b) Los parámetros económicos que se usarán en esta tesis se muestran a continuación:

- **Precios de los combustibles/electricidad:** El precio de referencia para evaluar proyectos de eficiencia energética se basa en los precios actuales de los combustibles y la electricidad en el mercado. Para establecer un precio de referencia para evaluar proyectos de eficiencia energética, se pueden considerar los precios promedio de los últimos meses o años, así como las proyecciones de precios a futuro. También se pueden consultar las fuentes oficiales de los precios de los combustibles y la electricidad, como los organismos gubernamentales o las empresas de servicios públicos. Para esta tesis se ocuparon los siguientes precios de la gasolina y la electricidad como el promedio de todo el año 2022 (CRE, 2023):

Tabla 7: Precios de los combustibles/electricidad (MXN) usados en las proyecciones

Precios de los combustibles/electricidad (MXN)	
Precio KWh	\$2.00

Precio litro de Gasolina	\$21.54
--------------------------	---------

Fuente: Elaboración propia

- Tasas de interés: Las tasas de interés que se utilizaron fueron la tasa de los CETES, la tasa de inflación, la tasa de riesgo, la tasa real y la WACC que a continuación se describen con más detalle y los supuestos para elegir cada una de estas:

Tabla 8: Tasas de interés usadas (efectivas anuales) usadas en las proyecciones

Tasas de interés usadas (efectivas anuales)		
Tasa de los CETES	8%	Esta tasa se utiliza como la tasa libre de riesgo en el cálculo del costo de capital. El 8% se basa en las tasas promedio de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) en México, que se consideran inversiones de bajo riesgo. Es conveniente tomar esta tasa porque refleja la oportunidad de inversión en un activo libre de riesgo disponible en el mercado financiero mexicano. Utilizar una tasa más alta podría sobreestimar el costo de capital y hacer que los proyectos parezcan menos rentables de lo que realmente son.
Tasa de Inflación	5%	La tasa de inflación es un indicador importante para ajustar las proyecciones de flujos de efectivo en términos reales. El 5% se basa en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) del mes de junio de 2023, el cual incrementó 0.10% respecto al mes anterior. Con este resultado, la inflación general anual se ubicó en 5.06% (INEGI 2023)
Prima de Riesgo	13%	La prima de riesgo (13%) se suma a la tasa de los CETES (8%) para reflejar el riesgo específico del proyecto. Se justifica por la necesidad de compensar a los inversionistas (miembros de la cooperativa turística), que requieren al menos un 21% de rendimiento. Esto garantiza que se considere adecuadamente la incertidumbre y los riesgos del proyecto. La prima de riesgo es la diferencia entre el rendimiento esperado y la tasa libre de riesgo, que son 13% y 8%, respectivamente (Gitman, 2009).
Tasa Real	2%	La tasa real se calcula como $((1+Tasa\ CETES)/(1+Tasa\ de\ inflación))-1$. El 2% refleja un valor realista en el contexto de una economía con una inflación moderada. Es conveniente tomar en cuenta esta tasa porque permite evaluar el proyecto en términos de poder adquisitivo constante, lo que facilita la comparación con otras inversiones y proyectos en un entorno inflacionario.

Rendimiento esperado de los socios (WACC)	21.48%	El WACC se utiliza para calcular el valor presente neto (VPN) del proyecto y representa el costo promedio ponderado del capital de la empresa. El 21.48% se basa en la combinación de costos de financiamiento y la estructura de capital de la empresa. Como solo se cuenta el capital de la cooperativa (socios) este se calcula con la fórmula para el rendimiento esperado por los socios (Gitman, 2009).
---	--------	---

Fuente: Elaboración propia

Para obtener los flujos netos de cada medida de mitigación, se utilizó la utilidad (o pérdida) neta del estado de resultados de cada medida, tanto del año base (2022) como de los siguientes 5 años mediante proyecciones, siguiendo los supuestos establecidos en la tabla siguiente.

Tabla 9: Aumento de los costos y gastos en el tiempo de la proyección

Aumento de los costos y gastos en el tiempo		
Aumento de los costos de ventas por año	6%	El aumento anual del 6% en los costos de ventas se basa en los datos históricos y tendencias proporcionados durante la entrevista con los responsables de la cooperativa turística. Esto refleja un incremento constante en los costos operativos relacionados con las actividades turísticas por encima de la inflación promedio.
Aumento de los costos de administración por año	3%	El aumento anual del 3% en los costos de administración se basa en datos históricos y tendencias proporcionados durante la entrevista con los responsables de la cooperativa turística. Refleja un crecimiento moderado de los gastos operativos relacionados con la gestión del proyecto de navegación eléctrica en la región, teniendo en cuenta que no se involucran muchos gastos en las operaciones de los viajes turísticos.
Aumento del precio de venta por viaje	8%	El aumento anual del 8% en el precio de venta por viaje se basa en una estrategia de fijación de precios destinada a mantener la competitividad y mejorar los ingresos del proyecto a lo largo del tiempo. Esta tasa se ha seleccionado para reflejar un incremento gradual en la demanda y la capacidad de ofrecer tarifas más altas sin perjudicar la demanda. Además, en las entrevistas se mencionó que este incremento se realiza por encima de la tasa de inflación, lo que respalda la estrategia de crecimiento sostenido.

Fuente: Elaboración propia

Así, la utilidad (pérdida) neta se calculó utilizando la siguiente fórmula:

- **Utilidad (pérdida) neta del estado de resultados para cada medida =** Ventas totales - Costo de ventas - Gastos de administración - Impuesto sobre la utilidad (28%).

5) Paso 5: Ahorro total de costos

El paso 5 implica derivar los ahorros totales de costos al comparar los costos totales acumulados en los años proyectados de la nueva tecnología con los costos de energía de la tecnología anterior. Para calcular los ahorros totales de costos, se resta el costo total acumulado durante los años de la proyección de la nueva tecnología (medida de mitigación) de los costos de energía de la tecnología anterior (caso base). Si el resultado es positivo, significa que los costos de la nueva tecnología son más bajos que los de la antigua tecnología, lo que indica un ahorro total de costos. Por otro lado, si el resultado es negativo, significa que los costos de la nueva tecnología son más altos que los de la antigua tecnología, lo que indica que no hay ahorro total de costos.

Por lo tanto, una vez obtenida la información detallada sobre los flujos netos a través de los diferentes costos, se calcularán los ahorros totales de costos durante toda la proyección como las diferencias entre el valor actual neto (VAN) de cada medida y el valor actual neto (VAN) del caso base. Este indicador considera tanto los flujos netos como la inversión inicial, es decir, tanto los costos como los beneficios a lo largo del tiempo (Duffy et al., 2021). Si el resultado de esta resta es positivo, indica que los flujos netos de la medida de mitigación son superiores a los de la tecnología anterior, lo que refleja un ahorro total de costos. En cambio, si el resultado es negativo, significa que los flujos netos de la medida de mitigación son inferiores a los de la tecnología anterior, lo que evidencia que no se logra un ahorro total de costos.

$$\text{Ahorros totales de costos}_m = VAN_{\text{Medida de mitigación } m} - VAN_{\text{Caso base}}$$

6) Paso 6: Derivación de la relación (costo por tonelada de carbono reducida) $\frac{\$}{tCO_2e}$

Con los ahorros totales y las emisiones abatidas se construye la relación (costo por tonelada de carbono reducida) $\frac{\$}{tCO_2e}$ para cada medida de mitigación propuesta, que es la relación entre el costo de la reducción (o ahorro total de costos) de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la cantidad emisiones de GEI abatidas de CO₂e en toneladas durante el periodo de proyección (5 años) obtenida en el paso 3:

$$\frac{\$}{tCO_2e} = \frac{\text{Ahorros totales de costos}_m}{\text{Emisiones abatidas de CO}_2e \text{ en ton durante el periodo de proyección}}$$

Es importante tener en cuenta que la relación $\frac{\$}{tCO_2e}$ no solo es útil para establecer un precio para el carbono, sino también para comparar la eficacia y la rentabilidad de diferentes opciones de mitigación de emisiones de GEI. Cuando esta relación es negativa, esto indica que los beneficios superan a los costos, lo que significa que la acción o inversión en la medida de mitigación es financieramente rentable.

7) Paso 7: Construcción de la curva de costo marginal de abatimiento (CMA) de GEI

El último paso para construir una CCMA es ordenar los proyectos en una lista según su costo de implementación por tonelada de CO₂e mitigada en orden creciente.

Luego, se grafica la relación (costo por tonelada de carbono reducida) $\frac{\$}{tCO_2e}$ en el eje y (en unidades monetarias por tonelada de CO₂e mitigada) contra la cantidad de emisiones abatidas de CO₂e en toneladas durante el periodo de proyección en

el eje x. Al trazar los puntos de la lista ordenada de proyectos en el gráfico, se obtiene la curva de abatimiento de GEI para la zona o área de estudio.

Esta curva muestra cuánto cuesta mitigar cada tonelada adicional de CO₂e y cuántas toneladas pueden ser mitigadas a diferentes niveles de costo. Por lo tanto, permite identificar los proyectos de mitigación de GEI más rentables y seleccionar la combinación óptima de proyectos que maximiza la reducción de emisiones de GEI al menor costo posible.

A partir de la lista de propuestas de medias de mitigación, se llevó también a cabo un estudio de viabilidad. En este contexto, se emplean indicadores económicos de gran relevancia (ver anexo 5), tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (PRI o Payback), la Tasa Promedio de Rentabilidad (TPR) y el Índice de Rendimiento a Valor Presente (IRVP).

Este último análisis de evaluación se basa en los flujos netos, que permiten un análisis en términos de costos y beneficios para cada uno de los proyectos propuestos. Este enfoque proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas en la selección y priorización de proyectos de mitigación de GEI.

5. Resultados

Se detallan, a continuación, los resultados que se obtuvieron de la construcción de la CCMA.

5.1. Escenario base de la CCMA: Motores de combustión

En la tabla 10 se resumen las principales características de los motores de combustión usados actualmente, de los cuales se calcularon su consumo y los diferentes costos e ingresos por los viajes que realizaron en el año 2022.

Tabla 10: Resumen de las principales características del motor de combustión usados actualmente

Modelo del motor	Total de viajes que se realizan al año	Tiempo de recorrido promedio por viaje (hrs)	Costo del viaje turístico en lancha	Vida útil del motor	Número de motores totales
Fueraborda SeaPro Phantom Black Mercury 60ELGABT SEAPRO COMMAND THRUST 4 TIEMPOS TIMON GRANDE	600	1.5	\$1,200.00	5 años	4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se muestran los costos de inversión inicial del caso base y en la tabla 12 los costos de operación y mantenimiento en un año (base).

Tabla 11: Costos de inversión de las lanchas con motor de combustión interna de la cooperativa turística (pesos)

Modelo de motor	Año de compra	Costo de compra del motor	Costos de puesta en marcha	Costos de pruebas y certificaciones	Costos de capacitación y entrenamiento	Inversión inicial total
Fueraborda SeaPro Phantom Black Mercury 60ELGABT SEAPRO COMMAND	2019	\$186,000.00	\$3,500.00	\$5,050.00	\$13,000.00	\$207,550.00

THRUST 4 TIEMPOS TIMON GRANDE						
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Costos de operación y mantenimiento para el motor de combustión interna (pesos) en un año

Consumo de combustibles (litros)	Costo del combustible	Mantenimiento y reparaciones	Seguro	Impuestos y licencias	Pago a empleados	Total por año
9000	\$150,000.00	\$23,400.00	\$8,000.00	\$150.00	\$360,000.00	\$541,550.00

Por lo tanto, podemos resumir en la siguiente tabla 13, los costos de venta, los gastos de administración y las ventas en el año base para poder hacer nuestro estado de resultados y calcular las proyecciones de los flujos netos que descontaremos para hacer las comparaciones con los diferentes alternativas.

Tabla 13: Costos de venta y gastos de administración para el motor de combustión interna (pesos) en un año

Caso base (anual)	
Costo de ventas	\$533,400.00
Gastos de administración	\$8,150.00
Ventas	\$720,000.00
Impuestos	28%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se muestran los flujos netos obtenidos al realizar los estados de resultados del año base y de la proyecciones a 5 años usando diferentes supuestos. Esto nos servirá para poder calcular el valor incremental o los ahorros totales (alternativa – escenario base) a través de los flujos netos que usaremos en la CCMA.

Tabla 14: Flujos netos de los estados de resultados del caso base (MXN)

Año	2022	2023	2024	2025	2026	2027
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$513,936.00	\$586,948.32	\$667,680.26	\$756,861.06	\$855,284.96	\$963,816.79

Fuente: Elaboración propia

5.2. Costos de inversión, operación y mantenimiento de las medidas de mitigación

A continuación, se muestran los costos asociados a la inversión requerida para implementar cada medida de mitigación descrita en la sección anterior. También, se resumen los diferentes costos de operación y mantenimiento en un año típico de cada medida que nos ayudarán a calcular más adelante los flujos netos de las mismas.

Se supuso que los costos de operación y mantenimiento fueron iguales para todos los motores que fueran eléctricos y los mismo costos de operación y mantenimiento para todos los motores que fueran de combustión interna.

Una suposición crítica en el caso de los motores eléctricos es que, dado que la implementación del uso de estos motores aún se encuentra en fase de prueba, se ha considerado el consumo de electricidad por viaje como el promedio entre el valor mínimo y máximo de KWh que podrían ser necesarios por viaje (tabla 15). Esto se debe a que este consumo puede variar según el número de personas y las condiciones climáticas.

Tabla 15: Supuestos de consumo KWh por viaje

Consumo KWh por viaje				
ID	Lancha min	Lancha min	Baterías	Promedio de consumo
Todos	18	47	8.8	32.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Costos de inversión, operación y mantenimiento de las medidas de mitigación (pesos)

Medida	Inversión inicial total	Costos de operación y mantenimiento (anual)	Consumo energético (anual)
Motores eléctricos creados	\$235,000.00	\$407,230.00	19,500 KWh
Motores de combustión nuevo más eficiente	\$238,051.74	\$519,050.00	7650 litros de gasolina
Motores eléctricos comprado	\$489,984.00	\$407,230.00	19,500 KWh
Motores eléctricos creado + paneles solares	\$395,000.00	\$389,830.00	19,500 KWh

Fuente: Elaboración propia

Podemos resumir en la siguiente tabla 17, los costos de venta, los gastos de administración y las ventas de cada medida de mitigación para poder hacer nuestro estado de resultados y calcular las proyecciones de los flujos netos.

Tabla 17: Costos de venta y gastos de administración para cada medida de mitigación (pesos) en un año

	Motores eléctricos creados	Motores de combustión nuevo más eficiente	Motores eléctricos comprado	Motores eléctricos creado + paneles solares
Costo de ventas	\$399,080.00	\$510,900.00	\$399,080.00	\$381,680.00
Gastos de administración	\$8,150.00	\$8,150.00	\$8,150.00	\$8,150.00
Ventas	\$720,000.00	\$720,000.00	\$720,000.00	\$720,000.00
Impuestos	28%	28%	28%	28%

Fuente: Elaboración propia

5.3. Flujos netos de las medidas de mitigación: Proyección a 5 años

En la tabla 18 se muestran los flujos netos obtenidos al realizar los estados de resultados de las medidas de mitigación. Además, se hicieron proyecciones a 5 años usando diferentes supuestos de cada medida. Esto nos servirá para poder calcular el valor incremental o los ahorros totales (alternativa – escenario base) a través de los flujos netos, que usaremos en la CCMA. Los estados de resultados detallados se muestran en los anexos.

Tabla 18: Flujos netos de los estados de resultados de cada medida de mitigación

Medida	(-) Utilidad (pérdida) neta					
	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Motores eléctricos creados	\$900,777.60	\$997,000.42	\$1,102,335.49	\$1,217,595.60	\$1,343,663.57	\$1,481,498.12
Motores de combustión nuevo más eficiente	\$578,736.00	\$655,636.32	\$740,489.54	\$834,038.90	\$937,093.47	\$1,050,533.81
Motores eléctricos comprado	\$900,777.60	\$997,000.42	\$1,102,335.49	\$1,217,595.60	\$1,343,663.57	\$1,481,498.12
Motores eléctricos creado + paneles solares	\$950,889.60	\$1,050,119.14	\$1,158,641.33	\$1,277,279.79	\$1,406,928.81	\$1,548,559.28

Fuente: Elaboración propia

5.4. Emisiones de gases de efecto invernadero de cada medida

En la tabla 19 se resumen las emisiones anuales de cada medida junto con el caso base y el total para los próximos 5 años, además del VAN que nos servirá para calcular los costos marginales por tonelada de carbono equivalente reducidos.

Tabla 19: Emisiones de gases de efecto invernadero de cada medida e mitigación

	Caso base (Motores usados actualmente)	(Motores eléctricos creados)	(Motores de combustión nuevo)	(Motores eléctricos comprado)	(Motores eléctricos creado + paneles solares)
Consumo energético anual	9,000.00	\$19,500.00	7,650.00	19,500.00	19,500.00
Factor de emisión	2.31	0.42	2.31	0.42	0.42
Emisiones de CO ₂ e anuales	20,790.00	8,248.50	17,671.50	8,248.50	8,248.50
Emisiones de CO₂e totales (5años)	103,950	41,242.50	88,357.50	41,242.50	41,242.50
VAN	\$1,034,071.90	2,159,327.58	1,118,949.64	1,139,391.58	1,679,318.41

Fuente: Elaboración propia

5.5. Evaluación técnico-económica de las alternativas

En la siguiente tabla se resumen cada uno de los indicadores económicos para cada medida de mitigación, incluyendo la del caso base. Estas medidas se calcularon con los flujos netos de los estados financieros proyectados a 5 años.

Tabla 20: Indicadores económicos de las medidas de mitigación

Indicador	Caso base (Motores usados actualmente)	(Motores eléctricos creados)	(Motores de combustión nuevo)	(Motores eléctricos comprado)	(Motores eléctricos creado + paneles solares)
PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI O PAYBACK)	1.54	1.04	1.57	2.06	1.60
TASA PROMEDIO DE RENTABILIDAD (TPR)	0.81	1.18	0.79	0.57	0.74
VALOR PRESENTE (VP)	\$1,864,271.90	\$3,099,327.58	\$2,071,156.60	\$3,099,327.58	\$3,259,318.41
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	\$1,034,071.90	\$2,159,327.58	\$1,118,949.64	\$1,139,391.58	\$1,679,318.41
ÍNDICE DE RENDIMIENTO A VALOR PRESENTE (IRVP)	2.25	3.3	2.18	1.58	2.06
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	0.67	1.02	0.64	0.44	0.62

Fuente: Elaboración propia

Un PAYBACK más bajo indica un período de recuperación de inversión más corto. En este caso, los "Motores eléctricos creados" tienen el PRI más bajo (1.04), lo que significa que se recuperaría la inversión en el proyecto más rápidamente, lo que sugiere una mejor opción en términos de rentabilidad a corto plazo.

El VAN representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros y la inversión inicial. Los "Motores eléctricos creados" tienen el VAN más alto, lo que sugiere la opción más rentable en términos de generación de valor.

El IRVP compara el valor presente de los beneficios con la inversión inicial. Los "Motores eléctricos creados" tienen el IRVP más alto, lo que indica un mayor rendimiento en relación con la inversión inicial.

La TIR representa la tasa de rendimiento que iguala los flujos de efectivo futuros con la inversión inicial. Los "Motores eléctricos creados" tienen la TIR más alta, lo que sugiere un mayor rendimiento relativo a la inversión inicial.

Por lo tanto, según estos indicadores, la alternativa de "Motores eléctricos creados" parece ser la opción más atractiva desde una perspectiva financiera, ya que presenta un PRI corto, una alta TPR, un alto VP, un alto VAN, un alto IRVP y una alta TIR en comparación con las otras alternativas evaluadas.

5.6. Ahorros totales de costos y emisiones abatidas de las alternativas de mitigación para la cooperativa

En la tabla 21, se resumen tanto los ahorros totales de costos, así como las emisiones abatidas de cada medida durante la proyección y se calcula la relación $\frac{\$}{tCO_2e}$ para cada medida.

Tabla 21: Ahorros totales de costos, emisiones abatidas y costo por tonelada de carbono reducida de las alternativas de mitigación

	(Motores eléctricos creados)	(Motores de combustión nuevo)	(Motores eléctricos comprado)	(Motores eléctricos creado + paneles solares)
Ahorros totales de costos	-\$1,125,255.68	-\$84,877.74	-\$105,319.68	-\$645,246.52
Emisiones abatidas de CO ₂ e en toneladas	62.71	15.59	62.71	62.71
(\$/tCO ₂ e)	-\$17,944.52	-\$5,443.50	-\$1,679.54	-\$10,289.78

Fuente: Elaboración propia

Las alternativas que involucran motores eléctricos ya sean creados o comprados, generan ahorros significativos en costos en comparación con la alternativa de motores de combustión nuevos. La opción de "Motores eléctricos creados" muestra los ahorros más pronunciados, con un ahorro total de costos de \$1,125,255.68 en comparación con la alternativa de motores de combustión nuevos.

Todas las alternativas con motores eléctricos muestran una reducción considerable en las emisiones de CO_{2e} en comparación con la alternativa de motores de combustión nuevos. Todas las alternativas que contemplan motores eléctricos abaten 62.71 toneladas de CO_{2e} en el periodo proyectado, lo que indica un impacto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El análisis de costo por tonelada de carbono reducida revela que todas las alternativas de motores eléctricos son más económicas en términos de reducción de emisiones de CO_{2e} en comparación con la alternativa de motores de combustión nuevo. La opción de "Motores eléctricos creado" muestra el menor costo por tonelada de carbono reducida, con -\$17,944.52 por tonelada, lo que indica una mayor eficiencia en la reducción de emisiones.

Notemos que estos resultados son en el corto plazo, ya que en el largo plazo la opción Motores eléctricos creado + paneles solares tendría mayor abatimiento de emisiones por el ahorro que generan los paneles solares.

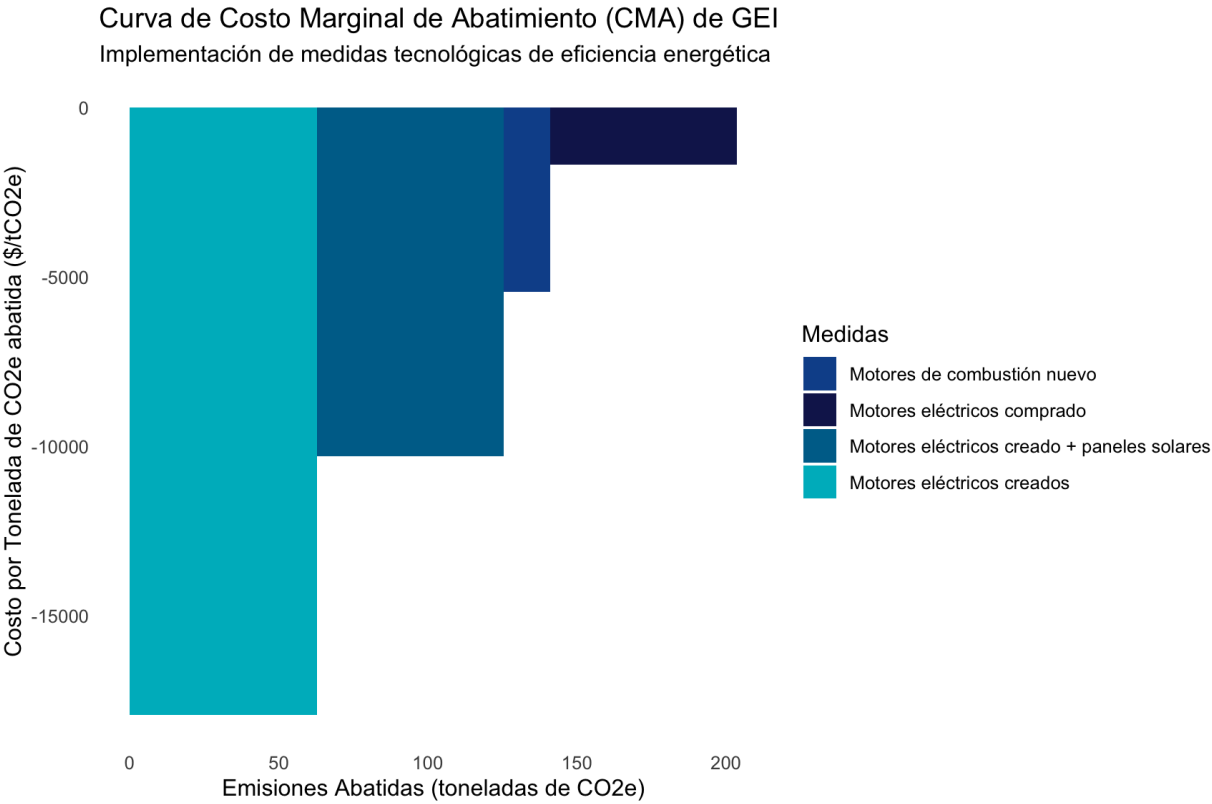
5.7. Construcción de la curva de costo marginal de abatimiento (CMA) de GEI

Observamos que, en todos los escenarios, la relación (costo por tonelada de carbono reducida) $\frac{\$}{tCO_{2e}}$, es negativa, lo que demuestra que las emisiones de CO_{2e} se reducen de manera más eficiente que los costos incurridos. En otras palabras, se está logrando una reducción de emisiones con un impacto financiero positivo en todos los casos. Esto sugiere una situación favorable desde una perspectiva económica en la implementación de estas tecnologías de mitigación de emisiones,

ya que se obtiene un ahorro significativo de costos por cada tonelada de CO2e reducido.

A continuación, se presenta la curva de costo marginal de abatimiento (CMA) de GEI de las medidas anteriormente descritas:

Gráfico 14: Curva de costo marginal de abatimiento (CCMA) de GEI asociada a la implementación de medidas tecnológicas de eficiencia energética sobre navegación eléctrica de la cooperativa turística en Isla Aguada, Campeche



Fuente: Elaboración propia con datos de la cooperativa turística en Isla Aguada, Campeche

En el caso de los "Motores eléctricos creados", la cooperativa turística obtendrá beneficios sustanciales. La relación costo por tonelada de carbono reducida (\$/tCO2e) es negativa, lo que indica que la inversión en la creación de estos motores es financieramente rentable. Específicamente, la cooperativa se ahorrará \$17,944.52 pesos por cada tonelada de CO2e abatida. Esto significa que no solo

están contribuyendo significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también están experimentando un ahorro importante en costos operativos.

Esta medida demuestra ser una inversión acertada en términos ambientales y económicos, ya que no solo están adoptando prácticas más sostenibles desde el punto de vista medioambiental, sino que también están protegiendo su resultado financiero al reducir sus gastos relacionados con las emisiones de carbono.

6. Discusión

6.1. Contribución Académica:

La investigación emprendida en esta tesis ha aportado de manera significativa al campo académico y a la gestión ambiental, explorando la viabilidad de incorporar motores eléctricos en embarcaciones turísticas como medida de eficiencia energética y reducción de emisiones de GEI. Al comparar los resultados de este estudio con los hallazgos de los artículos revisados, se destacan aspectos importantes que validan y contradicen investigaciones previas, revelando también áreas donde la literatura existente presenta limitaciones.

En comparación con los resultados de una investigación anterior realizada por Łapko (2016), se encuentra una validación en la perspectiva de que los motores eléctricos son una opción atractiva para motores de baja potencia. Ambos estudios convergen en reconocer la eficacia y el atractivo financiero de los motores eléctricos en aplicaciones marítimas de menor capacidad. Sin embargo, divergen en sus enfoques, ya que Łapko (2016) se centra en el aspecto silencioso de los motores eléctricos, mientras que esta tesis se orienta hacia la reducción de costos y emisiones de CO₂e, a pesar de que es importante destacar que los motores eléctricos suelen ser más silenciosos, generando externalidades positivas para los turistas.

Por otro lado, el trabajo de Win et al. (2023) añade una capa adicional al considerar los costos externos asociados al consumo de combustible en embarcaciones de observación de ballenas. Este artículo valida la importancia económica de evaluar los costos externos y cómo estos podrían distribuirse entre operadores y turistas. Además, subraya la necesidad de contextualizar los resultados según las condiciones específicas de cada región, ya que la generalización puede ser limitada a lugares con niveles altos de producción de electricidad renovable.

Ambos estudios revisados ofrecen una perspectiva valiosa en contextos específicos, pero presentan limitaciones que esta tesis busca llenar. La literatura existente tiende a concentrarse en los costos externos y embarcaciones de mayor tamaño, mientras que este estudio se enfoca en el turismo en Isla Aguada, Campeche, abordando una brecha de información específica sobre la eficiencia energética en embarcaciones turísticas en contextos locales.

En consecuencia, esta tesis enriquece la literatura al proporcionar una evaluación detallada de la viabilidad financiera y la reducción de emisiones de CO₂e al adoptar motores eléctricos en el contexto específico de Isla Aguada, Campeche. Indudablemente, contribuye académicamente y a la gestión ambiental, especialmente en lo referente a la factibilidad de energías alternativas en el sector turístico y al control de emisiones de GEI.

6.2. Implicaciones para Política Pública:

Los hallazgos de esta investigación subrayan la urgente necesidad de políticas públicas que impulsen la adopción de tecnologías sostenibles y de eficiencia energética. Se propone con firmeza la implementación de un programa de incentivos fiscales estratégicamente diseñado para estimular inversiones significativas en tecnologías eficientes, como los motores eléctricos, con el propósito

claro de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y optimizar la eficiencia operativa.

Este programa de incentivos fiscales, respaldado por el sólido argumento presentado en esta tesis, demuestra la rentabilidad tanto desde una perspectiva ambiental como económica de las medidas de eficiencia energética. Incluye disposiciones para deducciones fiscales, créditos fiscales, estímulos para la investigación y desarrollo, así como acceso facilitado a financiamiento para proyectos de mitigación de emisiones. La flexibilidad en el diseño de estos incentivos se considerará esencial, adaptándolos a las necesidades específicas de empresas y organizaciones tanto a nivel regional como nacional.

La aportación de Kesicki y Strachan (2011) fortalece aún más este enfoque al destacar que las curvas MAC pueden ser herramientas valiosas para los responsables de políticas en la introducción tanto de impuestos al CO₂ como de sistemas de permisos de CO₂. Estas curvas ofrecen estimaciones cuantitativas asociadas con la implementación de tales medidas, proporcionando información clave para la toma de decisiones. Además, las curvas MAC detalladas tecnológicamente no solo informan sobre el costo marginal de reducción de tecnologías específicas, sino que también ofrecen orientación sobre el nivel necesario de incentivos fiscales para facilitar su implementación a gran escala.

Sin embargo, es imperativo reconocer, en consonancia con Kesicki y Strachan (2011), que las curvas MAC poseen limitaciones al evaluar una cartera completa de medidas políticas. Dada la superposición de políticas climáticas, variaciones en costos de implementación y posibles interacciones entre políticas sectoriales específicas, se hace evidente que las curvas MAC, aunque valiosas, constituyen solo un componente en el proceso más amplio de toma de decisiones para políticas climáticas efectivas.

6.3. Limitaciones y Recomendaciones Futuras:

Sin embargo, es esencial reconocer ciertas limitaciones inherentes a esta investigación. En primer lugar, no se tomó en consideración la variabilidad de los costos en las inversiones de fuentes de energía renovable en función de la localización geográfica, un factor que podría tener un impacto significativo en la viabilidad de la transición hacia tecnologías más limpias. Adicionalmente, los precios de la energía y los costos de inversión se fundamentaron en datos promedio de 2022, lo cual podría no reflejar la actualidad de los precios y, por ende, afectar la precisión de la curva de costo marginal de abatimiento a largo plazo.

Otra limitación relevante radica en la omisión de los costos asociados a la eliminación de tecnologías "antiguas" como los motores de combustión, un aspecto que podría tener relevancia en el contexto de la transición hacia tecnologías bajas en carbono. Asimismo, no se contemplaron factores como las curvas de aprendizaje, la gradual penetración en el mercado al introducir tecnologías "nuevas," ni las barreras institucionales o las imperfecciones del mercado que pudieran ejercer influencia en la adopción de tecnologías bajas en carbono. En lo que concierne a las emisiones, no se incluyeron las emisiones totales generadas a lo largo del ciclo de vida de las tecnologías de reducción de emisiones y del caso base. Tampoco se consideraron las posibles consecuencias medioambientales, tales como la contaminación del suelo o del mar, derivadas de fugas o derrames de aceites o combustibles. Esta omisión podría conducir a una subestimación del impacto medioambiental global de estas tecnologías. Con el fin de llevar a cabo una evaluación exhaustiva, se requiere la consideración tanto de las emisiones directas como de las indirectas vinculadas a la fabricación y utilización de estas tecnologías, además de los eventuales efectos secundarios medioambientales.

Por último, la proyección se realizó durante un tiempo relativamente corto debido a la vida útil de los motores de combustión, que suelen tener una vida útil de 5 años

o incluso menos, lo que podría no reflejar adecuadamente la transición a largo plazo hacia tecnologías bajas en carbono.

Además, este estudio resalta la necesidad de investigaciones adicionales centradas en la implementación y los efectos de tecnologías de eficiencia energética en la industria turística. Esto podría abrir nuevas áreas de investigación relacionadas con políticas públicas, estrategias empresariales y la medición del impacto ambiental en este sector en constante crecimiento.

A pesar de la creciente importancia económica de la industria turística, las externalidades negativas de esta industria, especialmente aquellas relacionadas con el consumo de combustible, han sido poco estudiadas. Esta tesis motiva la exploración de estas externalidades negativas. Los resultados de esta investigación están en consonancia con la investigación de Win, Cook y Davíðsdóttir (2023), que sugiere un mérito considerable en la transición del uso de embarcaciones alimentadas con combustibles fósiles a embarcaciones eléctricas en el contexto de la observación de ballenas en Islandia. Sin embargo, destacan la necesidad de considerar las externalidades negativas en la industria turística y cómo estos costos pueden repercutir en los operadores y los turistas.

6.4. Ventajas y desventajas del método empleado (CCMA), así como sus alternativas

El método empleado (CCMA), ofrece valiosas ventajas al evaluar la viabilidad financiera y la reducción de emisiones de CO₂e al adoptar motores eléctricos en el contexto específico de Isla Aguada, Campeche. Sin embargo, es crucial reconocer las desventajas inherentes y los posibles peligros asociados con este enfoque, así como explorar alternativas para una evaluación más integral.

Entre las ventajas es el posicionamiento de la CCMA como una herramienta de gran valor en la evaluación de la viabilidad financiera de proyectos. Al emplear indicadores financieros clave, como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de

Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), la Tasa Promedio de Rentabilidad (TPR) y el Índice de Rendimiento a Valor Presente (IRVP), la CCMA permite una evaluación detallada y exhaustiva, brindando una comprensión integral de la rentabilidad del proyecto.

Además, el enfoque específico de la CCMA en el turismo de Isla Aguada, Campeche, representa una ventaja significativa al abordar una brecha de información existente en la literatura sobre eficiencia energética en embarcaciones turísticas en contextos locales. Este énfasis en el contexto local no solo fortalece la relevancia de los hallazgos sino también su especificidad, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en el entorno particular de Isla Aguada

A pesar de sus notables ventajas, la CCMA no está exenta de desventajas y consideraciones que deben tenerse en cuenta para una interpretación informada de los resultados obtenidos:

Una de las limitaciones clave de la CCMA radica en la falta de contemplación de la tasa de difusión de nuevas tecnologías. La efectividad de la implementación puede verse afectada por factores como el cumplimiento legal, los incentivos políticos y la estructura del mercado, los cuales influyen en la adopción y penetración de innovaciones tecnológicas.

Otra desventaja importante es la falta de consideración de la compatibilidad entre tecnologías. La CCMA no aborda adecuadamente este aspecto, lo que podría resultar en mayores costos al implementar medidas de mitigación. Asegurar la compatibilidad entre nuevas y existentes tecnologías se vuelve esencial para evitar posibles efectos de bloqueo y optimizar la eficacia de las soluciones.

Adicionalmente, la CCMA omite completamente las emisiones asociadas a la producción de tecnologías energéticamente eficientes. Este aspecto se vuelve crítico, ya que la cantidad significativa de energía requerida para la fabricación de ciertos dispositivos podría tener un impacto importante en la huella ambiental total, lo que no es considerado por este modelo.

La CCMA no aborda por completo las emisiones vinculadas a la transformación del entorno turístico ni las asociadas al transporte de productos y la construcción de

infraestructura. Estas omisiones limitan la evaluación integral de las emisiones totales generadas por la actividad turística, destacando la necesidad de considerar factores adicionales para una comprensión más completa de los impactos ambientales.

Por último, dentro de las desventajas del enfoque de curvas MAC, es crucial considerar las observaciones de Kesicki y Strachan (2011), quienes señalan que su uso simplista puede ser engañoso y conducir a decisiones sesgadas. Este estudio destaca las limitaciones inherentes al concepto de curvas MAC y aboga por un enfoque más sofisticado. En particular, subraya la necesidad de adoptar un enfoque de sistemas que capture interacciones complejas, la consideración de beneficios auxiliares, una mejor representación de las incertidumbres y una cuidadosa consideración de la reducción acumulativa de emisiones para abordar las interacciones relacionadas con el tiempo. Estas críticas resaltan la importancia de no depender exclusivamente de las curvas MAC en la toma de decisiones políticas, ya que su aplicación simplificada puede pasar por alto aspectos cruciales y conducir a evaluaciones inexactas.

Por lo tanto, la clasificación de medidas basada únicamente en los costos de reducción de CO₂e sin considerar la cantidad absoluta que se puede reducir representa un aspecto crítico. Esta metodología puede conducir a la implementación de medidas más rentables, pero con un menor potencial de ahorro total, lo que debe ser tenido en cuenta en la toma de decisiones.

6.5. Críticas y perspectivas diversas sobre los enfoques propuestos

En el desarrollo de la discusión de la tesis, se exploran críticas y perspectivas diversas que enriquecen la comprensión de los enfoques propuestos. La primera observación resalta la incongruencia de la ONU al utilizar estrategias que podrían contribuir al origen de los problemas que intenta abordar. Este señalamiento es esencial para cuestionar la efectividad de las estrategias globales, poniendo de

manifiesto la necesidad de una evaluación más profunda de las prácticas y enfoques utilizados por organizaciones internacionales.

La segunda crítica aborda el riesgo de que ciertas iniciativas sean percibidas como "greenwashing", sugiriendo que puedan ser más una estrategia de relaciones públicas que un esfuerzo genuino para abordar las problemáticas ambientales. Este argumento se sustenta en la evidencia de investigaciones que demuestran cómo actividades turísticas, promocionadas como beneficiosas para la biodiversidad, pueden tener impactos significativos y negativos en los ecosistemas (Eyuboglu & Uzar, 2020; Li et al., 2023). Aquí, la discusión se orienta hacia la necesidad de una evaluación más crítica y objetiva de las iniciativas que pretenden promover la sostenibilidad.

La tercera observación critica la conexión entre las funciones de los ecosistemas y los principios de oferta y demanda de recursos naturales desde una perspectiva económica. Se argumenta que la gestión eficiente y sostenible de los recursos naturales va más allá de los términos económicos, requiriendo estrategias integrales para minimizar los impactos ambientales. Este argumento destaca la necesidad de una comprensión multidisciplinaria que considere las complejidades de los sistemas ecológicos.

La cuarta observación aborda la complejidad inherente de los sistemas ecológicos y la imposibilidad de conocer completamente los efectos de las relaciones entre sus componentes. Las generalizaciones pueden ser limitadas y que, debido a la incertidumbre, la internalización completa de los costos de las actividades en estos sistemas resulta impracticable. Aquí, se resalta la necesidad de una aproximación cautelosa y adaptable que considere la naturaleza dinámica e impredecible de los ecosistemas.

Finalmente, la crítica sobre la determinación de beneficios netos y daños marginales desde un enfoque teórico puro sugiere la imposibilidad de esta evaluación sin tener en cuenta las características específicas de los ecosistemas. La teoría social, incluyendo la económica, no puede determinar estas relaciones de manera completa y precisa. Este punto resalta la necesidad de considerar factores más

específicos y contextualizados al evaluar el equilibrio entre beneficios y daños ambientales.

Conclusiones

En esta tesis, se ha investigado la viabilidad de la implementación de tecnologías de eficiencia energética, específicamente motores eléctricos, en el sector turístico. Nuestra indagación se centró en si estas tecnologías pueden reducir las emisiones de GEI y al mismo tiempo generar beneficios económicos.

Los resultados obtenidos de la construcción de la curva CMA de GEI revelan que la inversión en medidas de eficiencia energética, como la creación de motores eléctricos, es financieramente viable. Esta conclusión resalta que las organizaciones que optan por adoptar estas tecnologías no solo contribuyen a la disminución de las emisiones de GEI, sino que también experimentan ahorros significativos en sus costos operativos. Esto respalda la noción de que las inversiones en sostenibilidad ambiental pueden resultar beneficiosas desde una perspectiva económica.

Además, la construcción de la CCMA indica que todas las alternativas que incorporan motores eléctricos logran una disminución sustancial en las emisiones de CO_{2e}, lo que subraya la eficacia de estas tecnologías en la mitigación de GEI. El análisis del costo por tonelada de carbono reducida $\left(\frac{\$}{tCO_2e}\right)$ refuerza aún más esta eficiencia, demostrando que las alternativas con motores eléctricos creados presentan un menor costo por tonelada de CO_{2e} reducida en comparación con los motores de combustión nuevos e incluso con otros motores eléctricos disponibles en el mercado.

La curva de costo marginal de abatimiento de GEI, que exhibe una relación negativa en todos los escenarios, respalda la efectividad de estas tecnologías de mitigación en la reducción de emisiones y la generación de ahorros de costos. Esto enfatiza la

necesidad de políticas públicas más ambiciosas en términos de reducción de emisiones y sugiere que la inversión en tecnologías sostenibles es una propuesta no solo amigable con el medio ambiente, sino también económicamente sólida.

Por lo tanto, los hallazgos de esta investigación confirman de manera concluyente que la implementación de tecnologías de eficiencia energética, como lo son los motores eléctricos creados por la misma cooperativa turística en Isla Aguada, son capaces de reducir las emisiones de GEI y al mismo tiempo generar beneficios económicos. Estos resultados se alinean perfectamente con nuestras preguntas de investigación y respaldan la hipótesis de que estas tecnologías son una opción viable en la mitigación de emisiones.

Es relevante mencionar que estos resultados son aplicables a corto plazo. Sin embargo, es fundamental reconocer el potencial de ahorro a largo plazo de la opción "Motores eléctricos creados + paneles solares".

Con base en estos descubrimientos, la cooperativa turística analizada en esta tesis está tomando decisiones estratégicas acertadas al invertir en la creación de motores eléctricos y otras tecnologías de eficiencia energética. Esto no solo reduce su impacto ambiental, sino también fortalece su salud financiera. Otras cooperativas turísticas o pesqueras similares pueden tomar este ejemplo como un camino hacia la mejora de su sostenibilidad y eficiencia operativa.

Además, los resultados obtenidos y la construcción de la CCMA de GEI deben compartirse con otros actores de la industria y el público en general. La divulgación de casos de éxito en la mitigación de emisiones puede inspirar a otras organizaciones a seguir un camino similar y promover un enfoque más amplio en la lucha contra el cambio climático. En conjunto, estas conclusiones refuerzan la idea de que la inversión en tecnologías sostenibles no solo beneficia al medio ambiente, sino que también es económicamente viable, y puede servir como un modelo a seguir para otros actores en la industria turística.

Referencias

Agencia Internacional de la Energía (2018). World Energy Outlook 2018, IEA, París, DOI: <https://doi.org/10.1787/weo-2018-en.9825.4801.5977.2301.9988.770>

Alexeev, A., Good, D. H., & Krutilla, K. (2016). Environmental taxation and the double dividend in decentralized jurisdictions. *Ecological Economics*, 122, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.004>

CATIE. (2017). ELABORACIÓN DE CURVAS DE COSTO MARGINAL DE ABATIMIENTO PARA TECNOLOGÍAS DEL NAMA GANADERIA COSTA RICA. <https://core.ac.uk/download/pdf/132688977.pdf>

Cifuentes, L., & Pica, A. (2010). Estimaciones de Costo y Potencial de Abatimiento de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para Diferentes Escenarios Futuros (Informe Final). Ministerio de Hacienda. https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/2010-CMITMH-InformeFinal_13may10.pdf

Climate Watch Historical GHG Emissions. (2022). Washington, DC: World Resources Institute. Disponible en: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>

COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA (CRE). (2023). Precios promedio diarios y mensuales de gasolinas y diésel reportados por los permisionarios de estaciones de servicio de expendio al público. Recuperado de http://transparenciacre.westcentralus.cloudapp.azure.com/PNT/73/III/E/PL/Precios_promedio_diarios_y_mensuales_en_estaciones_de_servicio.xlsx

Duffy, C., Apdini, T., Styles, D., Gibbons, J., Peguero, F., Arndt, C., Mazzetto, A., Vega, A., Chavarro-Lobo, J. A., Brook, R., & Chadwick, D. (2021). Marginal Abatement Cost Curves for Latin American dairy production: A Costa Rica case study. *Journal of Cleaner Production*, 311(127556), 127556. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127556>

Endal, A. (1980) - Fuel saving, *Fishing News International* 19(10): 16-17.

Enkvist, P.-A & Naucler, T. & Rosander, J. (2007). A cost curve for greenhouse gas reduction, McKinsey Q. Exh. 38.

Eyuboglu, K., & Uzar, U. (2020). The impact of tourism on CO2 emission in Turkey. *Current Issues in Tourism*, 23(13), 1631-1645. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1636006>

FAO. (2012). Report of the Expert Workshop on Greenhouse Gas Emissions Strategies and Methods in Seafood. Rome, 23–25 January 2012. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1011. Rome. 117 pp.

FAO. (2015). Fuel and energy use in the fisheries sector – approaches, inventories and strategic implications, by J.F. Muir. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1080. Rome, Italy.

FAO. (2015). Fuel and energy use in the fisheries sector – approaches, inventories and strategic implications, by J.F. Muir. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1080. Rome, Italy.

FAOSTAT, (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database Available online at: <https://www-fao-org.pbidi.unam.mx:2443/faostat/en/#data/GN>

Fernández, C. (2014). CUADERNO 2: CÁLCULO DE PESOS: FAST FERRY CATAMARÁN 950 PAX y 250 COCHES. <https://ruc.udc.es/>. Retrieved March 30, 2023, from https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17739/FernandezBaldomir_Carlos_TFG_2016_02de10.pdf.

Gitman, L. J. (2009). *Fundamentos de inversiones* (10^a ed.). Pearson Educación.

Gobierno de México. (2018). ACUERDO mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México. *Diario Oficial de la Federación*. 30 de noviembre de 2018.

Huang, Y., & Wu, J. (2021). Bottom-up analysis of energy efficiency improvement and CO2 emission reduction potentials in the cement industry for

energy transition: An application of extended marginal abatement cost curves. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126619. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126619>

INECC, (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. México, D.F. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

INECC. (2018). *Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Crecimiento Verde*. https://www.inecc.gob.mx/transparencia/transparencia/libro_blanco.pdf

INECC. (2023). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, (INEGYCEI) 2020-2021. Base de datos. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/853373/10-2023_INEGyCEI_2020_2021.xlsx

INEGI, (2022), CUENTA SATÉLITE DEL TURISMO DE MÉXICO 2021. Disponible en línea: https://www.inegi.org.mx/programas/turismo/2013/#Datos_abiertos

INEGI, (2023), Índice Nacional de Precios al Consumidor, Junio de 2023 de <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=8297>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 659-740). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.018

IPCC, (2007): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M.

Manning, Z. enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, (2018): Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.).

IPCC, (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004>

Łapko, A. (2016). The Use of Auxiliary Electric Motors in Boats and Sustainable Development of Nautical Tourism – Cost Analysis, the Advantages and Disadvantages of Applied Solutions. *Transportation Research Procedia*, 16, 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.031>

Li, L., Feng, R., Xi, J., Huijbens, E. H., & Gao, Y. (2023). Distinguishing the impact of tourism development on ecosystem service trade-offs in ecological functional zone. *Journal of Environmental Management*, 342, 118183. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118183>

Lopez Laynes, K. L. (2011). DE LA PESCA AL TURISMO EN VILLA ISLA AGUADA, CARMEN, CAMPECHE. En Repositorio Institucional de Ciencia Abierta. <http://www.repositorio.unacar.mx/jspui/handle/1030620191/340>

McKinsey, (2007). Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland, Study of McKinsey & Company, Inc. On behalf of “BDI initiativ—Wirtschaft für Klimaschutz”.

McKinsey & Company. (2007b). Reducing U.s. greenhouse gas emissions: How much at what cost? https://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/~/_media/C88BE6B2201B4896A40E593B0B033CC1.ashx

OECD/IEA. (2008). Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/68742ff1-b01f-4fbe-834d-936b8d23064a/WorldwideTrendsInEnergyUseandEfficiency.pdf>

(Reducing U.s. greenhouse gas emissions: How much at what cost?, 2007)

ONU. (2015, September 25). La Asamblea general Adopta La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible. United Nations. Retrieved January 27, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.

ONU. (2021). Década de Acción - Desarrollo Sostenible. United Nations. Retrieved January 27, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/decade-of-action/>

ONU. (2022). Organización Mundial del Turismo. Turismo por los ODS | OMT. Retrieved February 9, 2023, from <https://www.unwto.org/es/turismo-por-los-ods>

Organización Mundial del Turismo y Foro internacional de Transporte (2020), Las emisiones de CO2 del sector turístico correspondientes al transporte – Modelización de resultados, OMT, Madrid, DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284421992>.

Pérez, S. A. A. (2014). Construcción De Curvas De Abatimiento De Gases De Efecto Invernadero Asociadas A Proyectos De Eficiencia Energética En

Molienda Y Clasificación De La Compañía Minera Doña Inés De Collahuasi
[Universidad De Chile].
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117043/cf-almendra_sp.pdf?sequence=1

Perman, R., Common, M., & McGilvray, J. (2011). *Natural Resource and Environmental Economics* (4th edition). Pearson Education Limited.

PPD-MÉXICO. (2021a). *Estrategia del Paisaje de la Cuenca Baja Grijalva-Usumacinta 2020-2030*. Recuperado de https://www.ppdmexico.org/_files/ugd/32e7f1_855c4627700a4e5992050fd06a4892fc.pdf

PPD-MÉXICO. (2021b). *TURISMO ALTERNATIVO EN HUMEDALES DE ISLA AGUADA*. PPD-México. <https://www.ppdmexico.org/turismo-alternativo-isla-aguada>

PROGEA (2008). *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile: Antecedentes para el desarrollo de un marco regulatorio y evaluación de instrumentos de reducción*

SEMARNAT. (2022). *Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2021*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/706809/aviso_fesen_2021.pdf

Secretaria de Turismo. (2020). *Isla Aguada, Campeche*. gob.mx. <https://www.gob.mx/sectur/articulos/isla-aguada-campeche>

Thomson, D. (1988)-Conflict within the fishing industry, *Naga, ICLARM Quarterly*, July 1988, 3-4.

Tyedmers, P., Watson, R. & Pauly, D. (2005). Fueling global fishing fleets. *Ambio*, 34: 8.

UNWTO. (2022). *Organización Mundial del Turismo. Turismo por los ODS | OMT*. Retrieved February 9, 2023, from <https://www.unwto.org/es/turismo-por-los-ods>

Van Anrooy, R., Carvalho, N., Kitts, A., Mukherjee, R., Van Eijs, S., Japp, D. y Ndao, S. (2021). Revisión del desempeño tecno-económico de las principales flotas pesqueras del mundo. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO n.º 654. Roma, FAO. www.fao.org/publications/card/en/c/CB4900ES.

Wahnschafft, R., & Wolter, F. (2023). Assessing tourist willingness to pay for excursions on environmentally benign tourist boats: A case study and trend analysis from Berlin, Germany. *Research in Transportation Business & Management*, 48, 100826. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100826>

Wächter, P. (2013). The usefulness of marginal CO₂-e abatement cost curves in Austria. *Energy Policy*, 61, 1116–1126. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.125>

Win, Z. M., Cook, D., & Davíðsdóttir, B. (2023). A comparison of the economic value of fuel externalities from whale watching vessels: electric and diesel fueled boats in Iceland. *Ocean & Coastal Management*, 239, 106588. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106588>

Anexos

Anexo 1: Entrevistas semi-estructurada realizada a los miembros de la cooperativa turística



Entrevistas semi-estructurada a los responsables de la cooperativa de turismo de Isla
Aguada

Antecedentes: la encuesta tiene como objetivo obtener información sobre las características de los motores actuales y eléctricos que se implementaran, así como los costos asociados a su creación y uso.

SECCIÓN 1. Aspectos generales del encuestado y su cooperativa

Fecha: _____ N° entrevista: _____

Nombre del encuestado: _____

Género: _____ Edad: _____

Puesto en la cooperativa: _____

SECCIÓN 1.1 Dirigida al responsable de la cooperativa

- 1.1. ¿Cuál es el nombre de la cooperativa turística?
- 1.2. ¿En qué año fue fundada la cooperativa turística?
- 1.3. ¿Cuántos miembros tiene actualmente la cooperativa turística?
- 1.4. ¿Cómo está organizada la cooperativa turística?
- 1.5. ¿Qué actividades ecoturísticas realizan en la cooperativa?

- 1.6. ¿Cuándo empezó la actividad de viajes turísticos en lancha de motor?
- 1.7. ¿Cuántas embarcaciones con motor tiene actualmente la cooperativa turística en su flota?
- 1.8. ¿Tienen temporada alta y baja? ¿Me puede mencionar los meses?

Temporada	Periodo(meses)
Alta	
Baja	

- 1.9. ¿Cuántos viajes en lanchas de motor se realizan por las actividades turísticas?

Temporada	Periodo(meses)	Viajes al día	Viajes al mes
Alta			
Baja			

- 1.10. ¿Cuánto dura cada viaje en promedio?
- 1.11. ¿Cuántas personas suben en cada viaje en promedio?
- 1.12. ¿Cuántas horas de operación por motivo de actividades turísticas tienen con la lancha de motor de combustión interna en promedio por temporada?

Temporada	Periodo(meses)	Horas al día	Horas al mes
Alta			
Baja			

¿Existen diferentes tarifas o esquemas de ganancias para diferentes tipos de viajes turísticos en lancha, como paseos cortos, recorridos más largos o servicios especiales?

Tipo de viaje, recorrido o servicio	Tarifa (pesos)		
	Por persona	Por viaje	Por hora

--	--	--	--

1.13. ¿Cuál es el ingreso económico netos en total que percibe por las actividades turísticas con el uso de los motores de combustión interna y eléctricos?

Pesos	Total
Día	
Semana	
Mes	
Año	

- 1.14.** ¿Cuál es el proceso de cálculo de las ganancias generadas por los viajes turísticos en lancha en la cooperativa pesquera? ¿Se consideran los costos operativos, el mantenimiento de las embarcaciones y otros gastos en el cálculo de las ganancias?
- 1.15.** ¿Qué servicios o beneficios adicionales se ofrecen en los viajes turísticos en lancha y cómo afectan a las tarifas?

2. SECCION 2. Características de motores de combustión interna

- 2.1.** ¿Podría decirme cuál es el modelo del motor o los modelos de los motores de combustión interna que tienen cada lancha de su flota total de lanchas y en qué año lo adquirieron?
- 2.2.** ¿Cuál fue el costo total de adquirir cada motor de combustión interna de las lanchas de la cooperativa, incluyendo el precio de compra del motor, los impuestos y otros gastos relacionados?
- 2.3.** ¿Cuánto estima que son los costos de puesta en marcha promedio por cada una de las lanchas de su cooperativa, considerando la instalación de los motores, sistemas de combustible, sistema eléctrico y otros componentes necesarios para su operación?

2.6. ¿Cuánto se gasta, por cada motor de combustión interna de las lanchas de la cooperativa, en promedio en mantenimiento y reparaciones (incluyen los gastos de piezas de repuesto, mano de obra y servicios de mantenimiento realizados por profesionales) por día, semana y mes?

2.7. ¿Cuál es el consumo de combustibles, por cada motor de combustión interna de las lanchas de la cooperativa, en promedio por día, semana y mes?

2.8. ¿Cuánto gastan en promedio en combustible para las lanchas con motor de combustión interna de la cooperativa por día, semana y mes?

2.9. ¿Cuánto se estima que se gasta en promedio en el seguro de las lanchas de motor de combustión interna de la cooperativa por día, semana y mes?

2.10. ¿Cuánto se estima que se gasta en promedio en el pago de impuestos y licencias como impuestos sobre el combustible, licencias de navegación o impuestos de propiedad de las lanchas de motor de combustión interna de la cooperativa por día, semana y mes?

2.11. ¿Cuánto se estima que se gasta en promedio en la capacitación y certificación de su personal para operar y mantener adecuadamente las lanchas de motor de combustión interna de la cooperativa por día, semana y mes?

Costos de operación y mantenimiento para el motor de combustión interna (pesos) por modelo de motor			
Modelo:	Día	Semana	Mes
Consumo de combustibles (litros)			
Costo del combustible			
Mantenimiento y reparaciones			
Seguro			
Impuestos y licencias			
Capacitación y certificaciones			
Total			

3. Motores eléctricos

Los costos de inversión inicial de una embarcación con motor eléctrico pueden incluir varios componentes. Le voy a preguntar algunos costos y me puede indicar el valor:

- 3.1. ¿Cuál es el costo total de la consultoría o servicios de diseño técnico necesarios para adaptar el motor eléctrico en sus lanchas?
- 3.2. ¿Cuáles son los materiales necesarios y su respectivo costo para la instalación del motor eléctrico en las lanchas de la cooperativa?
- 3.3. ¿Cuál es el costo de la mano de obra especializada necesaria para crear e instalar el motor eléctrico en las lanchas?
- 3.4. ¿Qué tipo y capacidad de batería se utilizará actualmente en el sistema de propulsión eléctrica y cuál fue el costo de inversión asociado con ella?
- 3.5. ¿Cuál es el costo promedio del cargador de batería utilizado en los motores eléctricos de lanchas de la cooperativa, considerando su capacidad, tecnología y marca?
- 3.6. ¿Qué tipo de inspecciones y certificaciones se necesitan para garantizar que el motor eléctrico instalado cumple con las normas y regulaciones aplicables? Y ¿cuáles son los costos asociados con estas inspecciones y certificaciones en la ubicación específica de la cooperativa?
- 3.7. ¿Cuál es el costo del seguro específico necesario para cubrir el motor eléctrico y otros componentes del sistema de propulsión eléctrica en las lanchas de la cooperativa?
- 3.8. ¿Cuál es el costo estimado de adquirir y mantener un regulador de carga y paneles solares suficientes para complementar la carga de las baterías del motor eléctrico?
- 3.9. ¿Cuánto tiempo tardaría la construcción de un motor eléctrico?

Costos de inversión de embarcación con motor eléctrico (pesos)		
Rubro	Por motor	Flota completa
Diseño		

Materiales		
Mano de obra (construcción e instalación)		
Batería		
Cargador de batería		
Regulador de carga y paneles solares		
Inspección y certificación		
Seguro		
Total		

3.10. ¿Cuántas horas de operación tendría el nuevo motor eléctrico?

Temporada	Periodo(meses)	Horas al día	Horas al mes
Alta			
Baja			

3.11. ¿Cuál sería el consumo de electricidad (KWh) de una lancha con el motor eléctrico?

Temporada	Periodo(meses)	Consumo al día	Consumo al mes
Alta			
Baja			

3.12. ¿Cuánto estima que gastaría en promedio en electricidad para cargar las baterías de un motor eléctrico de lancha?

3.13. ¿Cuál es el costo de mantenimiento y operación de un motor eléctricos?

3.14. ¿Cuáles son los costos asociados con el almacenamiento de baterías para los motores eléctricos de la lancha (Incluyen tanto la compra o alquiler de las baterías como los gastos relacionados con su mantenimiento y disposición adecuada de las baterías usadas)?

3.15. ¿Qué otros costos operativos adicionales se deben tener en cuenta al operar una lancha eléctrica aparte del motor, y cómo estos costos afectan el costo total de operación de la embarcación?

. Costos de operación y mantenimiento para embarcación con motor eléctrico	Costos (Pesos)		
	Día	Semana	Mes
Costo de electricidad			
Costo de mantenimiento			
Costo de almacenamiento de baterías			
Otros costos operativos			
Total			

3.16. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas principales del motor eléctrico utilizado en su lancha?

Especificaciones técnicas principales de los motores eléctrico utilizados en las lanchas de la cooperativa	
Potencia de entrada (W)	
Potencia de propulsión (W)	
Fuerabordas de gasolina comparables (potencia de propulsión (CV))	
Fuerabordas de gasolina comparables (empuje (CV))	
Máxima eficiencia global (%)	
Empuje estático en (lbs)	
Voltaje nominal (V)	
Peso total (kg)	

Longitud del eje (cm)	
Hélice estándar	
Velocidad máxima de la hélice a plena carga (rpm)	
Mando	
Dirección	
Dispositivo basculante	
Dispositivo de ajuste	
Avance/retroceso continuo	
Vida útil	

3.17. ¿Cuáles son las principales especificaciones técnicas del tipo de batería para el sistema de almacenamiento de energía del motor eléctrico que usa su lancha?

Especificaciones técnicas del tipo de batería para el sistema de almacenamiento de energía	
Capacidad (Wh)	
Tensión nominal (V)	
Carga nominal (Ah)	
Régimen de descarga máxima (A)	
Régimen de descarga máxima a la tensión nominal (W)	
Peso (kg)	
longitud x altura x anchura (mm)	
Volumen (L)	
Composición química	
Ciclos de vida útil de la batería	

Pérdida de capacidad de carga anual por envejecimiento	
Período normal de almacenamiento en estado de carga del 50%	
Grado de protección	

DATOS DE MEJORA DEL INGRESO, Y PERCEPCIÓN AMBIENTAL

- ¿Qué proporción del ingreso de familia representa las actividades turísticas que realiza con las lanchas de motor? _____ %
- ¿Usted considera que cambiar de motor de combustión interna a motor eléctrico tendrá efectos sobre el medio ambiente marino? (Escala del 1 al 5, 1 menor y 5 mayor):

	Contaminación del agua	Contaminación acústica	Contaminación atmosférica	Impacto sobre la fauna marina	Impacto sobre la flora marina
Escala					

- ¿Cree que tenga algún efecto sobre las emisiones de GEI o en la percepción de los turistas acerca de responsabilidad ambiental el cambiar sus lanchas de motor de combustión interna por motores eléctricos? Por favor, califique del 1 al 5 (1 menor y 5 mayor) los siguientes aspectos:

	Disminución en la emisión de gases contaminantes	Percepción de los clientes o usuarios de la lancha
Escala		

- ¿Qué opinión tiene sobre los programas y apoyos que impulsa programas de cambio de motores de combustión interna por motores eléctricos en las lanchas pesqueras? ¿Cree que este tipo de iniciativas son efectivas para fomentar la transición hacia tecnologías más limpias y sostenibles en el turismo? ¿Por qué?
- ¿Probaría alguno de estos programas?

Anexo 2: Características del motor eléctrico creado por la cooperativa

Especificaciones técnicas principales de los motores eléctrico utilizados en las lanchas de la cooperativa	
Potencia de entrada (W)	18000
Potencia de propulsión (W)	47000
Fuerabordas de gasolina comparables (potencia de propulsión (CV))	24138
Fuerabordas de gasolina comparables (empuje (CV))	63028
Máxima eficiencia global (%)	97
Empuje estático en (lbs)	121.6
Voltaje nominal (V)	108
Peso total (kg)	55
Longitud del eje (cm)	6.3
Velocidad máxima de la hélice a plena carga (rpm)	4000-5000
Avance/retroceso continuo	Electrónico por controlador
Vida útil	25 años

Fuente: Datos provistos por el asesor técnico de la cooperativa.

Anexo 3: Cotización usada del motor eléctrico de mercado



CONKAL YUC, 25 de Junio del 2022

Cooperativa Carey

Por medio del presente le hacemos llegar la siguiente cotización.

Cantidad	Concepto	Precio unitario	Subtotal
3	Sistema de conversión para embarcaciones eléctricas incluye: Motor eléctrico trifásico marca ENPOWER de 72V a 400A 8000 RPM potencia nominal de 7.5 kW protección IP67. Controlador 72V a 400A Palanca de aceleración Cargador inteligente 79-96V litio 110V Velocidad aproximada de 15-20 nudos.	\$80,500.00	\$241,500.00
3	Transmisión para motor fuera de borda de 6.5 a 7 HP	\$25,000.00	\$75,000.00
3	Batería de litio 72V 100Ah fabricada en carcasa de aluminio sellada herméticamente con sistema de flotación para seguridad.	\$37,000.00	\$111,000.00
3	Fabricación de tapa hermética para motor y controlador en fibra de vidrio	\$3,800.00	\$11,400.00
3	Fabricación de acople motor/transmisión en placa de aluminio ¼	2,800.00	8,400.00
3	Mano de obra y reingeniería	25,000.00	75,000.00
		Subtotal	\$ 422,400.00
		IVA	\$ 67,584.00
		Total	\$ 489,984.00

Forma de pago: 100% al solicitar la instalación y aceptar la cotización.

Fuente: Cotización del asesor técnico de la cooperativa

Anexo 4: Estados de resultados proyectados de cada medida de mitigación

Estado de resultados Caso base (Motores usados actualmente) anual							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Ventas totales	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Devoluciones s/ventas	0	0	0	0	0	0	
Ventas netas	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Costo de ventas	\$ 2,133,600.00	\$ 2,261,616.00	\$ 2,397,312.96	\$ 2,541,151.74	\$ 2,693,620.84	\$ 2,855,238.09	
(=) Utilidad (pérdida) bruta	\$ 746,400.00	\$ 848,784.00	\$ 961,919.04	\$ 1,086,818.82	\$ 1,224,587.36	\$ 1,376,426.77	
Gastos de venta	0	0	0	0	0	0	
Gastos de administración	\$ 32,600.00	\$ 33,578.00	\$ 34,585.34	\$ 35,622.90	\$ 36,691.59	\$ 37,792.33	
(-) Total de gastos generales	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Otros ingresos y gastos	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Resultado integral de financiamiento	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Partidas no ordinarias	0	0	0	0	0	0	
(=) Utilidad (pérdida) antes del impuesto a la utilidad	\$ 713,800.00	\$ 815,206.00	\$ 927,333.70	\$ 1,051,195.92	\$ 1,187,895.78	\$ 1,338,634.43	
(-) Impuesto a la utilidad 28%	\$ 199,864.00	\$ 228,257.68	\$ 259,653.44	\$ 294,334.86	\$ 332,610.82	\$ 374,817.64	
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$ 513,936.00	\$ 586,948.32	\$ 667,680.26	\$ 756,861.06	\$ 855,284.96	\$ 963,816.79	
Estado de resultados (Motores eléctricos creados) anual							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Ventas totales	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Devoluciones s/ventas	0	0	0	0	0	0	
Ventas netas	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Costo de ventas	\$ 1,596,320.00	\$ 1,692,099.20	\$ 1,793,625.15	\$ 1,901,242.66	\$ 2,015,317.22	\$ 2,136,236.25	
(=) Utilidad (pérdida) bruta	\$ 1,283,680.00	\$ 1,418,300.80	\$ 1,565,606.85	\$ 1,726,727.90	\$ 1,902,890.98	\$ 2,095,428.61	
Gastos de venta	0	0	0	0	0	0	
Gastos de administración	\$ 32,600.00	\$ 33,578.00	\$ 34,585.34	\$ 35,622.90	\$ 36,691.59	\$ 37,792.33	
(-) Total de gastos generales	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Otros ingresos y gastos	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Resultado integral de financiamiento	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Partidas no ordinarias	0	0	0	0	0	0	
(=) Utilidad (pérdida) antes del impuesto a la utilidad	\$ 1,251,080.00	\$ 1,384,722.80	\$ 1,531,021.51	\$ 1,691,105.00	\$ 1,866,199.40	\$ 2,057,636.27	
(-) Impuesto a la utilidad 28%	\$ 350,302.40	\$ 387,722.38	\$ 428,686.02	\$ 473,509.40	\$ 522,535.83	\$ 576,138.16	
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$ 900,777.60	\$ 997,000.42	\$ 1,102,335.49	\$ 1,217,595.60	\$ 1,343,663.57	\$ 1,481,498.12	
Estado de resultados (Motores de combustión nuevo) anual							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Ventas totales	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Devoluciones s/ventas	0	0	0	0	0	0	
Ventas netas	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Costo de ventas	\$ 2,043,600.00	\$ 2,166,216.00	\$ 2,296,188.96	\$ 2,433,960.30	\$ 2,579,997.92	\$ 2,734,797.79	
(=) Utilidad (pérdida) bruta	\$ 836,400.00	\$ 944,184.00	\$ 1,063,043.04	\$ 1,194,010.26	\$ 1,338,210.29	\$ 1,496,867.07	
Gastos de venta	0	0	0	0	0	0	
Gastos de administración	\$ 32,600.00	\$ 33,578.00	\$ 34,585.34	\$ 35,622.90	\$ 36,691.59	\$ 37,792.33	
(-) Total de gastos generales	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Otros ingresos y gastos	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Resultado integral de financiamiento	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Partidas no ordinarias	0	0	0	0	0	0	
(=) Utilidad (pérdida) antes del impuesto a la utilidad	\$ 803,800.00	\$ 910,606.00	\$ 1,028,457.70	\$ 1,158,387.36	\$ 1,301,518.70	\$ 1,459,074.74	
(-) Impuesto a la utilidad 28%	\$ 225,064.00	\$ 254,969.68	\$ 287,968.16	\$ 324,348.46	\$ 364,425.24	\$ 408,540.93	
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$ 578,736.00	\$ 655,636.32	\$ 740,489.54	\$ 834,038.90	\$ 937,093.47	\$ 1,050,533.81	
Estado de resultados (Motores eléctricos comprado) anual							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Ventas totales	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Devoluciones s/ventas	0	0	0	0	0	0	
Ventas netas	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Costo de ventas	\$ 1,596,320.00	\$ 1,692,099.20	\$ 1,793,625.15	\$ 1,901,242.66	\$ 2,015,317.22	\$ 2,136,236.25	
(=) Utilidad (pérdida) bruta	\$ 1,283,680.00	\$ 1,418,300.80	\$ 1,565,606.85	\$ 1,726,727.90	\$ 1,902,890.98	\$ 2,095,428.61	
Gastos de venta	0	0	0	0	0	0	
Gastos de administración	\$ 32,600.00	\$ 33,578.00	\$ 34,585.34	\$ 35,622.90	\$ 36,691.59	\$ 37,792.33	
(-) Total de gastos generales	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Otros ingresos y gastos	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Resultado integral de financiamiento	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Partidas no ordinarias	0	0	0	0	0	0	
(=) Utilidad (pérdida) antes del impuesto a la utilidad	\$ 1,251,080.00	\$ 1,384,722.80	\$ 1,531,021.51	\$ 1,691,105.00	\$ 1,866,199.40	\$ 2,057,636.27	
(-) Impuesto a la utilidad 28%	\$ 350,302.40	\$ 387,722.38	\$ 428,686.02	\$ 473,509.40	\$ 522,535.83	\$ 576,138.16	
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$ 900,777.60	\$ 997,000.42	\$ 1,102,335.49	\$ 1,217,595.60	\$ 1,343,663.57	\$ 1,481,498.12	
Estado de resultados (Motores eléctricos creado + paneles solares) anual							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Ventas totales	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Devoluciones s/ventas	0	0	0	0	0	0	
Ventas netas	\$ 2,880,000.00	\$ 3,110,400.00	\$ 3,359,232.00	\$ 3,627,970.56	\$ 3,918,208.20	\$ 4,231,664.86	
(-) Costo de ventas	\$ 1,526,720.00	\$ 1,618,323.20	\$ 1,715,422.59	\$ 1,818,347.95	\$ 1,927,448.82	\$ 2,043,095.75	
(=) Utilidad (pérdida) bruta	\$ 1,353,280.00	\$ 1,492,076.80	\$ 1,643,809.41	\$ 1,809,622.61	\$ 1,990,759.38	\$ 2,188,569.11	
Gastos de venta	0	0	0	0	0	0	
Gastos de administración	\$ 32,600.00	\$ 33,578.00	\$ 34,585.34	\$ 35,622.90	\$ 36,691.59	\$ 37,792.33	
(-) Total de gastos generales	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Otros ingresos y gastos	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Resultado integral de financiamiento	0	0	0	0	0	0	
(+/-) Partidas no ordinarias	0	0	0	0	0	0	
(=) Utilidad (pérdida) antes del impuesto a la utilidad	\$ 1,320,680.00	\$ 1,458,498.80	\$ 1,609,224.07	\$ 1,773,999.71	\$ 1,954,067.79	\$ 2,150,776.77	
(-) Impuesto a la utilidad 28%	\$ 369,790.40	\$ 408,379.66	\$ 450,582.74	\$ 496,719.92	\$ 547,138.98	\$ 602,217.50	
(=) Utilidad (pérdida) neta	\$ 950,889.60	\$ 1,050,119.14	\$ 1,158,641.33	\$ 1,277,279.79	\$ 1,406,928.81	\$ 1,548,559.28	

Fuente: Elaboración propia con datos de la cooperativa turística

Anexo 5: Fórmulas de los indicadores económicos ocupados en el análisis técnico-económico

Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

- F_t son los flujos de dinero en cada periodo t
- I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)
- n es el número de periodos de tiempo
- k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

Período de Recuperación de la Inversión (PRI o Payback)

$$\text{Período de Payback} = \left[\begin{array}{l} \text{Período último con Flujo} \\ \text{Acumulado Negativo} \end{array} \right] + \left[\frac{\text{Valor absoluto del último Flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del Flujo de Caja en el siguiente período}} \right]$$

Tasa Promedio de Rentabilidad (TPR)

$$TPR = \frac{UNP}{IP}$$

- TPR= Tasa promedio de retorno.
- UNP= Utilidad neta promedio.
- IP= Inversión promedio.

Índice de Rendimiento a Valor Presente (IRVP)

$$\text{I.R.} = \frac{\text{BENEFICIO A VALOR PRESENTE}}{\text{INVERSIÓN INICIAL}}$$