

La transición energética del transporte marítimo:

Oportunidades estratégicas en México



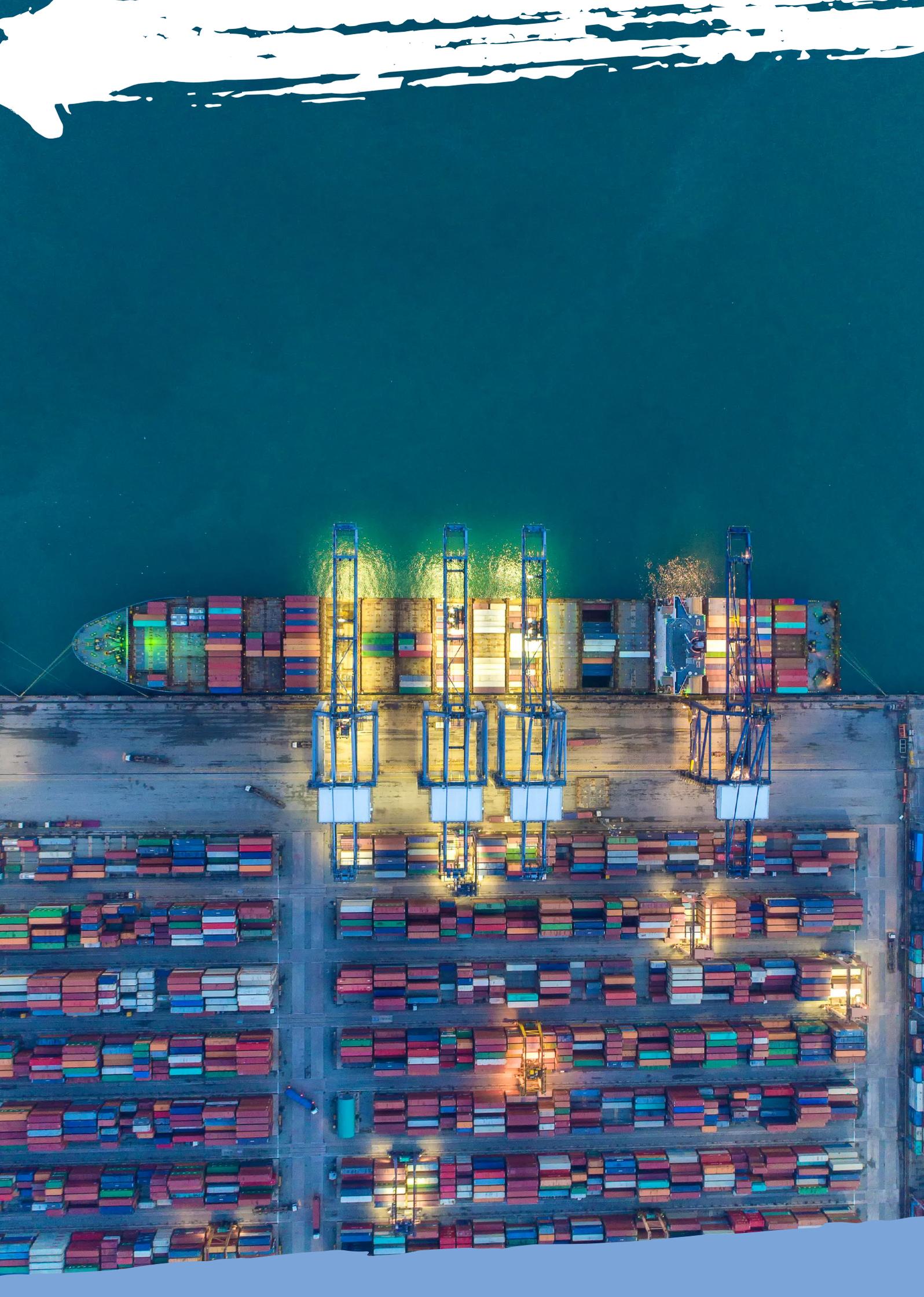
Por Global Maritime Forum
y University College London

Para la P4G Getting to Zero Coalition
Partnership



GLOBAL
MARITIME
FORUM





Índice

	Prólogo	8
	Resumen Ejecutivo	10
	Abreviaturas	18
Sección 1	La necesidad de la descarbonización marítima	21
Sección 2	México: Una nación de comercio marítimo	25
Sección 3	Actividad marítima y emisiones de GEI de México	28
Sección 4	Aprovechamiento del potencial renovable de México	41
Sección 5	Marco político y ambición climática	45
Sección 6	Oportunidades estratégicas de negocio en México	54
Sección 7	Necesidades de financiamiento e inversión	68
Sección 8	Recomendaciones	70
	Referencias	83
ANEXO I	Modelo geoespacial del transporte marítimo: información técnica	99

Acerca de la Getting to Zero Coalition

La Getting to Zero Coalition (GtZ), alianza entre el Foro Marítimo Mundial y el Foro Económico Mundial, es una comunidad de participantes decididos y con ímpetu, provenientes de los sectores marítimo, energético, de infraestructuras y financiero, y apoyada por gobiernos clave, OIG y otras partes interesadas, que está comprometida con la descarbonización del transporte marítimo.

La Getting to Zero Coalition aspira a tener vehículos eléctricos de bajo consumo, comercialmente viables, operando a lo largo de las rutas comerciales de alta mar para el año 2030, con el apoyo de la infraestructura necesaria para las fuentes de energía escalables de cero emisiones netas de carbono que incluyan la producción, distribución, almacenamiento y abastecimiento de combustible, con el propósito de alcanzar la descarbonización total para el año 2050.

Acerca del Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030

Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030 (P4G) es un mecanismo de ejecución mundial pionero en las alianzas verdes para construir economías sostenibles y resistentes. El P4G moviliza un ecosistema global de 12 países asociados y 5 socios organizativos con la finalidad de abrir oportunidades para 66 alianzas que trabajan en cinco áreas de los ODS: alimentos y agricultura, agua, energía, ciudades y economía circular.

Acerca del Global Maritime Forum

El Global Maritime Forum (GMF) es una organización internacional sin ánimo de lucro dedicada a dar forma al futuro del comercio marítimo mundial para aumentar el desarrollo económico sostenible a largo plazo y el bienestar humano.

Acerca de Friends of Ocean Action

Friends of Ocean Action es un grupo conformado por más de 55 líderes mundiales de empresas, organizaciones internacionales, la sociedad civil, la ciencia y el mundo académico dedicado exclusivamente a impulsar soluciones escalables para los retos más apremiantes a los que se enfrenta el océano. Lo organiza el Foro Económico Mundial en colaboración con el Instituto de Recursos Mundiales.

Acerca del Foro Económico Mundial

El Foro Económico Mundial (WEF, World Economic Forum) es la Organización Internacional para la Cooperación Público-Privada. El Foro cuenta con la participación de los principales líderes políticos, empresariales, culturales, y de otro tipo, de la sociedad para dar establecer programas globales, regionales e industriales. Fue creado en 1971 como una fundación sin ánimo de lucro y tiene su sede en Ginebra, Suiza. Es independiente, imparcial y no está vinculada a ningún interés especial.

Acerca del Fondo para la Defensa del Medio Ambiente

El Environmental Defense Fund Europe es una filial del Fondo para la Defensa del Medio Ambiente (EDF, Environmental Defense Fund), una de las principales organizaciones internacionales sin ánimo de lucro que crea soluciones transformadoras para los problemas medioambientales más graves. Desde 1967, el EDF ha utilizado la ciencia, la economía, el derecho y las asociaciones innovadoras del sector privado para hacer nuevas propuestas de soluciones prácticas.

Acerca del University College London

El Grupo de Transporte Marítimo del Instituto de Energía de la Universidad de Londres (UCL) tiene como objetivo acelerar la transición del transporte marítimo hacia un sistema energético equitativo y globalmente sostenible a través de la investigación, la educación y el apoyo político de primer nivel. El grupo está especializado en la investigación multidisciplinaria basada en el análisis de datos y la modelización avanzada del sector marítimo.

Acerca de la Asociación Internacional de Puertos y Terminales

La Asociación Internacional de Puertos y Terminales (IAPH, International Association of Ports and Harbours) se constituyó en 1955 y en los últimos sesenta años se ha convertido en una alianza mundial que representa a más de 180 puertos miembros y 140 empresas portuarias de 90 países. El objetivo principal de la IAPH gira en torno a la promoción de los intereses de los puertos en todo el mundo, la creación de relaciones sólidas y el intercambio de las mejores prácticas entre los miembros.

Acerca de UMAS

UMAS ofrece servicios de consultoría y lleva a cabo investigaciones para una amplia gama de clientes de los sectores público y privado, utilizando modelos del sistema de transporte marítimo, big data del transporte marítimo, así como análisis cualitativos y de ciencias sociales de la estructura política y comercial del sistema de transporte marítimo. El trabajo de UMAS se basa en datos de última generación respaldados por modelos y prácticas de investigación rigurosos, lo que lo convierte en líder mundial en tres áreas clave: el uso de big data para conocer los factores que ocasionan las emisiones del transporte marítimo, el uso de modelos para explorar la transición del transporte marítimo hacia un futuro de cero emisiones y la interpretación para los principales responsables de la toma de decisiones.

[Layout by Housatonic.eu](https://www.housatonic.eu)

Agradecimientos

Este informe ha sido elaborado por Alison Shaw (UCL), Katrina Abhold (GMF), Santiago Suárez De La Fuente y Aideé Saucedo Dávila (UCL) junto con James Stewart y Wendela Schim Van der Loeff (UCL); Connor Bingham (GMF); Isabelle Rojon y Camilo Perico (UMAS); Rosa Esi Ennison, Noam Boussidan y Joachim Monkelbaan (WEF).

Los autores deseamos agradecer a las siguientes personas y organizaciones que han colaborado en la revisión del informe: Ingrid Sidenvall Jegou (GMF); Tristan Smith y Joseph Taylor (UCL); y Panos Spiliotis (EDF). De igual forma, quisiéramos agradecer a las partes interesadas a nivel local y a los miembros del Comité Directivo del proyecto de la Coalición P4G-GtZ de México por sus constantes aportaciones y comentarios al proyecto y al borrador del informe.

Los socios del proyecto agradecen la contribución financiera de P4G al proyecto.

Para citar este informe, utilice: Shaw et al. (2022). La transición energética del transporte marítimo: Oportunidades estratégicas en México. Informe para el proyecto P4G-Getting to Zero Coalition Partnership.

Partes Interesadas a nivel local y miembros del Comité Directivo de la Coalición P4G-GtZ de México

Nombre	Posición	Organización
Abel Lopez Dodero	Especialista Senior en Transporte, América Latina y el Caribe, Transporte GP	Banco Mundial
Adela Olano Roche	Asesora de Inversiones de Impacto y de Asociaciones	Cementos Mexicanos (Cemex)
Alfredo González Reyes	Responsable de la Agenda 2030	Secretaría de Economía
Ana Lepure	Políticas sobre Eficiencia Energética	Consultora en México de la Agencia Internacional de Energía (AIE)
Angélica Jiménez	Directora General	Instituto de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Colima
Claudia Octaviano Villasana	Coordinadora General para la Mitigación del Cambio Climático	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Daniel Gutierrez-Topete	Director	Clúster energético de Baja California
Daniel Meija	Gestor de compromisos	P4G (antiguo)
Edna Dolores Rosas Huerta	Conferenciante	Universidad Veracruzana
Eric Serratos	Miembro de la Comisión de Asuntos Internacionales	Cámara Mexicana de la Industria del Transporte Marítimo (CAMEINTRAM)
Gabriel Castellanos	Oficial de programa asociado	Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)

Name	Position	Organization
Gildardo Alarcón Daowz	Asesor en cuestiones marítimas y medioambientales	Autoridad Marítima de México (UNICAPAM-SEMAR)
Israel Hurtado	Presidente	Asociación Mexicana del Hidrógeno
Jacobo Mekler Waisburd	Presidente	Asociación Mexicana de Hidroelectricidad (AMEXHIDRO)
Jaime Burguete Buiza	Vicepresidente de Desarrollo Empresarial	AES Sudamérica
José Manuel Becerra Pérez	Director	Comisión de Energía (CCE)
Lars Steen Nielsen	Embajador	Embajada de Dinamarca en México
Luisa Sierra	Coordinador de energía	Iniciativa Climática de México
Luz Maria Ortiz	Directora General Adjunto de Cooperación Internacional	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
María Fernanda Lara	Director de Financiación Sostenible	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
María José Riquelme Sordo	Director de Asuntos Internacionales y Relaciones Institucionales	Consejo de Coordinación Empresarial (CCE)
Natalie Gupta	Director Bunkering Yara Clean Ammonia	Yara Internacional
Nelson Mojarro	Director	BRETFIN, REINO UNIDO
Norma Patricia Muñoz Sevilla	Presidente	Consejo de Cambio Climático
Philippe Esposito	Cofundador y Presidente	Energía DH2
Ricardo Sanchez	Oficial Superior de Asuntos Económicos, División de Comercio Internacional e Integración	Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Salomón Díaz	Coordinador, Descarbonización de Puertos	WWF México
Sheila Guadalupe Cadena Nieto	Jefe de Departamento	Secretaría de Desarrollo Energético, Tabasco
Tomás Baeza	Director de Hidrógeno y Movilidad	Impacto de ENGIE
Velvet Rosemberg Fuentes	Director General de Asuntos Internacionales	Ministerio de Energía (SENER)

Deslinde de responsabilidad

Este informe procede del proyecto P4G-Getting to Zero Coalition Partnership, un proyecto entre el Foro Marítimo Mundial, Friends of Ocean Action, el Foro Económico Mundial, University College of London, Environmental Defense Fund y la Asociación Internacional de Puertos. Las opiniones expresadas son exclusivamente de los autores y no representan las opiniones o puntos de vista de los socios participantes.

Prólogo

A medida que la flota marítima mundial transita hacia combustibles más sostenibles, la capacidad de México para capitalizar las oportunidades relacionadas a esta transición en los próximos años será cada vez más importante. Conforme los países de todo el mundo exploran energías alternativas y desarrollan nuevas tecnologías para operar con combustibles de fuentes sustentables, México cuenta con una posición singular para aprovechar su importante potencial de energía renovable para beneficiarse de la descarbonización del transporte marítimo. De actuar ahora, México se situaría estratégicamente a la vanguardia de este movimiento, convirtiéndolo así en un líder mundial y avanzaría en su emergente economía de combustibles verdes.

Con acceso a los océanos Pacífico y Atlántico, rutas marítimas bien establecidas y relaciones comerciales con múltiples continentes, México puede aprovechar nuevos mercados y establecerse como centro energético mundial y proveedor de combustibles verdes. Aprovechar este potencial puede acelerar la transición a energías más limpias en todos los sectores económicos, creando varias oportunidades para el país.

Al apoyar los esfuerzos nacionales para la producción y uso de estos nuevos combustibles, al mismo tiempo, México podría alcanzar los objetivos clave de desarrollo y lograr mayores ambiciones nacionales relacionadas con la reducción de la contaminación atmosférica, el aumento de la seguridad e independencia energética, el crecimiento de su mercado de trabajo verde, la diversificación de sus productos de exportación de valor agregado, el fortalecimiento de la capacidad y habilidades a nivel nacional, así como la generación de nuevas formas de inversión extranjera directa.

Para desbloquear estas oportunidades, México podría apoyar las iniciativas de la industria y las colaboraciones público-privadas que promuevan la implementación y el aprovechamiento de nuevas soluciones energéticas y tecnologías de combustibles. Para ello es esencial contar con un marco político y financiero facilitador capaz de motivar y convocar eficazmente a los actores clave de todos los sectores y cadenas de valor.

Como partes interesadas a nivel local y miembros del Comité Directivo, acogemos con satisfacción las observaciones expuestas en este informe y solicitamos a los actores pertinentes a comprometerse con mayor ahínco, con el fin de hacer realidad estas oportunidades para México.



**Luisa Sierra
Brozon**



**Gildardo Alarcón
Daowz**



Salomón Díaz



Philippe Esposito



Natalie Gupta



**Daniel Gutierrez-
Topete**



**Edna Dolores
Rosas Huerta**



Israel Hurtado



Angélica Jiménez



Ana Lepure



Abel Lopez



**Kurt Honold
Morales**



Nelson Mojarro



**Lars Steen
Nielsen**



**Claudia
Octaviano
Villasana**



**Ricardo J.
Sanchez**



Eric Serratos



Resumen ejecutivo

México en una encrucijada: la oportunidad de convertirse en una futura potencia en América Latina para producir combustibles verdes para el transporte marítimo internacional.

Teniendo una ubicación idónea entre los océanos Pacífico y Atlántico, México goza de una posición geográfica ventajosa, con fácil acceso a las principales rutas marítimas, cercano a los grandes socios comerciales, es decir, Estados Unidos y Canadá, así como abundantes recursos naturales. Aprovechando estratégicamente estas condiciones, México se ha convertido en la segunda economía de América Latina y en la decimoquinta economía del mundo, con más de un tercio de las exportaciones totales de América Latina procedentes de México.

En los últimos años, la industria marítima mundial ha avanzado significativamente en el desarrollo de innovaciones tecnológicas para afrontar el reto de reducir las emisiones del sector mediante el cambio a combustibles de bajo y cero carbono. Con este cambio llega la oportunidad para países como México, que está en una posición única para suministrar, a escala, combustibles verdes para esta transición energética. Como el 12th mayor contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en 2015, México también podría beneficiarse de la reducción de sus emisiones nacionales, de las cuales las actividades marítimas representan alrededor del 2,9% de las emisiones nacionales de GEI de México en 2018. Esto no solo reduciría las emisiones nacionales, sino también la dependencia del país de la importación de gas natural y productos petroleros refinados de otros países como Estados Unidos; aumentando así la seguridad e independencia energética general de México.

Nuevas estimaciones muestran que las actividades marítimas de México representan el 2,9% de sus emisiones de GEI nacionales de 2018.

Figura 1: Actividad marítima en torno a las aguas costeras de México aguas de México (2018).



Los combustibles escalables de cero emisiones (CECE), como el hidrógeno y el amoníaco verdes, se consideran los combustibles más prometedores para la transición de la industria. Estos combustibles requerirán cantidades sustanciales de energía renovable para su producción, almacenamiento y distribución.

Con las grandes cantidades de energía renovable de México en forma de energía solar, hidroeléctrica y eólica, el país está bien posicionado para suministrar estos combustibles. Aprovechando estos recursos, el país podría producir entre 932 y 4.992 Tera vatios hora al año (TWh/a) de energía renovable para 2030. Esto representa energía más que suficiente para satisfacer la demanda nacional de electricidad, descarbonizar las industrias locales y contribuir a la descarbonización del transporte marítimo nacional e internacional.

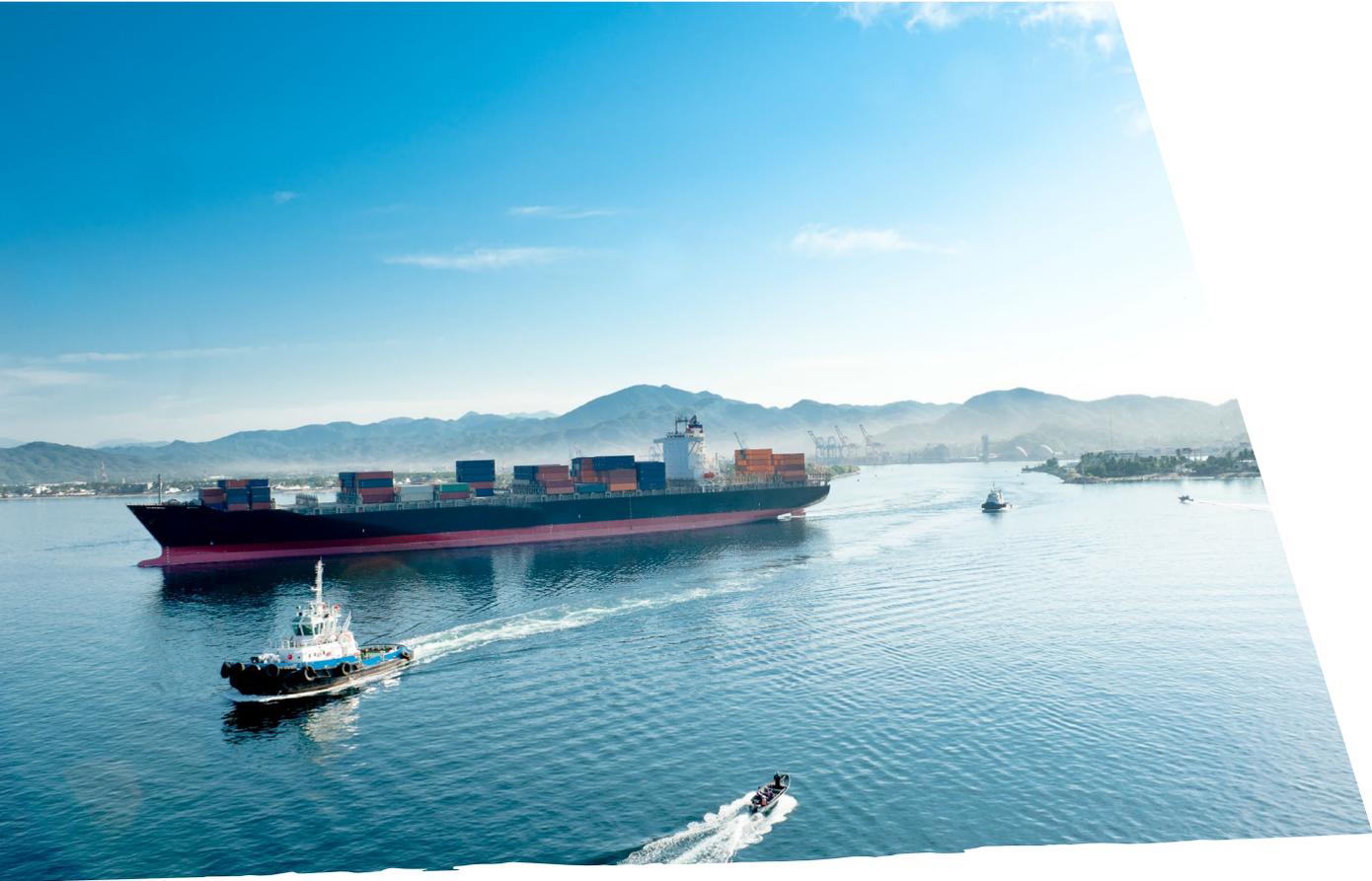
Suponiendo que el 5% de la flota mundial cambie a CECE para 2030, la demanda de energía verde para los buques en México representaría unos 3.4 TWh/a, lo que, según cálculos conservadores, supone sólo el 0,4% del potencial renovable total de México.

Oportunidades de negocio estratégicas

La transición energética marítima representa varias oportunidades de negocio estratégicas que podrían aportar importantes beneficios económicos, sociales y medioambientales. En términos generales, la reducción de las emisiones del transporte marítimo es una oportunidad para que México disminuya sus emisiones globales y cumpla sus compromisos climáticos y energéticos, al tiempo que impulsa el desarrollo industrial y contribuye a otros objetivos nacionales. La consecución de este objetivo tendría beneficios más allá del transporte marítimo, ya que mejoraría la seguridad energética mediante el aprovechamiento de los recursos locales y ayudaría a catalizar una economía baja en carbono en México, apoyando la descarbonización de otros sectores y ayudando a impulsar la creación de empleo.

Las estimaciones muestran que el desarrollo de una infraestructura de combustibles verdes para servir al sector naviero de México podría atraer inversiones de hasta 37.000-53.000 millones de MXN (1.900-2.700 millones de USD) en infraestructura terrestre para 2030.

Aprovechando su potencial renovable y sus relaciones comerciales existentes, México podría establecer una ventaja competitiva en la producción de CECE. Formando parte de la transición para el transporte marítimo e invirtiendo en sí mismo, México podría crear nuevas fuentes de ingresos a partir de las exportaciones de CECE y el abastecimiento (bunkering), establecer centros y puertos verdes, así como abrir posibilidades de corredores verdes a lo largo de las rutas marítimas clave. Tras una amplia consulta con las principales partes interesadas mexicanas, se identificaron tres oportunidades para México: el puerto de Manzanillo, el centro industrial de El Bajío y la región de Baja California.



Puerto de Manzanillo

Situado en el Estado de Colima, en la costa occidental, el puerto es uno de los más activos de México y el 3rd mayor de América Latina. Actúa como la principal entrada para el manejo de mercancías de comercio internacional para las Zonas Centro y Bajío de México. Al manejar principalmente tráfico de contenedores, Manzanillo es el mayor puerto de México en términos de uso de energía marítima, demandando 11 TWh de energía de combustibles fósiles al año.

Manzanillo fue seleccionado por el tipo y la cantidad de tráfico marítimo, su ubicación junto a un gran potencial solar, las sinergias con las industrias circundantes de difícil acceso y el interés existente en la expansión del puerto. Por todo ello, el puerto de Manzanillo tiene la oportunidad de contribuir a la transición energética del transporte marítimo a través de la producción, uso, abastecimiento de combustible y exportación de CECE.

Aprovechar las sinergias entre la producción de CECE para los buques portacontenedores y las industrias locales de minería y cemento puede agregar la demanda y aumentar las economías de escala para la producción local de hidrógeno verde y amoníaco. Esto permitiría al puerto convertirse en un centro de hidrógeno verde para la producción y exportación de CECE.



Corredor Industrial del Bajío

Acoplar las actividades de producción de hidrógeno verde en el interior con otras industrias de base central es una buena manera no sólo de descarbonizar la fabricación en México, sino también de ecologizar la logística y las cadenas de suministro, reduciendo así las emisiones de alcance 2 y 3. En México se están llevando a cabo múltiples iniciativas lejos de las costas que pueden apoyar indirectamente la descarbonización del transporte marítimo.

DH2 Energy es una empresa centrada en el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en Europa y América. La ubicación de estas actividades de hidrógeno verde previstas es adyacente a muchos productores de automóviles en el centro de México. En particular, San Luis Potosí y Guanajuato son fuertes centros de la industria automotriz, con importantes productores internacionales de automóviles activos en la región de El Bajío. Además, estas zonas también cuentan con importantes industrias mineras y siderúrgicas. Estos tres sectores podrían actuar como importantes compradores de hidrógeno verde producido localmente.

DH2 Energy planea vender hidrógeno verde a industrias nacionales de difícil acceso y está explorando la oportunidad de exportar hidrógeno verde a Europa y Asia, entre otros. Para ello es necesario conectarse a infraestructuras portuarias capaces de exportar estos combustibles, muy probablemente a lo largo de las dos costas mexicanas.



Baja California

Baja California es la 7th mayor economía de México, con varias características únicas que la convierten en una prometedora oportunidad regional, como su red energética conectada a Estados Unidos, su potencial de energías renovables, la concentración de industrias pesadas y manufactureras, la voluntad política y los proyectos piloto existentes.

El Estado tiene la oportunidad de producir y poner en funcionamiento los CECE en múltiples sectores, así como de tomar medidas para descarbonizar su flota de barcos pequeños. Con uno de los mayores potenciales solares y eólicos de México, el hidrógeno y el amoníaco verdes pueden producirse in situ y luego transportarse por todo el Estado para su uso doméstico e industrial.

Esto reduciría las importaciones de gas natural de Estados Unidos y ofrecería importantes beneficios intersectoriales para la descarbonización de la minería, el cemento, la industria, el turismo y la pesca locales. Si se amplía, Baja podría suministrar combustibles verdes directamente a puertos clave para su uso a bordo de buques internacionales y, potencialmente, para la exportación a medida que crezca la demanda de CECE.

Recomendaciones

Actualmente, la economía de México depende de la producción y el uso de los recursos de combustibles fósiles del país. Para aprovechar adecuadamente estas oportunidades estratégicas, hay varias acciones clave que pueden llevarse a cabo para avanzar en el transporte marítimo de cero emisiones en México y en el mundo. Estas acciones pueden ser tomadas por los actores y autoridades portuarias, los gobiernos, las instituciones financieras, así como los actores marítimos y de la industria en general interesados en aprovechar el potencial de las energías renovables en México. Con los incentivos adecuados y una acción dirigida a fomentar las inversiones en energía renovable y producción de combustible, México puede obtener una ventaja competitiva en el abastecimiento de combustible y la exportación de CECE en América Latina.

PUERTOS

Desarrollar planes y estrategias portuarias de colaboración que aprovechen las sinergias de abordar tanto la contaminación atmosférica como los objetivos de descarbonización

Las autoridades portuarias podrían desarrollar planes y estrategias de colaboración con las partes interesadas nacionales y las comunidades locales que demuestren explícitamente el compromiso con la descarbonización, así como los objetivos para reducir la contaminación portuaria.

Aumentar la coordinación y la orientación entre los principales puertos de México

Mediante una mejor orientación por parte del Estado, los servicios e infraestructuras portuarias sostenibles en México pueden ser más eficientes, competitivos y rentables.

Explorar opciones para la electrificación de los puertos y la mitigación de la contaminación atmosférica

Cambiar las actividades portuarias, siempre que sea posible, para que dependan principalmente de la energía eléctrica procedente de fuentes renovables puede reducir las emisiones locales de GEI, el mantenimiento y los costes energéticos.

Preparar el abastecimiento o la producción de CECE para el abastecimiento de combustible, el uso portuario y la exportación

Los primeros en hacerlo ya están planeando la explotación de buques con CECE. Prepararse para obtener o producir este tipo de combustibles puede ayudar al país a aprovechar las oportunidades estratégicas tanto a nivel nacional como un posible producto de exportación a otros países o regiones.

Animar a los puertos a convertirse en nodos verdes de una red multisectorial

La creación de un ecosistema portuario que actúe como un nodo verde para múltiples sectores, mediante el cual el puerto pueda ofrecer servicios sostenibles utilizando fuentes de energía de baja o nula emisión de carbono tanto para los buques como para el transporte terrestre, será importante para la transición.

POLÍTICA

Nacional

Actualizar las políticas para reflejar los compromisos climáticos como parte de la planificación nacional a largo plazo

Alinear las políticas marítimas, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, puede aumentar la coherencia de las políticas y desbloquear la inversión. El sector marítimo debe incluirse en la agenda de descarbonización más amplia y abordarse explícitamente en las políticas y planes nacionales.

POLÍTICA

Definir una estrategia u hoja de ruta nacional del hidrógeno

El establecimiento de una hoja de ruta nacional del hidrógeno con objetivos y acciones definidas, desarrollo de infraestructuras planificadas, vías de transición, coordinación entre las partes implicadas, estructuras de gobernanza y modelos de negocio probablemente desbloquearía la financiación y aprovecharía el potencial de México como productor y exportador de CECE.

Reducir los permisos y las trabas administrativas

Aligerando o eliminando las barreras que dificultan el progreso, es posible estimular aún más las inversiones en proyectos de energía verde. El gobierno podría tratar de establecer medidas que faciliten el acceso a la infraestructura energética, especialmente para el desarrollo de proyectos de hidrógeno.

Fomentar la colaboración público-privada

Las partes interesadas argumentaron que las autoridades mexicanas y las partes interesadas (productores de energía y representantes de la industria, operadores del sistema, reguladores) deberían aprovechar el impulso mundial en torno a las perspectivas de descarbonización del transporte marítimo y emprender proyectos de cooperación técnica y económica.

Preparar la capacidad y las habilidades laborales para manejar los CECE y las tecnologías

Existe una clara necesidad de fomentar la formación especializada, las asociaciones entre el mundo académico y la industria, y la cooperación internacional en materia de educación superior, investigación, desarrollo e innovación para mejorar la capacitación de los empleados portuarios en el manejo de los CECE.

Internacional

Apoyar el desarrollo de normas y autorizaciones de seguridad de los CECE

Estas normas y etiquetas son necesarias para armonizar las especificaciones tecnológicas del sector y controlar la seguridad de la producción, la manipulación y el transporte de los CECE.

Colaboración para garantizar una política eficaz en materia de gases de efecto invernadero en la OMI

Las inversiones y la innovación podrían incrementarse a través de una mayor ambición y nuevas políticas, por ejemplo, normas de combustible y medidas basadas en el mercado, desarrolladas en la OMI. Al trabajar con otros Estados miembros ambiciosos para apoyar esto, México puede permitir mejor la transición justa y equitativa del transporte marítimo.

Firma la Declaración de Clydebank y desarrolla el primer corredor verde de México

Basándose en su potencial de energía renovable, sus relaciones comerciales con otras regiones y su ubicación a lo largo de rutas marítimas muy transitadas, México podría firmar la Declaración de Clydebank para señalar su interés en la colaboración internacional para su pronta adopción.

FINANZAS

Explorar los incentivos fiscales nacionales para los que se mudan por primera vez

Las partes interesadas sugirieron que se exploren los incentivos fiscales para apoyar a los primeros que asuman mayores riesgos. Esto apoyaría la creación de un entorno que desencadene las inversiones en un sistema de alto contenido en energías renovables.

Impulsar la seguridad energética mediante la generación privada de electricidad renovable

La eliminación de las barreras a la producción privada de electricidad renovable a gran escala y la flexibilización del marco regulatorio son esenciales para construir la capacidad de energía verde de México y escalar su potencial, incluso en la producción de CECE.

Aprovechar la financiación internacional del desarrollo para priorizar la financiación de proyectos estratégicos

México podría aprovechar su experiencia en el acceso al apoyo al desarrollo, que puede utilizarse en beneficio de sus industrias marítimas y terrestres para aumentar la producción de CECE.

INDUSTRIA

Estimular el impulso a través de la presión y el compromiso

Las industrias marítimas pueden comprometerse con los organismos públicos para mostrar expresamente su interés en ampliar la producción de CECE y las tecnologías relacionadas, así como para ayudar a educar a los gobiernos sobre la multitud de beneficios ambientales, sociales y económicos de la transición hacia una economía y una industria marítima con emisiones de gases de efecto invernadero bajas o nulas.

Dirigir las actividades de descarbonización a lugares estratégicos

El compromiso con los esfuerzos de descarbonización en cualquier sector tiende a variar por región y por costa en México. Los actores de la industria podrían aprovechar las ubicaciones estratégicas dentro de México que tienen una convergencia de factores favorables que apoyarían las iniciativas piloto.

Demanda agregada de CECE

Las industrias marítimas, aunque son grandes consumidores, podrían tratar de coordinarse con otros sectores de la cadena de valor, especialmente la automoción, la minería, la industria manufacturera y los productores de cemento, con el fin de agregar la demanda de CECE.

Seguir desarrollando asociaciones centradas en CECE y en las oportunidades de electrificación para impulsar el cambio del mercado

Reunir a los actores de la industria en foros de colaboración no competitivos puede enviar señales de demanda colectiva para acelerar la acción de descarbonización. Las industrias interesadas podrían unirse a iniciativas como la Asociación Mexicana de Hidrógeno, que fue lanzada en 2021, y se dedica al desarrollo del hidrógeno verde y los negocios relacionados.

Explorar opciones de modelos de negocio alternativos

Los agentes del sector podrían buscar modelos de negocio nuevos y alternativos -como sistemas de reservas y reclamaciones, servicios de suscripción y modificación de contratos de transporte- que reduzcan las elevadas barreras de entrada o de adopción de la tecnología de los CECE.

La creación de conexiones con la transición energética marítima mundial permitiría a México establecerse como líder mundial en este espacio mediante la participación en la producción de combustibles verdes y el abastecimiento de combustible. La creación de esta infraestructura impulsaría la capacidad de México para aprovechar esta transición y utilizar su enorme potencial renovable para avanzar en varios objetivos nacionales. Desbloquear la financiación internacional, facilitar los obstáculos reglamentarios, establecer asociaciones de colaboración e invertir en proyectos de energía renovable y resistentes al clima será fundamental en los próximos años.

La transición energética del transporte marítimo hacia los combustibles ecológicos y alternativos ya se está produciendo, con múltiples iniciativas y nuevos desarrollos anunciados mensualmente. Los debates a nivel internacional ya están impulsando objetivos de descarbonización más altos, dejando claro que la dependencia del transporte marítimo de los combustibles fósiles llegará a su fin en las próximas décadas. Con un cambio tan próximo en el horizonte, México se enfrenta a la opción de prepararse ahora y obtener beneficios futuros o arriesgarse a que los costes sean mayores para ponerse al día más adelante. Mientras otros países de América del Sur toman medidas para preparar sus propias cadenas de suministro de búnker y se comprometen con el sector marítimo internacional, México debería tomar medidas rápidas y estratégicas si quiere posicionarse como productor y exportador competitivo de CECE. Las acciones descritas anteriormente podrían ayudar a México en sus esfuerzos de seguridad energética y a convertirse en un centro de abastecimiento de combustible con cero emisiones de carbono en América Latina.

Abreviaturas

AID	Asociación Internacional de Desarrollo
AIS	Sistema de identificación automática
BC	Carbón negro
BEI	Banco Europeo de Inversiones
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIRD	Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CAMIMEX	Cámara Minera de México
CECE	Combustibles escalables de cero emisiones
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CH₄	Metano
CIMARES	Comisión Intersecretarial para el Manejo Sostenible de Mares y Costas
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	CO ₂ equivalente
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
ECA	Zona de Control de Emisiones
EF	Factor de emisión
GEI	Gas de efecto invernadero
GNL	Gas natural licuado
GWh/a	Gigavatios hora al año
H₂ MÉXICO	Asociación Mexicana del Hidrógeno
HFO	Aceite combustible pesado
HFO_{eq}	Equivalente de fuel pesado

IFC	Corporación Financiera Internacional
IHS	Servicio de Tratamiento de la Información
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGYCEI	Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
LHV	Bajo valor calorífico
MBM	Medidas basadas en el mercado
MCR	Capacidad continua máxima
MDO	Gasóleo marino
N₂O	Óxido nitroso
NADBANK	Banco de Desarrollo de América del Norte
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
NMTP	Política Nacional de Transporte Marítimo
NO_x	Óxidos de nitrógeno
OMI	Organización Marítima Internacional
PEMEX	Empresa petrolera mexicana
PM	Partículas en suspensión
PNMCM	Política Nacional de Mares y Costas de México
PPIAF	Mecanismo de Asesoramiento Público-Privado sobre Infraestructuras
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
QA	Garantía de calidad
QC	Control de calidad
SCJN	Suprema Corte de Justicia de la Nación
SEMAR	Secretaría de Marina
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SFC	Consumo específico de combustible
SGM	Modelo Geoespacial de Navegación

Abreviaturas

SOG	Velocidad sobre el terreno
SO_x	Óxidos de azufre
TMEC	Tratado México, Estados Unidos y Canadá
TWh	Tera vatios hora
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Sección 1

La necesidad de la descarbonización marítima

El cambio climático es el mayor reto al que se enfrenta la humanidad en este siglo. Los trabajos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) han puesto de manifiesto y evidenciado los graves impactos del cambio climático que se están produciendo en todo el mundo. Se espera que estos impactos aumenten en intensidad, frecuencia y peligrosidad a menos que se lleve a cabo una transición energética en todos los sectores [1]. El IPCC sugiere que evitar los peores escenarios significa limitar el aumento de la temperatura global a unos 1,5°C. Para ello, “las emisiones mundiales netas de dióxido de carbono causadas por el hombre (CO₂) tendrían que reducirse en aproximadamente un 45% con respecto a los niveles de 2010 para el año 2030, alcanzando al menos el ‘cero neto’ alrededor de 2050” [2][3]. Numerosos países de América Latina ya se han comprometido o prometido alcanzar el cero neto o la neutralidad de carbono para 2050, entre ellos Argentina, Belice, Brasil, Chile, Colombia y Ecuador [4].

En 2015, el Acuerdo de París estableció el objetivo de limitar el calentamiento global muy por debajo de 2,0 °C y, preferiblemente, de 1,5 °C. Más recientemente, en la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas de 2021 (COP26), el transporte marítimo y su contribución al cambio climático internacional se destacaron como un sector clave que debe abordarse en los próximos años. De hecho, el trabajo más reciente del IPCC destaca el papel del sector del transporte marítimo y las acciones necesarias para permitir su descarbonización [5]. Está claro que el transporte marítimo, como sector, tendrá que desempeñar su papel en la descarbonización global y la transición energética si se quiere alcanzar este objetivo.

El transporte marítimo regional y mundial conecta eficazmente las economías a través del movimiento eficiente de mercancías, y representa el 80-90% del comercio mundial [6][7]. Al hacerlo, el sector del transporte marítimo emite entre el 2% y el 3% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuye con entre el 12% y el 13% de las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno a la contaminación atmosférica mundial [8][9]. El combustible de este movimiento es una industria energética de 140.000 millones de dólares al año que abastece al sector del transporte marítimo con 4-5 millones de barriles de petróleo cada día¹ [10].

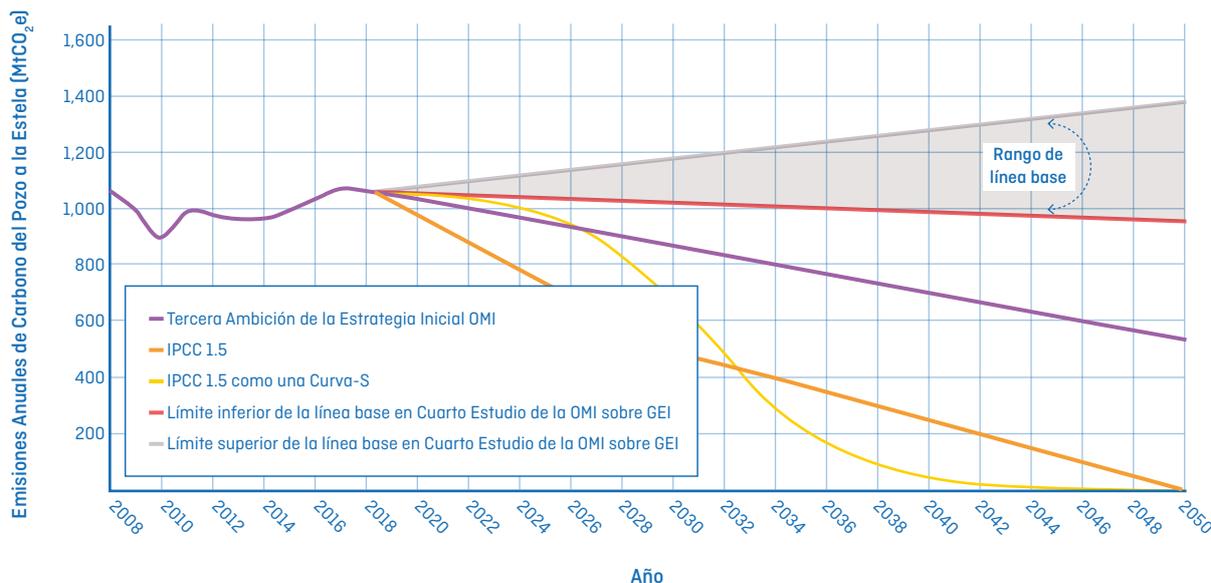
El comercio marítimo ha experimentado un crecimiento medio anual de alrededor del 3,2% entre 2011 y 2019, lo que significa que más de 13.000 nuevos buques comerciales² han entrado en funcionamiento en la última década, la mayoría de ellos propulsados por combustibles fósiles [11]. Las proyecciones recientes indican que, para 2050, las emisiones del transporte marítimo aumentarán entre un 90 y un 130 % con respecto a los niveles de 2008 (ver la Figura 1) [8]. Con una vida media de entre 25 y 30 años, los buques se consideran activos de larga duración. Dependiendo del tipo de motor utilizado en estos buques, el coste de adaptarlos

1 Precio del contrato del barril tomado el 17/01/2022 que era de 84,20 USD.

2 Por encima de 100 toneladas de arqueo bruto y normalmente con una eslora superior a 25 m dependiendo de la construcción del buque .

para que funcionen con combustibles alternativos podría ser considerable. Para evitar que los buques alimentados con combustibles fósiles se conviertan en activos abandonados, es urgente aplicar medidas que faciliten la transición del transporte marítimo y reduzcan sustancialmente las emisiones [12]. Las acciones para apoyar esto serán tanto la fabricación de buques con cero emisiones como la readaptación de los activos existentes.

Figura 1: Posibles trayectorias de emisiones marítimas equivalentes de carbono de Well-to-Wake³ basadas en diferentes escenarios, ambiciones y objetivos de cambio climático. La zona gris representa el rango de emisiones para el caso BAU (basado en [8]).



Es importante destacar que el aumento de la eficiencia energética y los combustibles basados en el gas natural serán insuficientes por sí solos para alcanzar los objetivos climáticos de París [5]. Por tanto, el futuro del transporte marítimo internacional dependerá de la producción y el uso de nuevos combustibles escalables de emisión cero (CECE), un subconjunto de combustibles con (i) el potencial de tener cero emisiones de GEI en su ciclo de vida, teniendo en cuenta las emisiones de la producción, el transporte, el almacenamiento y el uso; y (ii) procesos de producción capaces de abastecer de forma competitiva la demanda futura prevista. La escala de la demanda de tales combustibles se estima en alrededor de 200-300 Mt de energía equivalente a Fuel Oil Pesado (HFO_{eq}) por año [13].

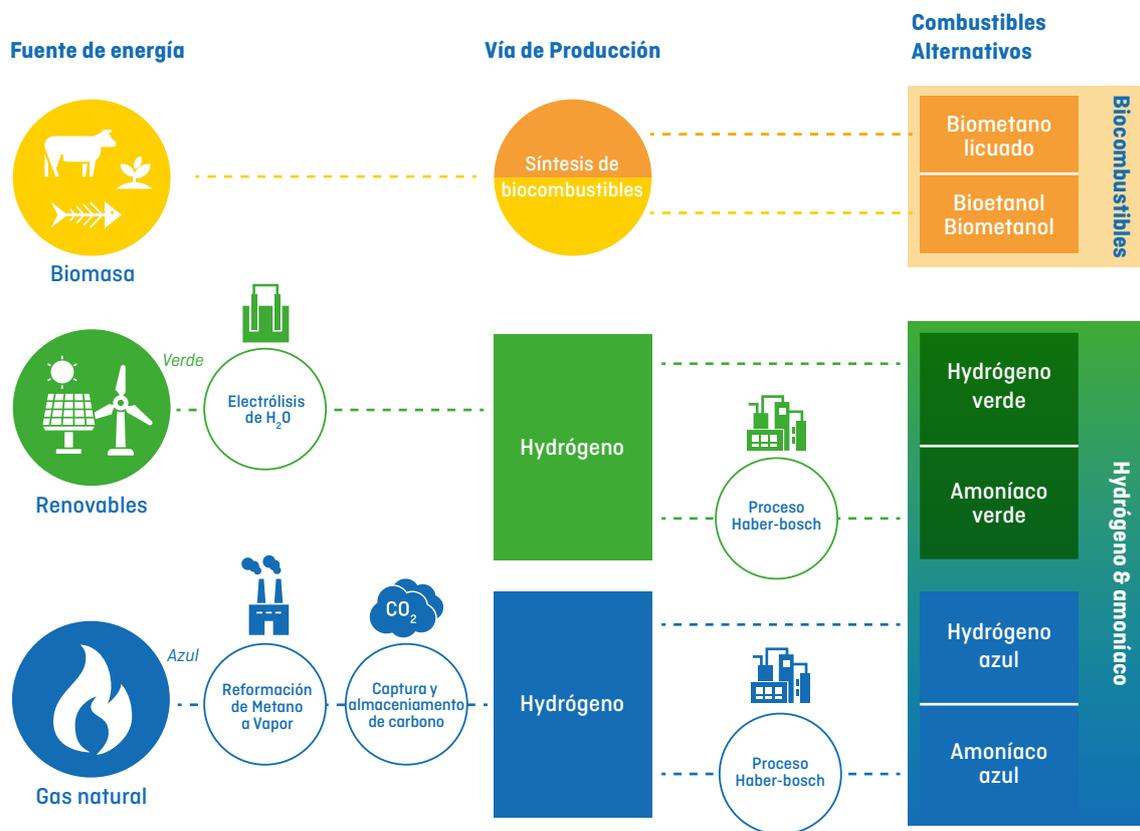
Como se muestra en la Figura 2 más abajo, para los buques de mayor tamaño existen múltiples tipos de combustible nuevos con potencial para ser utilizados en la industria naval. Aunque cada una de estas nuevas opciones conlleva sus propios retos y requiere cambios en los sistemas de combustible y abastecimiento existentes, algunas se perciben como más prometedoras que otras. Es poco probable que los biocombustibles se conviertan en la principal opción de combustible, ya que tienen problemas de escalabilidad y la demanda competitiva de otros sectores. Las opciones más prometedoras a largo plazo para el transporte marítimo son el hidrógeno verde y el amoníaco verde para los buques de alta mar, ya que ambos pueden utilizarse en pilas de combustible o motores de combustión interna. El amoníaco verde, en particular, se considera la opción más adecuada

3 Son la agregación de las emisiones aguas arriba (es decir, del pozo al tanque) y aguas abajo (es decir, del tanque a la vigilia).

a largo plazo para descarbonizar el transporte marítimo internacional, aunque se necesitan nuevos motores y modificaciones en los buques para que funcionen con este combustible y su manejo seguro plantea problemas a la industria [14][15][16]. Los buques domésticos más pequeños también pueden utilizar hidrógeno verde, aunque otras opciones de energía, como la electrificación, son atractivas.

Aunque no aparece en la figura siguiente, el metanol verde también se considera un fuerte competidor, ya que el metanol no requiere apenas modificaciones en el motor. Sin embargo, requiere formas sostenibles de CO₂ como insumo para su producción, lo cual es limitado en el suministro y costoso. Teniendo en cuenta los costes relacionados con la materia prima del CO₂, el metanol renovable tiene unos costes mucho más elevados en comparación con el amoníaco verde. Una reducción significativa de los costes asociados a las tecnologías de captura de carbono podría hacer que el metanol verde fuera más competitivo en el futuro [16][17].

Figura 2: Combustibles alternativos y sus vías de producción.



Fuente: inspirado en el Banco Mundial [18]

La transición de los combustibles en el transporte marítimo, que es claramente un reto y a la vez una oportunidad, puede desencadenar la inversión, catalizar la innovación y crear un crecimiento sostenible. Para ello, el sector deberá desarrollar y construir nuevos buques, integrar y adoptar soluciones tecnológicas innovadoras, desarrollar nuevas cadenas de suministro de combustible e infraestructuras en tierra, al tiempo que aprovecha las sinergias con otros sectores que buscan descarbonizar sus actividades comerciales. De este modo, el propio transporte marítimo puede considerarse tanto impulsor como consumidor de estos nuevos combustibles [19].

Ya se están tomando medidas para construir, demostrar y contar con proyectos piloto de nuevas tecnologías y prototipos de CECE. Ya existen los motores marinos CECE de doble combustible a gran escala que funcionan con metanol ecológico, mientras que se espera que los motores ecológicos de hidrógeno y amoníaco estén disponibles comercialmente a mediados de la década de 2020 y los dispositivos de pila de combustible a gran escala probablemente estén disponibles más adelante en la década [20][21][22]. Los costes de estos nuevos motores y pilas de combustible serán inicialmente más caros que los tradicionales basados en combustibles fósiles que se utilizan actualmente, pero serán más competitivos con el tiempo a medida que se aprovechen las economías de escala. Se espera que los buques con cero emisiones entren en servicio a una escala relativamente pequeña antes de 2030 y se conviertan en la opción principal para los nuevos pedidos de buques durante las dos décadas siguientes.

Para prepararse para este futuro, es necesario actuar ahora, especialmente la creación acelerada de infraestructuras de CECE [23]. En este sentido, es importante destacar que la demanda de energía marítima y la eventual combinación de energías en las próximas décadas es todavía muy incierta debido, entre otras cosas, a la madurez tecnológica -tanto de la energía como de la infraestructura de los buques-, al marco normativo, a las medidas basadas en el mercado y a sus impactos secundarios.

«Descarbonizar las actividades marítimas es un gran reto global. Requiere trabajar juntos para innovar, para imaginar el camino para mover las actividades marítimas de México hacia un futuro de cero emisiones. Los responsables políticos y la industria deben iniciar conversaciones para imaginar cómo queremos que sean nuestros puertos, barcos y la energía para el transporte marítimo en un mundo con cero emisiones netas.»
– **Claudia Octaviano Villasana (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC))**



Sección 2

México: una nación de comercio marítimo

México cuenta con dos costas a lo largo de corredores marítimos nacionales e internacionales muy transitados, críticos para el transporte marítimo, que conectan al país con los mercados asiáticos, europeos, africanos y de América del Norte y del Sur. Su ubicación geográfica presenta una enorme oportunidad para invertir en un mercado marítimo diversificado que necesita hacer la transición hacia una menor intensidad de carbono (ver Figura 3).

México cuenta con 42 puertos marítimos principales que desempeñan un papel activo en el apoyo al comercio [24], las actividades industriales, incluyendo la minería del petróleo, la pesca y el turismo. La flota nacional es relativamente pequeña, compuesta por alrededor de 2,697 embarcaciones que incluyen buques pesqueros, petroleros, graneleros, de carga general y portacontenedores, entre otros; sin embargo, México recibe un importante tráfico marítimo de la flota internacional [25][26]. En 2021, más de 28,775 buques arribaron a los puertos mexicanos, de los cuales la mayoría fueron graneleros para minerales (3,353; 12%), productos agrícolas (554; 2%) y otras mercancías (7,664; 27%); seguidos de transbordadores (7,988; 28%), portacontenedores (4,237; 15%), y graneleros para productos petroleros (3,487; 12%) y otros graneles líquidos (1,492; 5%), con un total de 286.114.290 de toneladas brutas [27].

Figura 3: Actividad marítima en torno a las aguas costeras de México (2018).



Los principales puertos del país son Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Veracruz, Altamira y Ensenada. Lázaro Cárdenas fue incluido entre los 25 mejores puertos bajo el Índice de Desempeño de Puertos de Contenedores para 2020 [28]. En 2019, México vio el movimiento de 231,146 kt dentro de sus 8 principales puertos y 48,271 kt en puertos de cabotaje [29]. En cuanto a la conectividad bilateral, los buques viajan principalmente hacia y desde Estados Unidos, China, Colombia, Panamá, República de Corea, Perú, Ecuador, Japón y Chile [26].

Los puertos de contenedores de México experimentaron un salto significativo en el manejo de carga en 2021, hasta 7,85 millones de unidades equivalentes de veinte pies en todo el país, lo que representa un aumento del 21,6% con respecto a los niveles de 2020 [30]. Sin embargo, cabe señalar que el transporte por camión es el principal modo de transporte para el comercio internacional en México, dado el movimiento de mercancías hacia y desde los Estados Unidos [31]. El camión moviliza la mayor parte de la carga de México (57%), seguido por el transporte marítimo (31%), el ferrocarril (~13%) y el transporte aéreo (0,1%) [32].

México está considerado como una de las economías más abiertas del mundo, con 50 acuerdos de libre comercio en varios continentes, incluido el Acuerdo Estados Unidos-México-Canadá (TMEC). Como tal, México es la segunda economía más grande de América Latina y tiene la 15th economía más grande del mundo [33][34]. En 2020, México ocupó el puesto 9th entre los mayores exportadores del mundo, con productos que incluyen coches, ordenadores, piezas de vehículos y camiones de reparto por valor de 427.000 millones de dólares (ver la Tabla 1). Más de un tercio de las exportaciones totales de América Latina proceden de México y se destinan principalmente a socios de Estados Unidos, Canadá, China, Alemania y Corea del Sur [33][35].

Las importaciones a México se valoraron en 368.000 millones de dólares en 2020 e incluyeron productos como circuitos integrados, piezas de vehículos, petróleo refinado y piezas de máquinas de oficina (ver la Tabla 1). Los principales orígenes de las importaciones de México son Estados Unidos, China, Alemania, Corea del Sur y Malasia (ver Figura 4) [35].



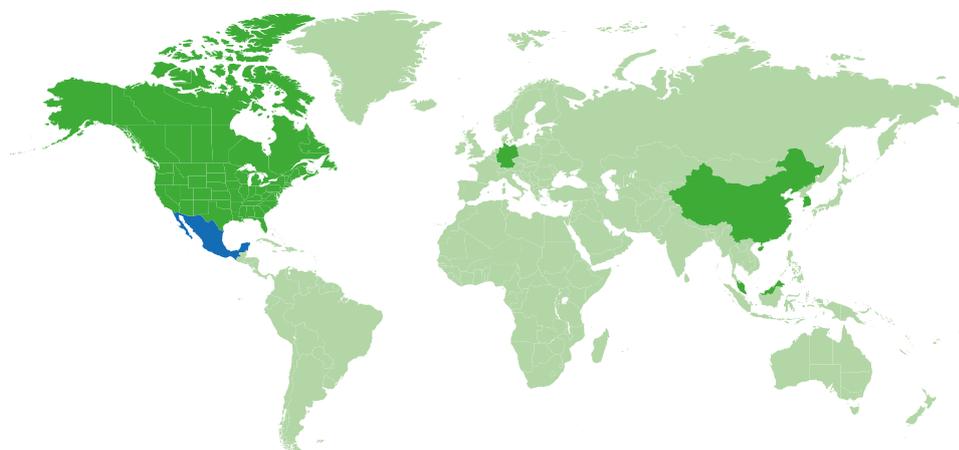
Tabla 1: Principales importaciones y exportaciones de México [35].

Importaciones				Exportaciones			
Producto	Valor (USD)	% del total de las importaciones	Origen y valor (USD)	Producto	Valor (USD)	% of % del total de las exportaciones	Destino y valor (USD)
Circuitos integrados	28.3 B	7.7%	Estados Unidos (9.05 B) Malasia (7.28 B) China (2.91 B) Taipei Chino (2.22 B) Corea del Sur (1.67B)	Coches	41.6 B	9.7%	Estados Unidos (29.1 B) Alemania (4.92 B) Canadá (2.59 B) Colombia (397 M) China (378 M)
Piezas de vehículos	21.6 B	5.9%	Estados Unidos (12.5 B) China (1.99 B) Alemania (1.97 B) Japón (1.42 B) Corea del Sur (1.02 B)	Ordenadores	31.5 B	7.4%	Estados Unidos (28.5 B) Canadá (285 M) Países Bajos (282 M) Alemania (244 M) v (199 M)
Petróleo refinado	18.1 B	4.9%	Estados Unidos (16.8 B) Países Bajos (702 M) China (313 M) Canadá (47.6 M) Corea del Sur (46.4 M)	Piezas de vehículos	27.1 B	6.3%	Estados Unidos (12.5 B) China (1.99 B) Alemania (1.97 B) Japón (1.42 B) Corea del Sur (1.02 B)
Piezas de máquinas de oficina	14.9 B	4.0%	Estados Unidos (7.48 B) China (5.18 B) Taipei Chino (777 M) Corea del Sur (444 M) Tailandia (315 M)	Camiones de reparto	23.8 B	5.5%	Estados Unidos (21.8 B) Canadá (1.09 B) Brasil (138 M) Chile (109 M) Colombia (97 M)

Figura 4: Relaciones de importación y exportación de México [35].

México

- Estados Unidos
- Malasia
- China
- Taipei Chino
- Corea del Sur
- Alemania
- Japón
- Países Bajos
- Canadá
- Tailandia
- Colombia
- Brasil
- Chile



Sección 3

Actividad marítima y navegación emisiones

México está situado en rutas marítimas clave. Como tal, existe una importante actividad marítima en las aguas del país. La actividad marítima de México está dominada por los portacontenedores, los buques cisterna y los transportes de personas y vehículos que realizan principalmente viajes internacionales. Utilizando un enfoque basado en la actividad⁴, Tabla 2 desglosa los buques que salieron de los puertos de México en 2018 y muestra la energía utilizada por cada tipo de buque: los grandes portacontenedores representan el 27,3% de la demanda total de energía anual, mientras que los grandes petroleros y los grandes transportes de personas y vehículos representan el 13,7% y el 13,2%, respectivamente.

Tabla 2: Demanda de energía de combustibles fósiles de los diferentes tipos de buques que salieron de los puertos de México en 2018 [36].

Categoría de buque	Demanda de energía de los combustibles fósiles 2018 (GWh/a)	Parte del total general (%)
Graneleros: Grandes	1,922	4.9%
Graneleros: Pequeños	3,643	9.3%
Cisternas: Grandes	5,370	13.7%
Cisternas: Pequeñas	3,849	9.8%
Contenedores: Grandes	10,708	27.3%
Contenedores: Pequeños	2,861	7.3%
Transporte de personas y vehículos: Grande	5,186	13.2%
Transporte de personas y vehículos: Pequeño	2,303	5.9%
Buques aptos para navegar en alta mar y para prestar servicios	987	2.5%
Pesca	284	0.7%
Embarcaciones pequeñas: Industrial	1,460	3.7%
Embarcaciones pequeñas: Pesca / Otras embarcaciones pequeñas	720	1.8%
Total general	39,293	100%

‡ La demanda de energía presentada no representa la venta de combustible, sólo el gasto de energía para llegar a cualquier puerto de México desde la parada anterior.

§ Para convertir de GWh a TJ se utiliza un factor multiplicador de 3,6. Para el HFOeq el Valor de Calentamiento Bajo (LHV) utilizado fue de 40.2 TJ/kt (Faber et al., 2020).

4 En un enfoque basado en la actividad, también conocido como enfoque ascendente, los buques se agregan por sus especificaciones de diseño utilizando información técnica procedente de las bases de datos de los registros de buques, como la Red de Inteligencia Marítima de Clarkson. Esto se combina con los datos de actividad que pueden extraerse de las encuestas de los operadores de buques, las autoridades portuarias y los sistemas de identificación automática.

3.1 El inventario nacional de emisiones de GEI de México

En 2018, el gobierno de México presentó su 6th Comunicación Nacional a la CMNUCC convirtiéndose en el primer país en desarrollo en presentar seis de estos informes. La 6th Comunicación Nacional de México incluyó un Inventario Nacional de Emisiones de GEI para el periodo 1990-2015. El gobierno de México, a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), elabora el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales [37][38]. Según el Inventario Nacional actualizado incluido en la Comunicación Nacional 6th, en 2015 México emitió casi 700.000 Mt de CO₂e⁵ [37]. Esta cantidad de emisiones de GEI situó a México como el 12th mayor emisor del mundo en 2015 [39]. En un esfuerzo por ser transparente y responsable, el INECC ha compartido públicamente inventarios de emisiones actualizados [40].

Para estimar y contrastar las emisiones del transporte marítimo, se tomarán las emisiones marítimas de 2018, reportadas en el INEGYCEI, por lo que se alinea con la nueva metodología de emisiones marítimas desarrollada para este informe, que utiliza los datos de la actividad marítima del mismo año. Por lo tanto, y en lo que respecta al transporte marítimo nacional, el Inventario Nacional de GEI del país cubre sus emisiones marítimas de GEI en la categoría de *Navegación Marítima y Fluvial*⁶, que representaron 2.039 kt de CO₂e, aproximadamente el 0,3% del total de las emisiones de GEI del país⁷ (es decir, 754.100 kt de CO₂e) [40]. *Los Bunkers Internacionales* supusieron 5.739 kt CO₂e (0,7% del total nacional), mientras que el *Marítimo Internacional* está en blanco.

A more detailed presentation of the 2006 IPCC Guidelines for water-borne navigation can be found in Annex I or in Davies et al. [41].

3.2 Modelo geoespacial del transporte marítimo: Un nuevo enfoque para estimar las emisiones marítimas

El Modelo Geoespacial del Transporte Marítimo (SGM) es un nuevo enfoque basado en la actividad creado por el Grupo de Transporte Marítimo del Instituto de Energía de la UCL. El enfoque estima los inventarios de contaminación atmosférica marítima y de emisiones de GEI basándose en la energía demandada por la flota mundial y puede segregar las emisiones por tipo y tamaño de buque, modo operativo, ruta o ubicación geográfica (por ejemplo, cerca de un puerto). Esta versatilidad permite un análisis matizado de las emisiones de GEI del sector para cualquier país. Este análisis puede ilustrar las emisiones de GEI en viajes específicos o en regiones geográficas o estimar la contaminación atmosférica y los impactos sanitarios resultantes en una región.

5 Excluyendo la silvicultura y otros usos del suelo.

6 Un país sólo tiene que contabilizar las emisiones marítimas nacionales en sus inventarios nacionales, de las cuales las actividades pesqueras deben agregarse en la categoría Agricultura/Silvicultura/Pesca (en español Agropecuario/ silvicultura/ pesca/ piscifactorías) del sector de la Energía. Las emisiones de combustibles internacionales, que comprenden las emisiones de la aviación internacional y del transporte marítimo, se calculan como parte de los inventarios nacionales de GEI, pero se excluyen de los totales nacionales y se informan por separado [41].

7 Excluyendo la silvicultura y otros usos del suelo.

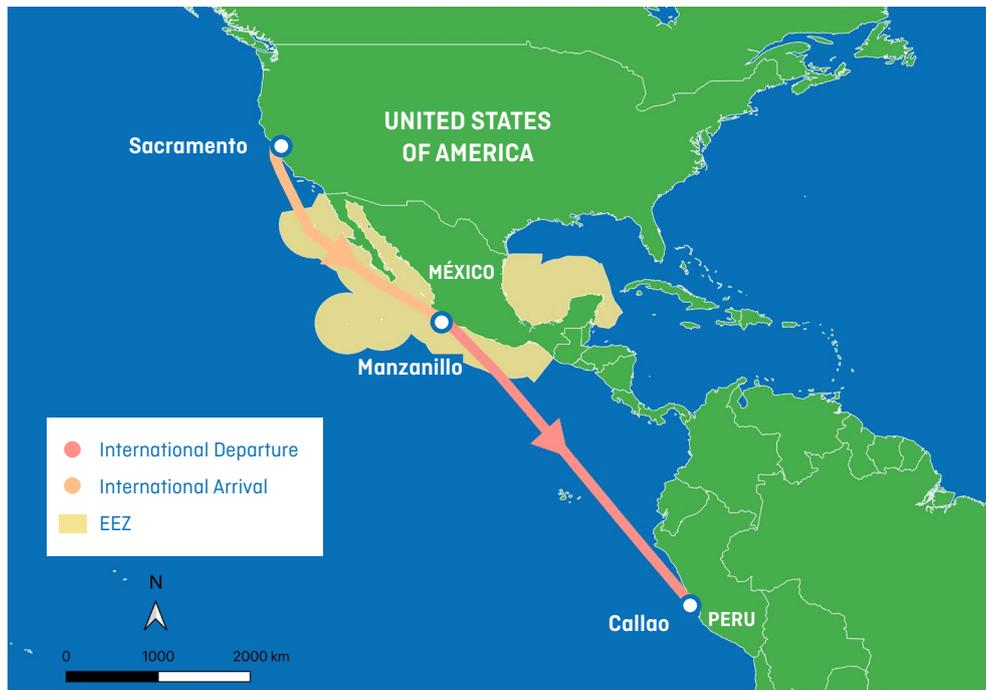
3. Actividad marítima y navegación emisiones

Para estudiar las emisiones marítimas durante el año 2018 en México a través de diferentes lentes, el SGM agrega los datos horarios de los buques ⁸ de la siguiente manera:

- **Salidas:** La actividad marítima se agrega para el tramo completo del viaje que parte del puerto del país (ver la Figura 5 como ejemplo). El viaje puede ser nacional o internacional.
- **Llegadas:** La actividad marítima se agrega para el tramo completo del viaje que termina en el puerto del país. El viaje puede ser nacional o internacional.
- **Zona Económica Exclusiva (ZEE) georeferenciada:** Se agrega toda la actividad marítima ocurrida dentro de la ZEE del país (es decir, 200 millas náuticas desde la costa que incluye el Mar Territorial). Incluye la navegación internacional y nacional, incluida la pesca nacional. También recoge los buques que pasan por la ZEE pero que no hacen escala en ningún puerto del país. La región geográfica digital de la ZEE se tomó de Flanders Marine Institute [42].

En general, el enfoque del SGM debe considerarse complementario al Inventario Nacional de GEI de México. Mientras que este último capta la compleja interacción entre sus actividades económicas, la sociedad y el medio ambiente, el SGM considera con gran detalle las diferencias espaciales y tecnológicas del sector marítimo. El componente de geofencing del SGM ilustra los impactos ambientales, económicos y de salud de las emisiones de los buques que transitan hacia, desde y a través de las aguas mexicanas, y argumenta a favor de la descarbonización del transporte marítimo, especialmente si se tiene en cuenta que no todas las emisiones son resultado de las importaciones y exportaciones de México.

Figura 5: Aproximaciones a la agregación de la actividad de los buques.



⁸ Sólo tiene en cuenta la actividad de los buques de más de 100 toneladas brutas, la actividad y las emisiones de la flota de barcos pequeños no se tienen en cuenta.

Los resultados del enfoque SGM muestran que los buques que operan dentro de la ZEE generaron las mayores cantidades de CO₂e en 2018, con 17.881 kt, seguidas de las llegadas internacionales, con 11.337 kt de CO₂e, y las salidas internacionales, con 8.632 kt de CO₂e⁹ (ver la Tabla 3). La gran diferencia entre el enfoque geofísico y las llegadas y salidas internacionales muestra la cantidad de emisiones de GEI y de contaminación atmosférica que emiten los viajes internacionales que no hacen escala en México. Aproximadamente el 20,4% de las emisiones totales de contaminación atmosférica de la ZEE tienen lugar dentro de las aguas territoriales de México¹⁰, lo que afecta negativa y desproporcionadamente a las comunidades costeras. Bajo esta luz, el enfoque de la ZEE geofocalizada puede apoyar el estudio de los beneficios de tener áreas de control de emisiones (ECAs) mexicanas [43], pero también enfatiza la posición primordial que tiene México para apoyar la transición marítima mediante el suministro de CECE.

Tabla 3: Emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos asociadas a métodos de inventario contrastados. También se presenta la navegación doméstica.

Contaminante ¹¹	Salidas internacionales	Llegadas internacionales	Navegación doméstica	Pesca doméstica	ZEE georeferenciada (200 nm)
GEI (kt)					
CO ₂	7,846.56	10,348.60	1,673.64	51.22	16,194.89
CH ₄	1.55	2.58	0.03	8.69 x10 ⁻⁴	2.76
N ₂ O	0.44	0.58	0.09	2.74 x10 ⁻³	0.90
BC [§]	0.69	0.85	0.21	5.02 x10 ⁻³	1.52
CO ₂ e	8,631.92	11,336.87	1,890.81	56.49	17,880.76
Contaminación del aire (kt)					
SO _x	108.74	149.47	20.37	2.19 x10 ⁻²	240.31
NO _x	189.20	256.97	33.87	1.02	363.47
CO	7.65	10.23	1.45	4.65 x10 ⁻²	14.86
PM ₁₀₀	16.68	22.86	2.97	1.54 x10 ⁻²	35.14
PM ₂₅	15.35	21.03	2.74	1.42 x10 ⁻²	32.33
NMVOC	8.09	10.84	1.47	4.39 x10 ⁻²	15.34
‡ Para convertir el CO2 en equivalente de Fuel Oil Pesado (HFOeq) dividir las emisiones de CO2 por el factor de carbono HFO que es de 3,114 kt CO2/kt HFO (Faber et al., 2020). § Se utilizó un valor de 900 para el potencial de calentamiento global de 100 años del carbono negro (Bond et al. 2013).					

9 Las principales razones de las diferencias entre estos dos enfoques están relacionadas con la longitud de la etapa del viaje, el tipo y el tamaño del buque, el uso de combustible (es decir, el tipo y la cantidad), el perfil de velocidad, la edad del buque y la carga del buque. Además, el número de llegadas y salidas tiene un impacto en las estimaciones de GEI con 6.349 viajes de llegada internacional en 2018 y 6.383 salidas internacionales.

10 Esto incluye toda la actividad marítima que se produjo dentro de los mares territoriales del país, hasta 12 millas marinas. Para estimar esto, las emisiones se capturaron utilizando el polígono de 12 millas náuticas de México proporcionado por el Instituto Marino de Flandes [42] y luego se dividieron por las emisiones contabilizadas por el polígono de la ZEE.

11 CO₂: dióxido de carbono; CH₄: metano; N₂O: óxido nitroso; BC: carbono negro; CO₂e: equivalente de dióxido de carbono; SO_x: óxido de azufre; NO_x: óxidos de nitrógeno; CO: monóxido de carbono; PM: partículas; NMVOC: compuestos orgánicos volátiles no metánicos.

Las emisiones de GEI del transporte marítimo nacional de México producidas por los 28,842 viajes nacionales¹² ocurridos en 2018 ascendieron a 1,891 kt CO₂e mientras que para la pesca nacional fue de 56.5 kt CO₂e. La diferencia con el inventario Nacional de México de 2018 es de aproximadamente -7.2% o -148 kt CO₂e causada principalmente por la base de datos de consumo de combustible utilizada para la estimación de GEI. Algunas consideraciones al respecto son las siguientes:

- La fuente de datos del *consumo de combustible de la navegación fluvial* del Inventario Nacional proviene del Balance Energético Nacional de México, que para el sector marítimo se basa en las ventas anuales de combustible de la flota nacional [45][46].
- El método utilizado en el SGM es un método basado en la actividad, por lo que incluye las emisiones de los viajes nacionales de los buques internacionales (por ejemplo, de un puerto mexicano a otro) que no se recogerían en las estadísticas de ventas de combustible para uso nacional. Encontrar una discrepancia en los GEI cuando se calcula con los dos métodos (es decir, entre el bottom-up y el top-down) es común y ha ocurrido en otros países (por ejemplo, el Reino Unido) que desde entonces han cambiado a utilizar el método basado en la actividad [47].
- Las diferencias entre los datos de los Inventarios Nacionales basados en las ventas de combustible al transporte marítimo internacional y los métodos basados en la actividad también tienen diferencias explicables. Las ventas de combustible sólo se registran si un buque abastece (toma combustible) en México. En la práctica, es posible que los buques que hacen escala en México no necesiten abastecerse de combustible (algunos buques tienen almacenamiento de combustible para hasta tres meses, por lo que no repostan en cada viaje) y comprarán combustible en México sólo si es competitivo, y está disponible, para el combustible en otras escalas portuarias que harán. El SGM recoge toda la actividad marítima, independientemente de que esté asociada a una compra de combustible. Las estadísticas estimadas aquí sugieren que sólo una parte del combustible asociado a la actividad naviera de México se compra en México y, por lo tanto, el método basado en la actividad es útil para dar una estimación del mercado potencial de ventas de búnker, en caso de que México quiera ampliar su oportunidad, especialmente para los CECE.
- Sin embargo, las bases de datos de venta de combustible pueden captar el combustible consumido por la flota de pequeñas embarcaciones, que no suelen disponer de sistemas de seguimiento a bordo (por ejemplo, transpondedor AIS). Esto se ve claramente en Ferrer et al. [48], donde la emisión de GEI de la flota de pequeñas embarcaciones -entre 3.000 y 3.700 kt de CO₂e- tiene un papel relevante e importante en las emisiones marítimas nacionales. Esta es una limitación del SGM, pero que apunta a que los resultados del SGM sobre los GEI del transporte marítimo nacional y la contaminación atmosférica son una estimación conservadora.

Al observar la agregación del SGM de toda la actividad marítima en 2018 hacia, desde y dentro de México, las emisiones totales de GEI ascienden a 21,916 kt de CO₂e - alrededor de 7,040 kt de HFO_{eq} - lo que representó alrededor del 2.9% de las emisiones nacionales de GEI de México en 2018 y el 2.0% del total de las emisiones

12 El SGM considera un viaje nacional como un viaje que comienza y termina en el mismo país. Si se trata de un viaje con varias escalas, sólo considerará como nacional el tramo que comienza y termina en el mismo país. Si hay más de un tramo nacional, cada uno de ellos será tratado como un viaje nacional independiente.

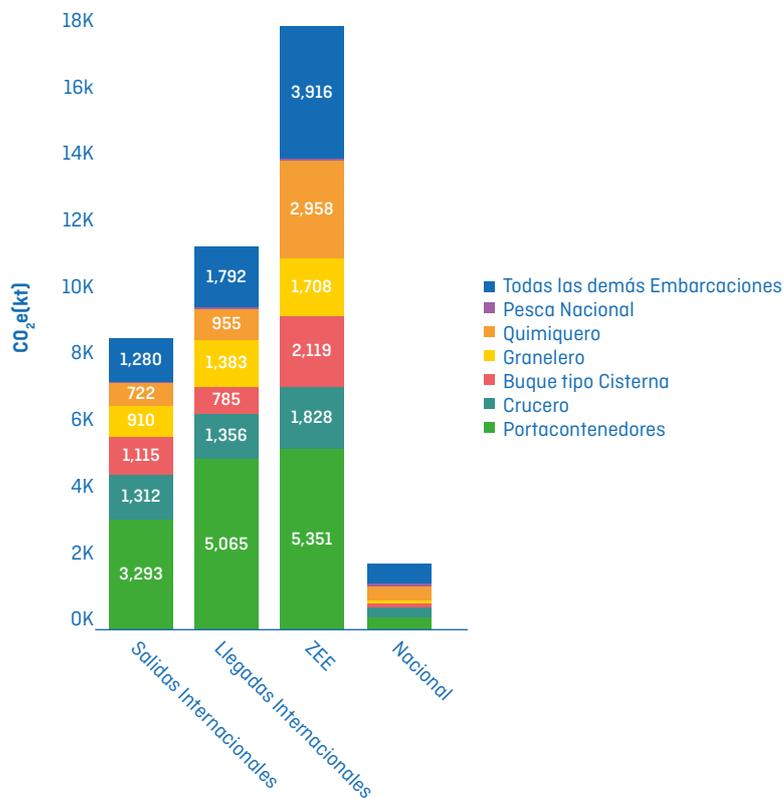
mundiales de GEI del transporte marítimo en 2018 según lo reportado por la OMI¹³. El empleo del SGM muestra claramente la importante oportunidad que tiene México para apoyar la descarbonización del transporte marítimo en las próximas décadas y enfatiza la importancia de la colaboración internacional entre México y sus socios comerciales.

Se pueden encontrar más detalles sobre la metodología del SGM en el Anexo I, con detalles de las diferentes causas raíz entre los inventarios de emisiones presentados en la subsección Análisis de Sensibilidad.

3.2.1 Análisis por tipo de buque

En esta sección, el análisis del SGM se desglosa por tipo de buque (ver la Figura 6). En todos los enfoques considerados, los tipos de buques más contaminantes para México son los graneleros, los portacontenedores, los cruceros y los petroleros que emiten en promedio el 71% de las emisiones de GEI de 2018. Esto está en línea con el nivel de actividad observado en la Tabla 2 donde estos tipos de buques demandaron alrededor de 35,840 GWh/a (es decir, 3,210 kt HFO_{eq}) de energía de combustibles fósiles. Sin embargo, los quimiqueros y los petroleros son el segundo y el tercer tipo de buque que más gases de efecto invernadero emite según el planteamiento de la ZEE georreferenciada. La mayoría de estos tipos de buques navegan por las aguas de la ZEE del Golfo de México pero no hacen escala en ninguno de los puertos nacionales.

Figura 6: Inventarios de CO₂e por tipo de buque.

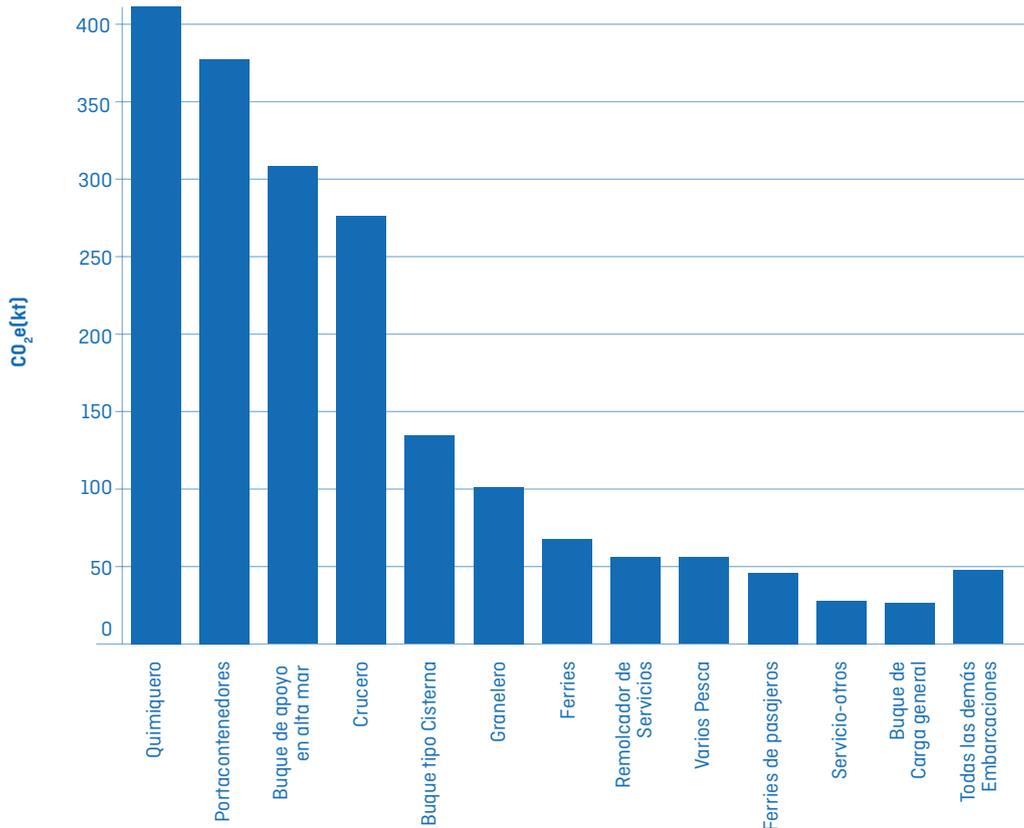


13 El total de emisiones de GEI en 2018 fue de 1.076.000 kt de CO₂e formadas por el transporte marítimo internacional y nacional y la pesca [8].

Las emisiones de GEI de la navegación nacional representaron aproximadamente el 21,9% y el 16,7% del total de CO₂e generadas por las salidas y llegadas internacionales, respectivamente. La pesca nacional representó alrededor del 0,7% del total de las emisiones de GEI de las salidas internacionales y el 0,5% de las llegadas internacionales. Las emisiones de la pesca nacional parecen ser bajas si se comparan con las de Ferrer et al. [48], que estimaron entre 3.000 y 3.900 kt de CO₂e procedentes de las embarcaciones de pesca artesanal¹⁴ -alrededor de 74.000 [49]- que no suelen llevar un AIS a bordo y, por tanto, no fueron estimadas por el SGM.

Un desglose detallado del transporte marítimo nacional por tipo de buque se presenta en la Figura 7 que muestra que las emisiones del transporte marítimo nacional están dominadas por los buques cisterna para productos químicos, con unas 413 kt de CO₂e, seguidos por los portacontenedores, con unas 379 kt de CO₂e, y los buques de apoyo en alta mar, con unas 308 kt de CO₂e. Por lo tanto, la Figura 7 muestra que la pesca nacional es la 9th mayor fuente de emisiones de GEI del transporte marítimo nacional con 56 kt CO₂e durante 2018, lo que no se desprende del método del IPCC, simplemente porque la pesca se agrega en una categoría diferente dentro del sector de la energía.

Figura 7: Emisiones domésticas por tipos de buques. La pesca doméstica se añade sólo a efectos de comparación.



14 Buques de menos de 100 toneladas de arqueo bruto.

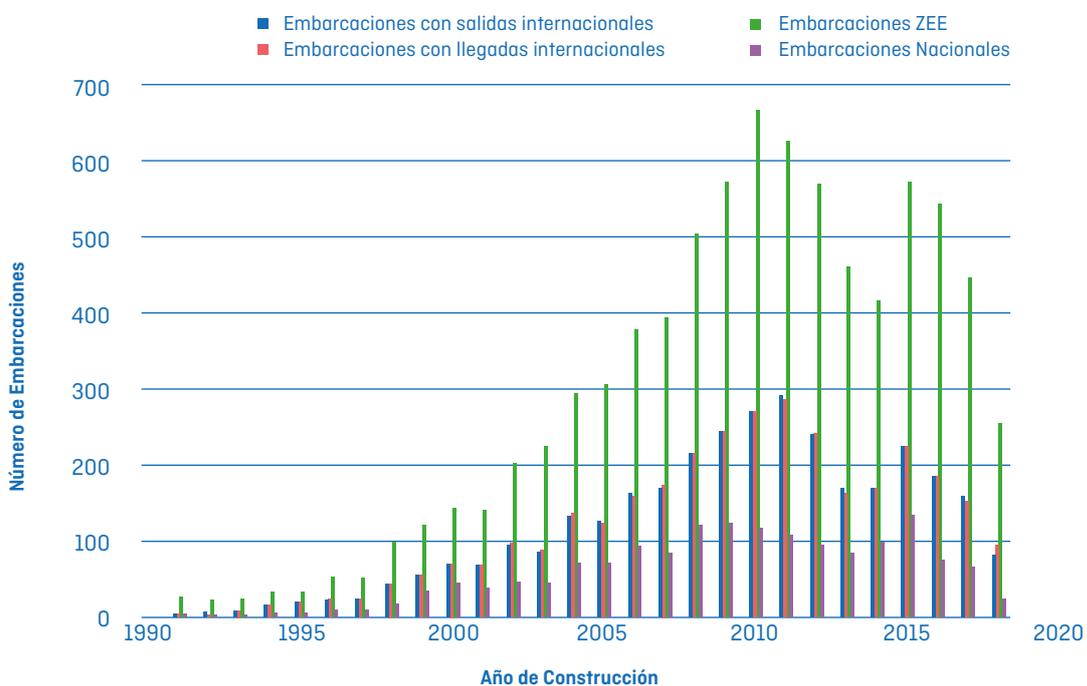
3.2.2 Análisis por edad

Un aspecto importante a tener en cuenta al analizar las emisiones del transporte marítimo son las características de la flota; en particular, la edad, que tiene una fuerte correlación con la eficiencia del combustible y las emisiones. La Figura 8 presenta la dispersión de los años de construcción de los buques que navegan por las aguas de México después de 1990. La mayor parte de los buques que operan en 2018 fueron construidos entre 2010 y 2011. Esto implica que la mayor parte de la actividad marítima que ocurre en México proviene de buques relativamente nuevos, que tenderán a tener una buena eficiencia de combustible y medidas de control de la contaminación de acuerdo con las regulaciones de la OMI.

De las 3,507 embarcaciones únicas que salieron de los puertos de México a nivel internacional, el 3.3% (115) fueron construidas antes de 1988, lo que las hace tener 30 años o más a lo largo de 2018. Esto se compara con sólo el 3,6% (310) de las 8.554 embarcaciones que atravesaron la ZEE de México durante el mismo año y el 7,3% de las embarcaciones nacionales (131 de 1.805), por lo que es probable que la clase nacional sea la más ineficiente y contaminante debido a sus viejos sistemas de maquinaria.

Hay una ligera diferencia en el año de construcción de cada enfoque de inventario. Para el enfoque de la ZEE, el año medio de construcción es 2008, el mismo que el de las salidas y llegadas internacionales. Sin embargo, los buques nacionales forman la categoría más antigua, con un año medio de construcción de 2006. Esencialmente, bajo este prisma podemos ver que la flota internacional tiende a ser más joven que la nacional, pero la diferencia de año medio los sitúa bajo el mismo periodo de regulación de la intensidad de carbono y la contaminación atmosférica de la OMI. Esto significa que las futuras regulaciones internacionales introducidas a nivel de la OMI probablemente tendrían un efecto significativamente negativo en las emisiones experimentadas por México, mostradas en las secciones de tipo de buque y geofencing. A corto plazo, la flota nacional, administrada por la Autoridad Marítima Mexicana (es decir, la Secretaría de Marina) y en cooperación con los departamentos gubernamentales pertinentes, se beneficiaría de las mejoras en la eficiencia energética.

Figura 8: Años de construcción de los buques incluidos en el conjunto de datos de 2018. No se incluye la pesca nacional.

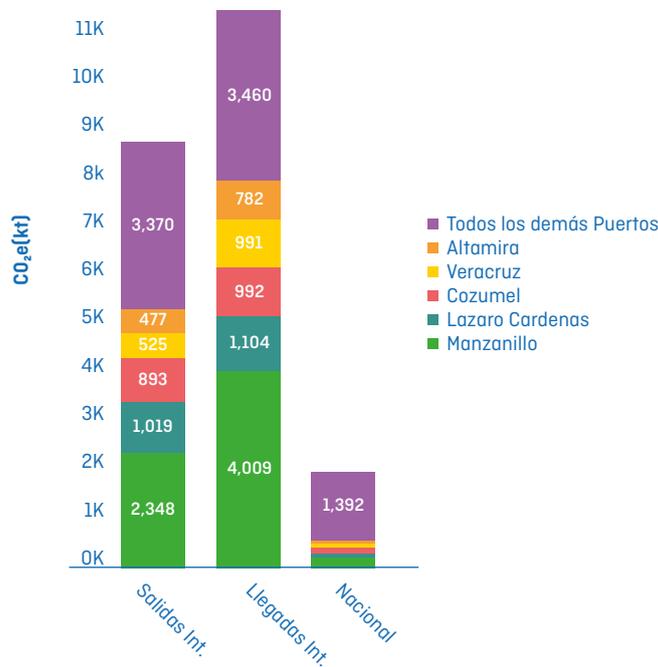


3.2.3 Análisis por puertos de llegada y salida

El uso del SGM para centrarse en la actividad portuaria permite obtener una imagen clara de las emisiones que pueden afectar a las comunidades portuarias y a las poblaciones locales. Figura 9 presenta el desglose de las emisiones de CO₂e de los viajes internacionales con salida y llegada a cinco puertos principales de México, a saber, Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Cozumel, Veracruz y Altamira, al tiempo que agrega el resto de los puertos en una sola clase.

La mayor contribución al inventario de salidas internacionales es Manzanillo que, en 2018, generó el 27,2% del total de las emisiones anuales por salidas internacionales (2.348 kt CO₂e), seguido de Lázaro Cárdenas con alrededor del 11,8% (1.019 kt CO₂e) y Cozumel con alrededor del 10,3% (893 kt CO₂e). Los puertos fuera de los cinco primeros fueron responsables del 39,0% de la generación de emisiones de las salidas internacionales (es decir, 3.370 kt CO₂e). Desde el punto de vista de las llegadas internacionales, Manzanillo produce la mayor cantidad de CO₂e con 4,009 kt que representaron el 35.4% del total en 2018. Le siguen Lázaro Cárdenas y Cozumel con una participación de 9.7% y 8.7% respectivamente. La clase *Todos los demás puertos* tiene una mayor participación en el total de arribos internacionales con 30.5% o 3,460 kt de CO₂e.

Figura 9: Emisiones marítimas de GEI producidas por las salidas y llegadas internacionales de los puertos de México en 2018.



3.2.4 Geofencing alrededor de las grandes ciudades portuarias

El tráfico marítimo muestreado en 38 puertos mexicanos del Pacífico y del Golfo-Caribe contribuyó con el 60% de las emisiones atmosféricas totales en el Pacífico mexicano y con el 40% de las emisiones atmosféricas totales en el Golfo-Caribe mexicano [50]. Además, se ha establecido que los contaminantes atmosféricos pueden viajar cientos de kilómetros [51]. En un esfuerzo por capturar las emisiones marítimas en las poblaciones costeras de México, se han seleccionado tres ciudades con poblaciones costeras considerables y puertos activos para su análisis. Se crearon regiones de 100 km de radio alrededor de los puertos mexicanos de Manzanillo, Playa del Carmen/Cozumel y Veracruz para estimar las emisiones generadas por la actividad marítima¹⁵ durante 2018 (ver la Figura 10).

La Tabla 4 indica cómo la actividad marítima cerca de los puertos¹⁶ contribuye a las emisiones regionales de GEI y a la contaminación atmosférica. En cuanto a las emisiones marítimas de GEI, en Manzanillo se produjeron unas 519 kt de CO₂e, mientras que en Playa del Carmen y Cozumel se registraron un total de 449 kt de CO₂e, y en el caso de Veracruz, las actividades marítimas ascendieron a 288 kt de CO₂e. Los inventarios de emisiones actualizados de las ciudades costeras mexicanas son difíciles de encontrar en el dominio público. Por ejemplo, el último inventario de emisiones de Manzanillo se realizó en 2013 para el año 2005, el cual reportó alrededor de 8,276 kt CO₂e¹⁷ [52]. Esto sitúa la proporción de las emisiones marítimas, si se supone que las emisiones de Manzanillo de 2005 se mantienen igual, en torno al 6,3%. En el caso de Cozumel, su último inventario de emisiones se elaboró en 2013 para el año 2011 dando 155,1 kt CO₂e [53][54] pero en el caso de Playa del Carmen no estaba disponible públicamente lo que hace difícil contrastar la relevancia de las emisiones marítimas para ambas ciudades. Veracruz se encuentra en una situación similar en la que las emisiones de GEI no están disponibles públicamente. Aunque los inventarios de emisiones de GEI de las ciudades costeras no es el objetivo de este trabajo, el punto de discusión anterior destaca la importancia de desarrollar inventarios de emisiones actualizados a nivel de ciudad.

15 La emisión cuantificada aquí sólo considera la actividad realizada por los buques presentes en las regiones. No se tienen en cuenta las emisiones producidas por el puerto y sus sistemas (por ejemplo, grúas, carretillas elevadoras).

16 La actividad marítima en torno a los puertos sólo tiene en cuenta la actividad del lado del buque y se basa en el Cuarto Estudio de la OMI sobre GEI y son: Crucero normal, navegación lenta, maniobras, anclaje y atraque.

17 Excluyendo la silvicultura y otros usos del suelo.

Figura 10: Polígonos que representan las zonas georreferenciadas con un radio de 100 km para las tres ciudades costeras y su actividad marítima durante 2018.



Tabla 4: Emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos generados en un radio de 100 km de los puertos de Manzanillo, Playa del Carmen/Cozumel y Veracruz durante 2018.

Contaminante	Manzanillo	Playa del Carmen/ Cozumel	Veracruz
GEI (kt)			
CO ₂	469.39	384.57	256.92
CH ₄	7.77 x10 ⁻²	6.59 x10 ⁻³	3.24 x10 ⁻³
N ₂ O	2.57 x10 ⁻²	2.19 x10 ⁻²	1.38 x10 ⁻²
BC	4.53 x10 ⁻²	6.49 x10 ⁻²	3.07 x10 ⁻²
CO ₂ e	519.10	449.01	288.26
Contaminantes atmosféricos (kt)			
SO _x	7.15	5.63	3.44
NO _x	9.00	7.21	3.89
CO	3.85 x10 ⁻¹	3.32 x10 ⁻¹	1.79 x10 ⁻¹
PM ₁₀₀	9.77 x10 ⁻¹	7.96 x10 ⁻¹	4.48 x10 ⁻¹
PM ₂₅	8.99 x10 ⁻¹	7.32 x10 ⁻¹	4.12 x10 ⁻¹
VOC	3.88 x10 ⁻¹	2.98 x10 ⁻¹	1.71 x10 ⁻¹

En cuanto a la contaminación del aire, Manzanillo tuvo la mayor exposición con 7 kt de SO_x, 9 kt de NO_x, 385 t de CO, 977 y 899 t de PM₁₀₀ y PM₂₅ respectivamente, y 388 t de COVNM, seguido de las ciudades de Playa del Carmen y Cozumel, y Veracruz.

La creación de inventarios focalizados para las ciudades portuarias a través del SGM puede ayudar en sus esfuerzos de descarbonización regional y puede apoyar la mitigación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud de las poblaciones locales. Además, las poblaciones que se encuentran a menos de 5 millas náuticas de una fuente de contaminación atmosférica -en este caso un puerto- tienen un 50% más de probabilidades de desarrollar problemas cardiovasculares y cáncer debido a la exposición a estos contaminantes durante largos periodos de tiempo [55]. En el caso particular de México, el estudio y la mitigación de los contaminantes del aire marítimo cerca de sus puertos podría ayudar a mejorar la calidad del aire de más de 55,3 millones de personas en los estados costeros [56].

3.3 Implicaciones para México

Los inventarios nacionales de GEI presentan estimaciones fiables de las emisiones que permiten a los gobiernos formular y aplicar medidas de mitigación, teniendo en cuenta las respectivas circunstancias y capacidades nacionales. El Inventario Nacional de México, que utiliza la metodología ampliamente aceptada del IPCC, se presenta en la sección 3.1 y reporta las emisiones de la navegación doméstica bajo la categoría *Navegación Marítima y Fluvial*. Aunque se reconocen las emisiones del sector de la navegación internacional, no se cuantifican en el inventario nacional según la metodología del IPCC. Dado que los inventarios nacionales impulsan las metas, los objetivos y las políticas estratégicas nacionales del gobierno, la exclusión del transporte marítimo internacional crea un marco artificialmente estrecho en cuanto a la emisión de GEI tanto desde la perspectiva del cambio climático como de la contaminación atmosférica.

Para contrarrestar esto, y para presentar una cuantificación más detallada de las emisiones del transporte marítimo, este informe empleó el SGM como una metodología granular basada en la actividad para entender las emisiones marítimas tanto en las aguas nacionales de México como en sus puertos. El SGM complementa el inventario nacional de GEI de México al presentar las emisiones marítimas nacionales e internacionales bajo una definición de viaje y dentro de las regiones geográficas, pudiendo a la vez desagregar los resultados por tipos de buques y edad. Los resultados del método SGM muestran que:

- Las emisiones domésticas y la demanda de combustible, que probablemente están impulsadas por la legislación nacional, son mucho menores que las emisiones y la demanda de combustible de las llegadas y salidas internacionales. La normativa de la OMI será clave para impulsar el cambio en los buques que hacen escala en los puertos mexicanos (consulte mayor información en la subsección Política marítima dentro de la sección 5).
- Los buques portacontenedores, petroleros, graneleros y cruceros son el tipo de embarcaciones que emiten la mayor cantidad de GEI y contaminación atmosférica por la actividad marítima hacia, desde y dentro de los puertos y aguas nacionales de México. Esto se ve también desde el punto de vista portuario, donde Manzanillo, al tener la mayor actividad de contenedores de cualquier puerto en México, tiene la mayor cantidad de emisiones de GEI marítimas en México.

- A pesar de sus magnitudes relativas, sigue existiendo una importante flota nacional y, por tanto, importantes emisiones nacionales, lo que ofrece muchas oportunidades de adopción temprana que podrían alinearse con otras estrategias/prioridades nacionales de descarbonización.
- El transporte marítimo nacional e internacional contribuye de forma significativa a la contaminación atmosférica, incluso en las proximidades de los grandes núcleos de población mexicanos. En caso de permitir la descarbonización del transporte marítimo a través de los CECE podría ser un motor significativo para mejorar la calidad del aire en varios lugares importantes.

Estos hallazgos pueden ayudar al proceso de toma de decisiones en relación con la transición hacia las emisiones bajas y nulas de carbono en el sector marítimo e ilustrar la oportunidad de México de participar en la transición justa y equitativa del transporte marítimo. Además, pueden apoyar en la creación de estrategias, soluciones y políticas que puedan reducir las emisiones marítimas nacionales y regionales, la contaminación del aire y crear empleos verdes en, y conectados con, la economía de los océanos.

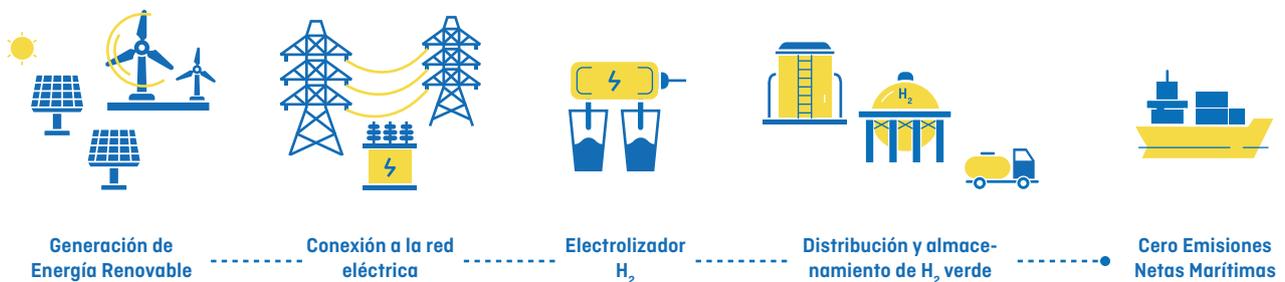


Sección 4

Aprovechamiento del potencial renovable de México

El transporte marítimo depende en gran medida de los combustibles fósiles, que producen una considerable contaminación de gases de efecto invernadero y del aire. Esto, a su vez, aumenta los efectos globales del cambio climático y repercute negativamente en la salud y el bienestar socioeconómico de las poblaciones costeras cercanas. Aunque la eficiencia energética y las soluciones de mitigación a corto plazo desempeñan un papel en la transición del sector marítimo, esto no será suficiente para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París [5]. La necesidad de CECE verdes y el uso de energías limpias, aunado a su infraestructura, es fundamental para permitir la descarbonización marítima. Se necesitan grandes cantidades de energía renovable para producir estos combustibles y encaminar el transporte marítimo hacia el cumplimiento de los objetivos mundiales en materia de cambio climático (ver la Figura 11). Algunas estimaciones sugieren que la cantidad de energía renovable para satisfacer las necesidades del transporte marítimo tendría que aumentar hasta en 3.000 TWh [57].

Figura 11: Vía ilustrativa de producción de hidrógeno verde.



Fuente: Inspirada en Quadrant Smart [58]

En 2020, el 19,7% [66,8 TWh] de la generación eléctrica del país provino de fuentes renovables [59]. La energía renovable de México es estimada por su Secretaría de Energía [SENER] en su Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional [PRODESEN] para ampliar la capacidad de generación y transmisión en los próximos años. La versión más actual abarca el periodo 2022 - 2036. Para el periodo 2022 - 2025, México planea un pequeño aumento de la capacidad instalada renovable de 897 MW, incluyendo 434 MW Hidroeléctrica, 420 MW FV-Solar, y 25 MW Geotermoeléctrica. No está previsto ampliar la capacidad instalada de energía eólica. Entre 2026 y 2035, está previsto que esta cantidad aumente sustancialmente a más de 16.623 MW, incluyendo 9.938 MW FV-Solar, 5.259 MW Eoloeléctrica, y 1.426 MW Hidroeléctrica [60]. Aunque esto representa una reducción de las ambiciones anteriores presentadas en el PROSEDEN, donde se esperaba instalar 19.000 MW adicionales de nueva capacidad de generación limpia y de sustitución para 2024. Sin embargo, el nuevo plan sí contempla un papel para el

hidrógeno, ya que se prevé la instalación de 4.368 MW entre 2026 y 2035 para Ciclo Combinado/Hidrógeno [60][61].

Para 2030, se espera que aproximadamente el 43% del suministro energético del país proceda de fuentes de energía limpias [62]. En particular, teniendo en cuenta las tecnologías actuales disponibles y las restricciones en cuanto al uso de la tierra, México puede producir razonablemente para 2030 entre 865 y 4.925 TWh/a de energía renovable¹⁸: entre 447 y 3.409 TWh/a de energía solar, entre 402 y 1.487 TWh/a de energía eólica, entre 7,7 y 10,4 TWh/a de biomasa y entre 20,7 TWh/a de energía hidroeléctrica y entre 1,2 y 4,5 TWh/a de energía geotérmica [36]. Si se combina con la capacidad de generación renovable existente, México podría producir un total de 932 - 4.992 TWh/año en 2030 (ver la Figura 12).

Figura 12: Potencial total de energía renovable en México estimado para 2030 (incluyendo la capacidad instalada actual).



Es importante señalar que esta cifra es sólo un rango estimado utilizando los estudios y la literatura disponibles y que el potencial de energía renovable de México podría ser aún mayor. Se necesitan investigaciones futuras para dar un rango más definitivo y para obtener una mayor comprensión de los escenarios probables y de cómo la mejora de la tecnología podría afectar a este rango. Además, como parte de una transición justa y equitativa, deben construirse plantas de energía renovable adicionales para el transporte marítimo junto con las estimadas por el PRODESEN de México para evitar posibles efectos negativos en los esfuerzos de descarbonización nacionales. La construcción de infraestructura de generación renovable debe hacerse de manera responsable, donde se consideren los impactos ambientales y sociales al momento de planear el aprovechamiento del potencial renovable de México. Por ejemplo, es importante investigar los posibles cambios directos e indirectos en el uso de la tierra cuando se construyen infraestructuras en zonas agrícolas para limitar los impactos ambientales y ecológicos negativos.

El potencial renovable de México, combinado con su tráfico marítimo, sitúa al país como un potencial actor clave en la transición del transporte marítimo como productor y exportador de CECE [36]. Las partes interesadas locales señalan que la descarbonización del transporte marítimo es relevante para México dados los abundantes recursos energéticos renovables del país. Suponiendo que el 5% de la flota mundial cambie a CECE para el 2030, la energía verde demandada representaría unos 3,4 TWh/año [36]. Que México conserve su cuota de mercado en las ventas internacionales de bunkering depende, por supuesto, de la oferta y

¹⁸ Hay que tener en cuenta que la cantidad de potencial de energía renovable se basa en una agregación de varias estimaciones que utilizan diferentes metodologías y parámetros. Se puede encontrar más información en Carpenter-Lomax et al. [36].

la disponibilidad de CECE en México. Si cualquiera de las dos es limitada, podría producirse un desplazamiento del mercado de la demanda de bunkering del transporte marítimo internacional a otros países vecinos, por ejemplo Panamá, que ofrecen CECE a precios competitivos.

Los cálculos conservadores muestran que 3,4 TWh/año representan sólo el 0,4% del potencial renovable total de México, lo que deja cómodamente más potencial de energía renovable del necesario tanto para descarbonizar la red nacional como para los buques que hacen escala en los puertos de México. Esto apoya la percepción de las partes interesadas locales de que el país está bien posicionado para producir hidrógeno verde y sus derivados, a través de los cuales la descarbonización del transporte marítimo puede generar fuertes sinergias con el transporte por carretera y otros sectores terrestres.

Las partes interesadas también destacaron que si existen acuerdos sólidos de adquisición, en los que un comprador se compromete a comprar partes de la producción prevista de un proveedor, existe un enorme potencial no sólo para la producción de CECE, sino también para la exportación de estos combustibles. Esto es especialmente cierto si se tiene en cuenta que tanto la UE como Japón han señalado que no pueden producir suficientes CECE en sus propios países y que necesitarían importar combustibles para satisfacer sus demandas energéticas y sus compromisos de descarbonización. De hecho, la guerra de Ucrania ha puesto de manifiesto la necesidad de abandonar los combustibles fósiles e importar combustibles verdes. La exportación de hidrógeno, sin embargo, se ha limitado al hidrógeno gris basado en combustibles fósiles, y el creciente interés por la exportación de hidrógeno verde requerirá el desarrollo de un marco comercial propicio.

«El abundante potencial de energía renovable de México lo convierte en un lugar ideal para la producción y potencial exportación de hidrógeno verde y amoníaco, ofreciendo una enorme oportunidad para establecer centros marinos de energía limpia cerca de sus principales puertos.» – Nelson Mojarro (BRETFIN (Reino Unido))



Comercio de hidrógeno

A medida que países como México consideran oportunidades para exportar hidrógeno verde, es importante considerar cómo se puede habilitar el comercio transfronterizo de hidrógeno verde entre los puntos de producción y las regiones de demanda en todo el mundo [63]. IRENA informa de que más del 30% del hidrógeno producido se comercializará internacionalmente en 2050 [64]. Esto requerirá la cooperación internacional y de múltiples partes interesadas para evitar interrupciones en la cadena de suministro de hidrógeno limpio, garantizando que los productos puedan circular libremente a través de las fronteras.

Actualmente, algunos aspectos del marco regulatorio de México mencionan la producción de hidrógeno en relación con su cadena de valor y usos finales. Sin embargo, aunque la producción de hidrógeno verde no está prohibida, carece de definición, ya que el marco regulatorio no proporciona directrices claras a los potenciales productores e inversores interesados [65].

Las normas relativas a la seguridad y la calidad de los bienes y servicios de hidrógeno verde son una forma de construir una economía mundial del hidrógeno verde resistente y de reducir el riesgo de obstaculizar el comercio en el futuro. Siguen existiendo dudas en torno a la clasificación del hidrógeno mediante esquemas de colores o niveles, por ejemplo, basados en la materia prima y en si los combustibles proceden o no de fuentes de energía renovables. No obstante, hay varias organizaciones que están trabajando para obtener la certificación ISO para sus exportaciones de hidrógeno verde con el fin de aumentar la armonización y abordar la fragmentación existente en el interin.

La Organización del Hidrógeno Verde es uno de estos actores, que busca establecer una norma centrada en la contabilidad precisa de las emisiones de GEI, en las métricas ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) que consideren los impactos más amplios de la producción de hidrógeno, y en la evaluación del desarrollo del hidrógeno teniendo en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible [66]. En esta fase inicial, la fragmentación de los acuerdos específicos sobre el hidrógeno verde es un reto clave. Para abordar esto, los modelos existentes podrían alimentar el desarrollo de una norma común con el fin de evitar una mayor fragmentación y fomentar una sana competencia.

Los acuerdos comerciales bilaterales y regionales también podrían estimular la exportación de hidrógeno verde. El Acuerdo Estados Unidos-México-Canadá (TMEC) es un acuerdo comercial clave para México, que incluye específicamente una sección medioambiental que anima encarecidamente a cada país a “prevenir la contaminación del medio ambiente marino por parte de los buques”, incluidas las emisiones procedentes de los mismos [66]. En consonancia con esto, también están surgiendo iniciativas de cooperación en la industria, como el memorando de entendimiento firmado por la Asociación Mexicana de Hidrógeno con la Asociación Canadiense de Hidrógeno y Pilas de Combustible, que busca cooperar en el desarrollo del hidrógeno de cero emisiones [68]. Sin embargo, las tarifas del hidrógeno son muy bajas o inexistentes para la mayoría de los principales productores y consumidores de hidrógeno. En lugar de tener una línea tarifaria separada para el hidrógeno verde, tendría sentido contar con métodos de producción y proceso que puedan ser certificados.

Los actores de la industria y los gobiernos también podrían aprovechar las mejores prácticas del comercio de otros bienes y servicios verdes relevantes para crear unas condiciones equitativas, dar forma a una economía global eficiente del hidrógeno verde y trabajar hacia la descarbonización total de la industria para 2050. En la actualidad, México aún no ha adoptado una estrategia nacional de hidrógeno, pero el debate nacional en torno al hidrógeno verde está comenzando [65]. Debido a esto, el marco legal y regulatorio en torno a la producción de hidrógeno verde aún no está definido, lo que a su vez no proporciona claridad a los potenciales productores e inversores.

Sección 5

Marco político y ambición climática

5.1 Política climática y energética

«La principal barrera para hacer realidad el hidrógeno verde para México es la creación de un marco regulatorio que dé mayor certidumbre a los accionistas, que ayude a alinear la oferta y la demanda, que apoye el desarrollo de la infraestructura pertinente y que promueva la descarbonización de la industria a nivel nacional.»
– Israel Hurtado (Asociación Mexicana de Hidrógeno)

México es altamente vulnerable al cambio climático [69], ya que las emisiones totales de GEI del país en 2015 ascendieron a 700 Mt de CO₂e, lo que colocó a México como el 12th mayor emisor de GEI a nivel mundial en ese mismo año [39]. Esto se debe a que, a nivel nacional, el petróleo y el gas representan el 39% y el 46% de la mezcla energética, respectivamente [59]. A pesar de esta dependencia, la industria del petróleo y el gas ha experimentado continuos desafíos en varios frentes: la caída de los precios del petróleo a nivel mundial, la capacidad de explotación de las reservas de crudo, la calidad del combustible y la situación financiera de Petróleos Mexicanos (Pemex), la empresa estatal mexicana [70][71][72][73].

Los recursos energéticos de México, especialmente sus recursos de combustibles fósiles, están inextricablemente ligados a la identidad nacional del país, especialmente desde la eliminación de las empresas eléctricas extranjeras y la nacionalización de la producción de energía mediante la creación de Pemex y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dos empresas estatales para la extracción de petróleo y la generación de energía [74][75]. Desde principios de la década de 2000, la producción de petróleo en México ha disminuido desde su pico, pero el apoyo a Pemex y CFE es importante para la actual administración, que atribuye el crecimiento económico nacional a la extracción y producción de petróleo [76]. En un contexto en el que la demanda mundial de combustibles con cero emisiones va acompañada de una demanda de servicios marítimos y portuarios bajos en carbono y ambientalmente sostenibles, el escenario actual de la política climática y energética en México es sin duda un reto.

A pesar de ello, la adopción de diversas políticas y legislación en materia de clima y energía proporcionan un marco para la reducción de los GEI, que podría mejorarse aún más. La política energética y de cambio climático de México es supervisada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, que incluye a la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de

Hacienda, la Secretaría de Agricultura, entre otras. Su trabajo se complementa con la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) y la Secretaría de Economía (SE). Las políticas relevantes incluyen:

- **Ley General de Cambio Climático** que proporciona la base institucional para disminuir las emisiones de GEI de los principales sectores y adaptarse al cambio climático, posicionando a México como *“la primera gran economía emergente productora de petróleo en adoptar una legislación climática”* [77][78].
- **Ley de Transición Energética**, que fija objetivos de energía limpia en la producción de electricidad: 25% para 2018, 30% para 2021 y 35% para 2024 [79].
- **La Estrategia Nacional de Cambio Climático** es un instrumento de planificación para la transición a una economía sostenible con bajas emisiones de carbono que consta de 6 pilares de acción para mitigar y adaptarse al cambio climático [80].
- **Programa Especial de Cambio Climático** que establece los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático definiendo las prioridades en materia de adaptación, mitigación e investigación científica, así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y estimación de costos para un periodo determinado (es decir, 2014-2018, 2021-2024), en concordancia con otros instrumentos de política nacional [81].
- **Paquete de la Reforma Energética de 2013** que incluye la Ley de Hidrocarburos, la Ley de la Industria Eléctrica, la Ley de Órganos Reguladores Coordinados en materia energética, la Ley de Pemex, la Ley de CFE, la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Ambiente en el Sector Hidrocarburos, la Ley de Geotermia, la Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos y la Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilidad y el Desarrollo [82].
- **Estrategia de Transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios** un instrumento orientador de la política nacional a medio y largo plazo -quince y treinta años, respectivamente- con respecto a las obligaciones de energía limpia y el uso sostenible de la energía [83].
- **Directrices para la prevención y el control integral de las emisiones de metano del sector** de hidrocarburos con las acciones y mecanismos que los sujetos obligados del sector de hidrocarburos deben adoptar para la prevención y el control integral de las emisiones de metano [84].
- **Estrategia Nacional para la Reducción de los Contaminantes Climáticos de Vida Corta** con objetivos de reducción del carbono negro y el metano de las principales fuentes para 2030 [85].

La presentación de un proyecto de ley al Congreso [86] durante 2021 por parte de la actual administración, que da prioridad a la energía generada por la CFE estatal, incluida la derivada del carbón y el petróleo, frente a la energía eólica y solar de propiedad privada más barata en la red, ha suscitado críticas tanto de los gobiernos locales como de los defensores de las energías renovables [76]. Sin embargo, el proyecto de ley no fue aceptado por el Congreso [87]. La actual administración intentó dar marcha atrás a muchas de las reformas de 2013, lo que generó críticas y una impugnación legal por parte de una minoría de la Cámara Baja a las reformas realizadas por la administración del Ejecutivo a la Ley de la Industria Eléctrica, que finalmente la Suprema Corte de Justicia de la Nación resolvió desestimar a principios de este año [88].

Si bien el enfoque en la energía nacional, de propiedad estatal, puede parecer que ofrece la ventaja de la seguridad energética para el país, corre el riesgo de encerrar a México en una infraestructura energética que pronto quedará obsoleta y significa que la oportunidad social, económica y medioambiental que ofrecen las energías renovables queda sin capitalizar. De hecho, algunas partes interesadas señalaron la dificultad de obtener financiación para la I+D en relación con las tecnologías renovables debido al entorno político actual y su consiguiente incertidumbre. Esto se ejemplifica aún más en el PRODESEN 2022 - 2036, que redujo notablemente las ambiciones anteriores de la Secretaría respecto a la capacidad de energía renovable. En su lugar, el programa ha sido criticado por su fuerte enfoque en la inversión en energía de origen fósil en el período 2022 - 2025, así como por sus conflictos con otras políticas climáticas y energéticas en México [62]. No obstante, sigue habiendo signos prometedores de desarrollo de las energías renovables y, de hecho, hay varios proyectos relacionados con la transición en el país (como se muestra en la sección 6) [89][59].

De acuerdo con la primera Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés) de México, actualizada en diciembre de 2020, el gobierno firmó el Acuerdo de París y se comprometió a reducir incondicionalmente sus emisiones de GEI en un 22% y las de carbono negro en un 51% por debajo del escenario habitual para 2030 y hasta un 36% de GEI y un 70% de carbono negro por debajo del escenario habitual, condicionado a recibir apoyo financiero, técnico y de fortalecimiento de capacidades. El objetivo del gobierno es centrar sus políticas en la erradicación de la pobreza y lograr un desarrollo sostenible equilibrado y justo, centrando sus acciones climáticas en la adaptación al cambio climático y la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [90]. La NDC actualizada fue cuestionada en cuanto al nivel de ambición y por elevar la línea de base con la que se mide la reducción de emisiones de GEI [91][92][93][94]. En septiembre de 2021, un Tribunal Colegiado suspendió la NDC presentada en 2020, por considerar que sus compromisos son regresivos. Como resultado, los compromisos de México de 2015 se aplican para el periodo 2020-2030 hasta que un Tribunal Superior se pronuncie sobre la decisión del juez [95].

Aunque no se hizo ninguna referencia específica a la reducción de las emisiones de GEI del transporte marítimo en la NDC actualizada, el gobierno mexicano informó su decisión de fortalecer los instrumentos de política e implementar acciones para la conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas marinos, costeros y de agua dulce, así como promover el aumento y la permanencia de los reservorios de carbono, en particular, el carbono azul [90]. A partir de esta prioridad nacional, en la COP26 celebrada en noviembre de 2021, México participó en el Panel de Alto Nivel para una Economía Oceánica Sustentable -del cual México es miembro fundador- y señaló la factibilidad de gestionar de manera sustentable el 100% de las aguas nacionales bajo la jurisdicción nacional de América del Norte con la reciente adhesión de Estados Unidos a este Panel [96]. En el marco de su adhesión a este Panel, el gobierno de México desarrolló una Estrategia de Instrumentación para una Economía Oceánica Sustentable para el periodo 2021-2024 y planea gestionar de manera sustentable el 100% de su ZEE para el año 2025 [97].

México cuenta con una sólida arquitectura institucional para el clima y la energía y un ecosistema maduro de actores públicos, privados y sociales interesados en la transición hacia vías de bajas emisiones. Además, con la excepción de los últimos años, México tiene un fuerte legado de proactividad en torno a la política de cambio climático siendo uno de los primeros países en adoptar un objetivo de mitigación voluntario en 2008, el primer país latinoamericano en introducir una norma de economía de combustible para vehículos ligeros en el transporte por carretera durante 2013 [98], el primer "país en desarrollo" en presentar su NDC en el período

previo al Acuerdo de París en 2015, y una de las primeras naciones en presentar una estrategia climática a largo plazo después de la adopción del Acuerdo de París en 2016. También ha sido reconocido por su liderazgo en las negociaciones climáticas internacionales, siendo anfitrión de una exitosa COP16, por la que se elogió su eficacia[99]. La posición de México dentro de la OCDE le ha permitido desempeñar un “papel de puente” en las negociaciones climáticas entre las economías desarrolladas y las emergentes[100]. Este legado de liderazgo internacional, combinado con el potencial de las energías renovables y una economía fuerte basada en la exportación, convertiría a México en un actor importante en la producción y uso de CECE siempre y cuando su marco político se orientara a abrir la producción energética nacional y las oportunidades de inversión.

El enfoque de la actual administración presidencial en la exploración de las reservas de petróleo y gas [76][101] representa un reto importante para las actividades de transición y las inversiones hacia la realización del potencial de México. En este sentido, México se beneficiaría del desarrollo de una estrategia nacional y de los instrumentos regulatorios y económicos asociados, nuevos o modificados, que apoyen la transición energética y permitan la innovación y el desarrollo de capacidades [5]. En resumen, aunque el entorno político y las políticas actuales pueden no ser del todo propicios para aprovechar las oportunidades de transición a través de la producción de energía renovable, un cambio en la voluntad política podría inclinar la balanza respecto al papel de México en la transición energética mundial.

5.2 Política marítima

Desde 2020 los asuntos marítimos y portuarios son supervisados por la Secretaría de Marina (SEMAR), que ejerce la Autoridad Marítima Nacional en las zonas marítimas nacionales¹⁹. Anteriormente, las actividades y servicios portuarios eran administrados y coordinados por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT). En 2018 se emitió por primera vez la Política Nacional de Mares y Costas de México (PNMCM), elaborada por la Comisión Intersecretarial para el manejo sustentable de Mares y Costas (CIMARES), atendiendo la necesidad de un mecanismo de gestión integral que fortalezca al sector marítimo y portuario [103]. En la actualidad, el PNMCM está en revisión. Asimismo, desde hace unos años, el Gobierno de México está desarrollando y formulando su Política Nacional de Transporte Marítimo (PNTM), una articulación voluntaria de directrices en el marco de la Organización Marítima Internacional (OMI) para un sector marítimo y portuario seguro y eficiente.

En la actualidad, la descarbonización del transporte marítimo no es una de las principales prioridades de la administración actual; sin embargo, el gobierno de México ha emprendido algunos esfuerzos hacia la descarbonización de las industrias oceánicas. En particular, la posible transformación de la descarbonización del sector marítimo y portuario nacional está respaldada por la autoridad respectiva de las agencias del gobierno federal enumeradas en este informe (es decir, la SEMAR, la SEMARNAT y la SENER), lo que limita considerablemente dicho proceso. No obstante, las partes interesadas comentaron que existe la oportunidad de incluir la descarbonización marítima y portuaria en los objetivos del PNMCM revisado.

¹⁹ es decir, en las costas, los puertos, las zonas portuarias, las terminales, los puertos deportivos y las instalaciones portuarias nacionales en relación con la prevención de la contaminación marina, la seguridad marítima y portuaria, las comunicaciones y el transporte marítimos, la coordinación de los servicios marítimos y portuarios, y la gestión de los puertos centralizados y la coordinación de los puertos paraestatales, entre otros ámbitos [102].

Se necesitarán tiempo, capacidades y recursos para que la SEMAR comience a desarrollar e implementar políticas y estrategias nacionales para abordar las emisiones de GEI de los sectores marítimo y portuario. Unos instrumentos políticos bien estructurados y aplicados en México, que incluyan objetivos de descarbonización de los sectores marítimo y portuario, permitirán a la Autoridad Marítima Mexicana (es decir, la Secretaría de Marina) proporcionar servicios modernos, seguros y medioambientalmente sostenibles en los puertos e instalaciones relacionadas. Esto potencialmente catalizará la acción y la inversión del sector público y privado, contribuyendo al crecimiento económico nacional, así como al cumplimiento de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 de la ONU.

«En el proceso de transición de nuestro país hacia un transporte marítimo sin emisiones de gases de efecto invernadero, la participación de la Administración Marítima Nacional será fundamental, tanto por su función de supervisar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en las normas internacionales de los Instrumentos OMI, como por su papel de organizar la participación de los diferentes actores y catalizar su trabajo para poner en marcha los proyectos pertinentes.»
– Gildardo Alarcón Daowz (Autoridad Marítima de México, UNICAPAM-SEMAR)

En el contexto del transporte marítimo internacional, México es miembro de la OMI, un organismo de las Naciones Unidas con más de 170 Estados miembros que regula el sector del transporte marítimo internacional. La OMI establece normas mundiales para la seguridad marítima, la protección y el desempeño ambiental. México ha adoptado, accedido y/o ratificado múltiples instrumentos y convenios mundiales relacionados con el cambio climático, la protección del medio ambiente marino y la transición a un sector marítimo de bajas emisiones (ver la Tabla 5). En 2016, el Senado mexicano ratificó por unanimidad el Acuerdo de París [104] y en 2018 el Senado aprobó reformas a la Ley General de Cambio Climático a través de las cuales se actualizó el marco jurídico nacional y se armonizó con los compromisos establecidos en el Acuerdo de París [105]. Sin embargo, México aún no ha ratificado el Anexo VI de MARPOL, adoptado por primera vez en 1997, y su ratificación representa un área de oportunidad para atender la contaminación atmosférica de los buques y eventualmente lograr los beneficios de un ACE, que además sería consistente con el alcance del tratado de libre comercio TMEC.

Tabla 5: Compromiso de México con las políticas marítimas internacionales.

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Convención UNCLOS) (1984)
Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (Convenio MARPOL), especialmente sus Anexos I, II y V
Estrategia inicial de la OMI para la reducción de las emisiones de GEI de los buques (2018)

La OMI ha adoptado con éxito múltiples instrumentos y políticas destinados a reducir las emisiones de GEI de los buques²⁰. La estrategia inicial de la OMI en materia de GEI establece un objetivo mínimo de reducción de las emisiones en al menos un 50% para 2050 en comparación con el año de referencia 2008, al tiempo que persigue en general la reducción de las emisiones de GEI con carácter de urgencia, en consonancia con el objetivo de temperatura del Acuerdo de París. Además de su objetivo de reducción, la estrategia establece un calendario para la consideración y selección de diferentes medidas políticas a corto, medio y largo plazo [106]. Las medidas a corto plazo se centran principalmente en la mejora de la eficiencia energética de la flota mundial, mientras que los debates actuales sobre las posibles medidas a medio plazo se centran en la posibilidad de una cesta de medidas que combine una norma de combustible y medidas basadas en el mercado (MBM). Asimismo, los Estados miembros son cada vez más conscientes de la necesidad de permitir una transición justa y equitativa. Además, se ha generado un impulso para alcanzar un mayor nivel de ambición, como parte de la Revisión de la Estrategia de la OMI, con más de 240 signatarios de la cadena de valor marítima que piden a la OMI que establezca un objetivo de descarbonización total para 2050 [107].

El próximo año de negociaciones climáticas de la OMI será crucial. En las próximas reuniones se abordará la revisión de la estrategia inicial sobre los gases de efecto invernadero, que probablemente se centrará en el establecimiento de un nuevo nivel de ambición que esté en consonancia con el objetivo de 1,5 °C de temperatura y en la posible inclusión de hitos intermedios. Está previsto que la estrategia revisada de la OMI sobre los gases de efecto invernadero se adopte en el MEPC80, que debería celebrarse en el verano de 2023. Además, se seguirán debatiendo las propuestas de medidas intermedias presentadas en las reuniones previstas para diciembre de 2022, primavera de 2023 y verano de 2023.

Dentro del punto del orden del día “Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques” existe una línea de debate en torno a cómo podrían estructurarse los acuerdos de trabajo en la OMI para apoyar la carga de trabajo en este punto del orden del día. En un reciente Grupo de Trabajo Intersesional en mayo de 2022, México fue copatrocinador de una presentación (ISWG-GHG 12/4/1) en la que se pedía que un grupo de correspondencia desarrollara opciones de acuerdos de trabajo a largo plazo para apoyar el trabajo de la OMI para reducir las emisiones de GEI de los buques. Esto, en sí mismo, demuestra el compromiso de México para avanzar en el trabajo político asociado a la transición del transporte marítimo. En el MEPC78, que tuvo lugar en junio de 2022, México se posicionó entre los que apoyan un alto nivel de ambición y se hizo eco de los llamamientos a una transición justa y equitativa. Además, en el pasado, México copatrocinó una presentación [ISWG-GHG 7/2/10] sobre la definición de las necesidades de los PEID del Pacífico en el contexto de la aplicación de la estrategia inicial y la *hoja de ruta para el desarrollo de una estrategia global de la OMI sobre la reducción de las emisiones de GEI de los buques*.

En relación con las futuras medidas de política global, se han sometido a consideración múltiples propuestas de HCH, que probablemente se perfeccionarán para seguir debatiéndolas en las próximas reuniones. El modo en que se desarrollen estas propuestas y la forma en que se diseñe una medida generadora de ingresos influirá considerablemente en la forma de la transición. La financiación generada por un

²⁰ Incluye el Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI), el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética de los Buques (SEEMP), el Sistema de Recogida de Datos sobre el consumo de fuel de los buques, el Índice de Eficiencia Energética de los Buques Existentes (EEXI) y el Indicador de Intensidad de Carbono (ICI).

precio sobre las emisiones de GEI podría utilizarse de diversas maneras, entre otras:

- Permitir una transición internacionalmente equitativa y socialmente justa apoyando a los Estados más vulnerables al clima,
- Cerrar la brecha de competitividad²¹ entre los nuevos combustibles alternativos y los combustibles fósiles tradicionales mediante el reciclaje de ingresos,
- Abordar los impactos desproporcionadamente negativos en los Estados,
- Desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología,
- Financiación del clima, y
- Formación y educación de la gente de mar y de los trabajadores del sector marítimo [108].

Los trabajos del Banco Mundial encuentran viabilidad política en un escenario en el que una parte de los ingresos se destina a un uso fuera del sector [109][110]. Sin embargo, la generación de ingresos, la recaudación y el despliegue dependen del diseño de la política y, por tanto, son todavía inciertos. No obstante, teniendo en cuenta los recientes informes del IPCC sobre los impactos del cambio climático, la adaptación y la vulnerabilidad [1], algunos diputados subrayan la necesidad de destinar una parte importante de los ingresos a apoyar a los más vulnerables al clima [111].

Los próximos debates normativos en la OMI pueden marcar la forma de la transición en los próximos años. Es imperativo que los objetivos políticos de cualquier país en el ámbito de la OMI sean lo más ambiciosos posible, que estén en consonancia con la ciencia climática del IPCC y que estén orientados a enviar fuertes señales políticas con el fin de impulsar la inversión a largo plazo en la producción y el suministro de combustibles alternativos que no emitan gases de efecto invernadero en su ciclo de vida y que permitan una transición equitativa para todos.

«Un mecanismo global de fijación de precios del carbono, establecido a través de la OMI, enviaría al mercado una señal clara, ayudando a cerrar la brecha de competitividad entre los combustibles marinos tradicionales y los de cero emisiones. Esto impulsaría fuertemente la adopción de estos combustibles, creando una enorme oportunidad para que los países con abundante acceso a las energías renovables, como México, puedan suministrarlos.»
– Abel Lopez Dodero (Banco Mundial)

Las medidas adoptadas actualmente por la OMI aún no han logrado una reducción de emisiones suficiente para situar al sector en una trayectoria compatible con el objetivo de 1,5 °C de temperatura del Acuerdo de París. Aunque en las próximas reuniones se pueden enviar señales políticas contundentes, pasarán algunos años antes de que se acuerden y apliquen nuevas medidas. En consecuencia, la acción nacional y la colaboración público-privada tienen un papel clave en este momento para facilitar la transición del transporte marítimo [13]. Ejemplos de esta actividad en el espacio marítimo internacional pueden verse en la Figura 13.

21. Las estimaciones sugieren que en las décadas de 2030 y 2040 el precio del CECE podría ser aproximadamente el doble que el de los combustibles fósiles convencionales [23].

Figura 13: Colaboraciones e iniciativas marítimas internacionales para apoyar la descarbonización.

Getting to Zero Coalition Call to Action

Más de 240 firmantes han instado a los gobiernos a:

1. Comprometerse a descarbonizar el transporte marítimo internacional para 2050
2. Apoyar proyectos de transporte marítimo de emisiones cero a escala industrial a través de acciones nacionales
3. Establecer medidas políticas que conviertan el transporte marítimo de emisiones cero en la opción por defecto para 2030

[Más información](#)

Memorandos de Entendimiento

Las partes interesadas en explorar el establecimiento de la producción de combustibles verdes a gran escala y acelerar el suministro de combustibles verdes para el transporte marítimo pueden firmar memorandos de entendimiento o acuerdos de asociación. Estos acuerdos facilitan las inversiones asegurando la captación de la demanda.

[Ejemplo de Memorando firmado en 2022](#)

Declaración Clydebank para corredores marítimos verdes

Lanzada durante la COP26, actualmente 24 países se han comprometido a:

- facilitar el establecimiento de asociaciones, con la participación de los puertos, operadores y otras personas a lo largo de la cadena de valor, para acelerar la descarbonización del sector del transporte marítimo y su suministro de combustible a través de proyectos de corredores marítimos verdes
- identificar y explorar acciones para superar las barreras a la formación de corredores verdes. Esto podría abarcar, por ejemplo, los marcos normativos, incentivos, intercambio de información o infraestructuras
- considerar la inclusión de disposiciones relativas a los corredores verdes en la elaboración o revisión de planes de acción nacionales
- trabajar para garantizar que se tengan en cuenta los impactos medioambientales y la sostenibilidad a la hora de crear corredores verdes de transporte marítimo.

Declaración de objetivos:

‘...apoyar el establecimiento de corredores marítimos verdes - rutas marítimas de cero emisiones entre 2 (o más) puertos. Nuestro objetivo colectivo es apoyar el establecimiento de al menos 6 corredores verdes para mediados de esta década, con el objetivo de aumentar la actividad en los años siguientes...’

[Más información](#)

Una DPM adoptada en la OMI puede ofrecer apoyo financiero en el sector en algún momento, sin embargo, en esta fase inicial, la acción colectiva de la industria marítima, el sector energético, las instituciones financieras y los gobiernos/ organizaciones intergubernamentales debe proporcionar una financiación significativa en forma de inversión del sector privado y de asociaciones público-privadas. De hecho, al considerar la brecha de competitividad entre los combustibles fósiles y los CECE alternativos [108], se ha destacado que los costes de producción de los nuevos combustibles influirán en la magnitud de la brecha de precios, lo que constituye un argumento a favor de que las futuras inversiones en la producción de combustibles se centren en lugares competitivos como México [112].

En un nivel más específico, puede haber una oportunidad para que México desarrolle una política que reduzca la contaminación atmosférica costera e incentive el uso de combustibles menos contaminantes a corto plazo, y la transición energética del tráfico internacional de barcos que transitan por la ZEE de México a largo plazo. Esto implicaría el establecimiento de una Zona de Control de Emisiones frente a la costa occidental supervisada por el gobierno federal. Debido a la Zona de Control

de Emisiones (ECA) de Estados Unidos²², que comienza en la frontera norte de la ZEE de México, algunos operadores de buques esperan fuera de la ECA para su escala en el puerto de Estados Unidos. Esto permite a los operadores de barcos consumir combustibles más baratos pero con mayor contenido de azufre [113], lo que puede causar graves efectos económicos y de salud a la población costera [51][114]. Las futuras políticas medioambientales de California podrían empeorar/exacerbar este fenómeno; por ejemplo, los puertos de Los Ángeles y Long Beach se han comprometido a alcanzar las cero emisiones portuarias para 2030, y otros dos puertos podrían seguir este ejemplo [115][116].

Se han sugerido corredores verdes entre Los Ángeles y Shanghái para reducir la huella de carbono de los bienes comerciales que intercambian ambas naciones [117]. Estos movimientos podrían situar a los puertos mexicanos, en concreto a los de Baja California, como el centro de abastecimiento de combustible fósil más cercano para la navegación transpacífica y, por tanto, sujetos a las visitas de los barcos “sucios” que aún tienen que hacer la transición a los combustibles de cero emisiones. Este escenario ilustra la importancia del método de geofencing, presentado en la Sección 3, para la creación de inventarios de emisiones del transporte marítimo que capturen el tráfico internacional de buques de alta densidad en la ZEE. También destaca la oportunidad de que México desarrolle su propia ZEE, aumentando así la protección contra los contaminantes nocivos tanto para sus comunidades costeras como para su biodiversidad.

En el panorama político en evolución, la combinación de un enfoque en las ambiciones nacionales que alinean la producción de energía renovable y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero con un compromiso internacional para participar en el desarrollo de políticas globales, proporciona una perspectiva prometedora para el papel de México en la transición.



22 Zonas creadas para limitar la emisión de contaminantes atmosféricos, en particular el SO_x y el NO_x

Sección 6

Oportunidades estratégicas de negocio en México

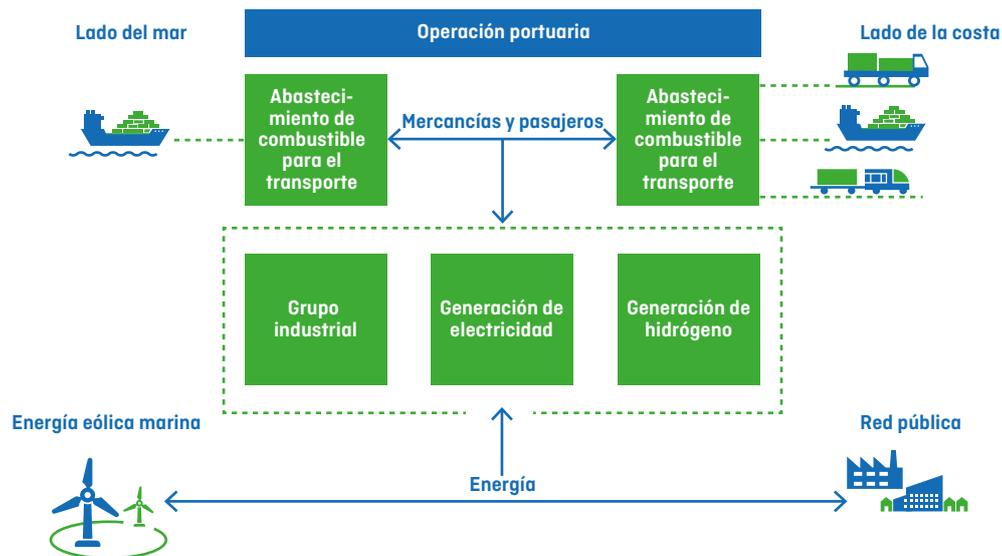
6.1 Los puertos como oportunidades

Los puertos desempeñan un papel importante en la conexión del transporte marítimo con el interior de varios países, actuando a la vez como puertas de entrada y estaciones de servicio para el movimiento internacional de mercancías y productos básicos. A medida que la industria marítima vaya haciendo la transición a CECE, es evidente que se necesitarán nuevas infraestructuras para producir, almacenar y suministrar estos combustibles a la industria. Los puertos, en particular, necesitarán importantes infraestructuras, inversiones y disponibilidad de terrenos para satisfacer las necesidades de abastecimiento de combustible de los buques nuevos o modernizados que funcionen con combustibles alternativos. Para ello, los puertos pueden ser tanto proveedores de estos nuevos combustibles alternativos como compradores para descarbonizar sus propias actividades.

Las operaciones portuarias producen importantes emisiones y plantean una serie de problemas medioambientales derivados de las actividades portuarias, los buques que hacen escala en los puertos y las redes de transporte intermodal que sirven al interior del puerto [118]. Los buques que operan cerca de un puerto quemando combustibles fósiles emiten una importante contaminación atmosférica -como se ha visto en la sección 3 de este informe- que afecta tanto a las poblaciones costeras como a las comunidades que viven a cientos de kilómetros tierra adentro [51]. Dada la proximidad de la población humana a las emisiones marítimas y portuarias, la reducción de las emisiones contaminantes de los puertos y de las fuentes marítimas permitirá mejorar en gran medida, en primer lugar, la calidad del aire para millones de personas [56]. Contar con estimaciones de los niveles de contaminantes atmosféricos y emisiones de GEI en los puertos impulsa el diseño de políticas y las consiguientes decisiones empresariales y de inversión.

La descarbonización de los puertos puede tener varios beneficios; por ejemplo, puede promover la creación de empleos verdes en la producción de energías alternativas, abastecimiento y almacenamiento, y para la prestación de servicios portuarios verdes. Aprovechando sus conexiones con el interior del país, los puertos pueden actuar como nodos para facilitar las sinergias de descarbonización entre el sector energético y el del transporte (ver la Figura 14). Así se potenciaría el despliegue local de energías renovables a gran escala para la producción de electricidad y de combustibles alternativos utilizados en el abastecimiento portuario.

Figura 14: Los puertos como nexo entre la tierra y el mar [119].



Manzanillo

El Puerto de Manzanillo, ubicado en la costa oeste, es uno de los puertos más activos de México y el 3rd más grande de América Latina [120], lo que lo convierte en un activo emisor de GEI (ver Figura 9). Situado en el Estado de Colima, es la principal entrada para la importación de buques portacontenedores y, por lo tanto, atrae importantes inversiones privadas, nacionales y extranjeras [121]. Debido a los proyectos de expansión portuaria, Manzanillo maneja cada vez más cantidades de bienes generales y de consumo de importación/exportación. En 2018, un proyecto de 50 millones de dólares estadounidenses permitió ampliar la capacidad del puerto en un 17% a 2,1 millones de TEU. En 2019, la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante²³ elaboró un plan de 1.200 millones de dólares para ampliar Manzanillo, mejorando la capacidad de manejo del puerto en un 33% e incluyendo la construcción de una nueva terminal de contenedores. Esto es parte de un proyecto de inversión pública y privada de 2,6 millones de dólares en 5 años propuesto por el gobierno para invertir en tres puertos, Manzanillo, Veracruz y Progreso [122].

Actualmente Manzanillo ocupa una superficie de 437 hectáreas, que incluye áreas de agua, muelles y almacenamiento con 19 posiciones de atraque (14 comerciales, 3 para hidrocarburos y 2 para cruceros). Como puerto principal, Manzanillo cuenta con 6.20 km de vialidades internas y 24.70 km de vías férreas, lo que le permite posicionarse como la principal entrada para el manejo de mercancías de comercio internacional para las Zonas Centro y Bajío de México [121][123]. Manzanillo maneja el 46% del tráfico de contenedores en México, sirve a más de 17 Estados que representan el 55% de la población nacional y representa más del 67% del PIB del país (ver Figura 15) [121]. En consecuencia, Manzanillo es el puerto más grande de México en términos de uso de energía marítima, con una demanda de 11 TWh de energía de combustibles fósiles al año [36]. De acuerdo con la sección 3, la actividad marítima de Manzanillo a partir del enfoque geocercas ascendió aproximadamente a 520 kt de CO₂eq, mientras que las llegadas y salidas internacionales representaron

²³ Departamento de la SEMAR que supervisa los puertos.

4.000 kt de CO₂eq y 2.350 kt de CO₂eq, respectivamente. En cuanto a las emisiones de contaminantes atmosféricos, utilizando el enfoque de geocercas, la actividad marítima en torno a Manzanillo en 2018 se construyó a partir de 7.15 kt de SO_x, 9.00 kt de NO_x, 0.39 kt de CO, 0.98 kt de PM₁₀₀, 0.89 kt de PM₂₅ y 0.39 kt de COV.

Figura 15: Influencia nacional del Puerto De Manzanillo [121].



El puerto está situado junto a una zona con un importante potencial solar que asciende a ~1.750 kWh/kWp, que podría aprovecharse tanto para electrificar el puerto como para producir combustibles verdes [36]. Teniendo en cuenta esto, así como su manejo de gran parte del tráfico marítimo de contenedores del país, el Puerto de Manzanillo se ve como una oportunidad significativa para contribuir a la transición energética tanto en la producción, el uso y el abastecimiento de CECE. De hecho, las partes interesadas locales creen que el puerto podría ofrecer servicios sostenibles utilizando fuentes de energía con cero emisiones de carbono y ser un proveedor de energía renovable.

Manzanillo tiene fuertes lazos con grandes industrias que también podrían actuar como compradores de CECE, principalmente de la minería y el cemento. El puerto está muy cerca del mayor yacimiento de hierro de México, Peña Colorada, explotado por ArcelorMittal, que tiene un acuerdo con el puerto para utilizar sus muelles especializados para transportar pellets y concentrado de mineral de hierro [124] [125]. Además, Cementos Mexicanos (Cemex), una de las más grandes empresas cementeras del mundo, cuenta con una terminal de 1,3 hectáreas para el manejo y almacenamiento de clinker y cemento a granel junto al almacén de cemento a granel de Cementos Apasco, de 1,7 hectáreas. Cementos Apasco opera la planta de cemento más productiva de Tecomán, con una producción de unas 2,5 Mt al año [126]. A medida que estas industrias buscan reducir sus emisiones de GEI de Alcance 2 y 3, el Puerto de Manzanillo podría asegurar acuerdos de compra con estas empresas para suministrarles CECE producidos en el puerto o en sus alrededores; aumentando así la demanda local de estos combustibles y aprovechando las economías de escala para reducir el precio de producción. Las investigaciones ya han estimado que en México la demanda acumulada de hidrógeno verde para múltiples sectores, incluyendo las industrias minera y cementera, cuya reducción de

emisiones es difícil, podría crear un mercado de 700 millones de dólares al año para 2050 [127].

En cuanto a la exportación de combustibles verdes, el Puerto de Manzanillo tiene conexiones con 74 puertos internacionales en Asia, Europa del Este, Australia, Norteamérica y Sudamérica, que podrían convertirse en objetivos para la exportación de CECE producidos localmente. La producción, el almacenamiento y la exportación de energías renovables como el hidrógeno verde y el amoníaco podrían convertirse en una fortaleza estratégica del Puerto de Manzanillo. Las partes interesadas destacaron las opciones para explorar un corredor verde desde Manzanillo, que podría basarse en la descarbonización de las industrias locales, similar al recientemente anunciado corredor verde de mineral de hierro de Australia y Asia Oriental, que reúne a empresas mineras, energéticas y navieras interesadas en descarbonizar la cadena de valor del mineral de hierro [128].

Para aprovechar la oportunidad de abastecimiento de combustible que representa el Puerto de Manzanillo, éste tendría que prepararse para abastecer CECE a los buques. Se necesitaría una infraestructura de almacenamiento para los CECE, además de capacitar y entrenar a los empleados del puerto para manejar los CECE una vez que se desarrollen los protocolos de seguridad para los nuevos combustibles. Las partes interesadas consideraron que una evaluación de la capacidad del puerto para producir, utilizar, abastecer de combustible y exportar CECE sería útil y serviría de base para un plan de trabajo. Este plan podría dividir la transición del puerto en etapas clave, por ejemplo, convertirse en un puerto verde, producir CECE, ofrecer servicios de exportación y abastecimiento de CECE en el puerto, además de incorporar un plan de capacitación para los empleados del puerto.

En general, esta oportunidad está muy alineada con el precedente establecido por el puerto, en el que Manzanillo recibió una certificación de “puerto limpio” en 2016 por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) de México [129]. Ser el primero en recibir esta certificación distingue a Manzanillo como uno de los puertos más progresistas de México. Aprovechar esta oportunidad complementaría los esfuerzos locales y regionales de descarbonización de los sectores marítimo y portuario, además de contribuir al cumplimiento de las políticas y estrategias locales y las agendas ambientales, sociales y de gobierno corporativo (ASG) de las terminales portuarias de propiedad privada. Si bien el puerto carece en la actualidad de una estrategia o un plan medioambiental disponible públicamente, los esfuerzos futuros podrían incluir la producción y manejo de CECE en la expansión prevista del puerto y tratar de reducir su dependencia de los combustibles fósiles tradicionales.

«WWF México está trabajando con autoridades federales y locales, así como con la industria y las comunidades locales, en el desarrollo de capacidades y recomendaciones para descarbonizar los puertos nacionales y la flota marítima. Nuestro trabajo colaborativo busca explorar la manera en la que los puertos, con Manzanillo como caso piloto, y la flota marítima pueden reducir sus emisiones de GEI y contribuir a las metas nacionales de descarbonización.»
– Salomón Díaz (WWF Mexico)

6.2 Sinergias interindustriales a través de la producción de energía

Una alternativa para centrarse en el desarrollo portuario como catalizador de la descarbonización del transporte marítimo es adoptar un enfoque sectorial para generar un impulso hacia la producción de CECE. Si bien la industria marítima mundial puede actuar como un importante comprador de nuevos combustibles de cero emisiones, se requiere una combinación de factores, es decir, disponer de un gran puerto comercial con recursos energéticos renovables cercanos, altos volúmenes de tráfico de grandes buques y espacio para el desarrollo, no siempre es factible. De hecho, encontrar terrenos cerca de los grandes puertos mexicanos aumentaría el atractivo y la versatilidad de cualquier proyecto de hidrógeno verde. Sin embargo, no siempre se dispone de terrenos urbanizables cerca de los puertos, y muchos de ellos enfrentan restricciones de espacio que limitan su expansión y su capacidad de contar con centros de producción de CECE cercanos. En este caso, es necesario producir tierra adentro.

En lugar de considerar el transporte marítimo dentro de un silo sectorial, puede adoptarse una perspectiva más holística en la que el transporte marítimo sea sólo un comprador de estos nuevos combustibles y actúe como complemento de otras industrias con demandas sectoriales adicionales de energía verde. Esta idea se refleja en las hojas de ruta de la industria que fomentan la cooperación internacional y nacional entre sectores para alcanzar los objetivos climáticos globales [130][131][119].

Como se vio anteriormente en el caso del puerto de Manzanillo, la combinación de las necesidades de energía marítima con otros sectores, como la minería, el cemento, la producción de fertilizantes, la producción de acero, la fabricación de productos químicos, etcétera cuya reducción de emisiones es difícil, puede proporcionar el apoyo necesario para invertir en la producción de combustibles verdes. Cabe destacar que la agregación de la demanda sectorial -tanto dentro como fuera del ámbito marítimo- refuerza la viabilidad de negocio para los productores de CECE al reducir sus riesgos de inversión y diversificar los mercados objetivo [132]. Es importante mencionar que la agregación de la demanda intersectorial -cuya mayor parte proviene de las industrias del interior- permita la inversión a gran escala y a largo plazo que se necesita para capitalizar las economías de escala y reducir el coste global de la producción de CECE. Esto, a su vez, apoyará la adopción y aceptación de los CECE por parte de múltiples industrias, ya que serán más competitivos en cuanto a costos, si no más baratos, que los combustibles fósiles tradicionales. Las partes interesadas también indicaron otros beneficios de la creación de sinergias interindustriales, como el fortalecimiento de la relación entre el gobierno y el sector privado para desarrollar fuentes de energía de transición y el despliegue de la experiencia adquirida al desarrollar la infraestructura necesaria para el hidrógeno verde. En cuanto a esto último, hay países que cuentan con Estrategias Nacionales del Hidrógeno, como Canadá, que ven una oportunidad de negocio en la exportación de su experiencia a otros países [133].

El Paquete de Reforma Energética del gobierno [2013] atrajo el interés del sector privado para invertir y participar en el mercado energético mexicano. Desde entonces, el gobierno de México recibió varias solicitudes y evaluaciones de impacto ambiental para proyectos innovadores centrados en la producción de energía renovable junto con la capacidad de producir hidrógeno verde [134]. Hasta la fecha, existen múltiples proyectos de electricidad renovable e hidrógeno verde que se están llevando a cabo en el país. Algunos de los más avanzados son Tarafert, que cuenta

con dos proyectos en Durango centrados en la producción de amoníaco azul y urea, cuya operación comercial está prevista para 2026; y Tarafert-2, una instalación de producción de hidrógeno verde con cero emisiones de carbono a partir de energía solar. Baja California también cuenta con un proyecto de HDF energy (más detalles en la siguiente subsección de Baja California). La mayoría de estos proyectos son dirigidos por empresas con respaldo internacional, aunque también hay empresas locales como Grupo Infra, Protexa, Solensa y Énestas Raw Materials & Fuels, que también están estudiando seriamente el hidrógeno verde [135].

Corredor Industrial del Bajío

Una de las principales partes interesadas en la planificación y futura producción de hidrógeno verde es DH2 Energy. DH2 Energy es una empresa que se dedica al desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en Europa y América, con proyectos importantes como Hydeal e Hysencia [136]. También se centran en la creación de consorcios que garanticen un equilibrio entre la demanda y la oferta de hidrógeno. Actualmente, DH2 Energy tiene previsto desarrollar varios proyectos de hidrógeno renovable en México, como un parque de generación de energía solar fotovoltaica capaz de producir hasta 130 MWp de electricidad y acoplado a una planta electrolizadora de 100 MW capaz de producir hasta 5,700 t de hidrógeno verde al año [137]. Las partes interesadas de este proyecto indicaron los beneficios de contar con una experiencia considerable en la generación de energía renovable para la fabricación de CECE. Para ello, DH2 Energy puede aprovechar la experiencia de su empresa hermana, Dhamma Energy México, que ha desarrollado un total de 470 MW de capacidad instalada en los últimos años en varios estados de México y tiene 2 GW adicionales de capacidad solar en desarrollo.

Las actividades de hidrógeno verde planificadas por DH2 Energy se ubican en las áreas adyacentes a muchos productores de automóviles en la región de El Bajío (ver la Figura 18). En San Luis Potosí, una de las más grandes industrias es la automotriz, con la presencia de importantes empresas como General Motors, Mabe, Draexlmaier, Robert Bosch, Cummins y BMW, entre otras [138]. En Guanajuato los fabricantes de automóviles más importantes son General Motors, Honda, Mazda, Toyota y VW, entre otros (ver Figura 16) [139]. En particular, la planta automotriz de BMW en San Luis Potosí utiliza, entre otros, los puertos circundantes de Veracruz, Lázaro Cárdenas y Manzanillo. La industria automotriz constituye una parte importante de la economía mexicana, con gran actividad en el centro de México, lejos de los estados costeros. Acoplar la producción de energía verde en el interior a otras industrias ubicadas en el centro es una buena manera no solo de descarbonizar el sector manufacturero en México, sino también de hacer más ecológicas la logística y las cadenas de suministro, reduciendo así las emisiones de alcance 2 y 3 de las empresas, respectivamente. Esto es especialmente relevante para las empresas que atienden a los mercados de Europa y América del Norte, que enfrentan una mayor presión por parte de los consumidores en relación con el desempeño en términos de sustentabilidad. BMW ha manifestado un interés general en utilizar combustibles alternativos, como el hidrógeno verde, en sus instalaciones mexicanas, especialmente teniendo en cuenta que ya utilizan este tipo de combustibles en algunas instalaciones europeas para reducir las emisiones de CO₂.

Figura 16: Núcleo industrial en El Bajío, México [140].



San Luis Potosí también cuenta con una importante industria minera y siderúrgica que podrían actuar como compradores de hidrógeno verde producido localmente. De hecho, las principales empresas mineras y los miembros del Consejo Internacional de Minería y Metales tienen objetivos definidos para reducir las emisiones de alcance 1 y 2, y establecerán objetivos para abordar las emisiones de alcance 3 a más tardar en 2023 [141]. Si bien las empresas mineras de México no firmaron este compromiso, la Cámara Minera de México (Camimex) es miembro asociado del Consejo y, por lo tanto, está en sintonía con las nuevas presiones e impulsores de la industria para ser más sostenible [142]. El estado tiene una importante contribución minera nacional con la extracción de cobre (tercer productor nacional), oro (noveno productor nacional), cadmio (segundo productor nacional), y antimonio (primer productor nacional) [143]. En 2019, el estado tenía 643 concesiones activas con una cobertura de alrededor de 641,000 hectáreas. Los principales actores de la minería metálica en el estado son Minera San Xavier, Industrial Minera México, Negociación Minera Santa María de la Paz, Compañía Impulsora Minera Santa Cruz y Compañía Minera Huajicori. Estas empresas tienen una capacidad de extracción de alrededor de 19,000 t diarias de diferentes metales [144]. En cuanto a las actividades de minería no metálica, los principales actores son Cemex, Cementos Moctezuma, Vitromex y Hermes Betancourt.

Por otra parte, la industria siderúrgica de México es otra opción que puede agregarse a la demanda de combustibles verdes. México y Brasil produjeron más del 80% del acero de América Latina en 2019. La industria siderúrgica utiliza hidrógeno gris para la reducción directa del hierro, y representa el segundo sector de mayor consumo de hidrógeno gris en el país, además del sector del petróleo y el gas [145]. En el Estado de San Luis Potosí, existen seis productores de acero que en 2020 produjeron en conjunto alrededor de 1.22 Mt de acero, lo que convierte a San Luis Potosí en el quinto mayor productor de acero de México [146].

Los expertos de DH2 reconocieron que las actividades de transporte marítimo en México podrían desempeñar un papel importante en la agregación de la demanda de hidrógeno verde a través de la producción y distribución de amoníaco verde como combustible marítimo. Sin embargo, en la actualidad, el panorama político de México y la aprobación del gobierno son vitales para que los interesados en el hidrógeno verde confíen en el mercado potencial del hidrógeno. Uno de los principales retos que DH2 Energy ha identificado es la infraestructura necesaria para el almacenamiento y transporte del hidrógeno (por ejemplo, la red de gasoductos), que debe considerarse un área clave de desarrollo si México quiere aprovechar su potencial de hidrógeno verde. Una vez aplicadas las estrategias para mitigar estos riesgos, la empresa tiene previsto vender hidrógeno verde a industrias nacionales cuyas emisiones son difíciles de reducir, como la siderúrgica, la cementera y la de fertilizantes, al mismo tiempo que explora oportunidades para exportar hidrógeno verde a Europa y Asia, entre otras.

«México tiene un potencial solar significativo. Aprovechar este potencial y convertirlo en nuevos productos competitivos, como hidrógeno verde, amoníaco y electrocombustibles representa una importante oportunidad para el país con múltiples beneficios indirectos para la economía nacional y las industrias locales.» – Philippe Esposito (DH2 Energy)

6.3 Oportunidad regional

La transición energética del transporte marítimo se entiende cada vez más como un esfuerzo intersectorial y de múltiples partes interesadas para avanzar hacia una economía sustentable y sin emisiones de carbono. Algunas regiones tienen un importante potencial de energía renovable y una actividad industrial multisectorial que crea un entorno propicio para el despliegue de proyectos de descarbonización.

Fundamentalmente, aprovechar las oportunidades regionales permite:

- Agrupar la demanda de diferentes industrias, incentivando así la inversión en proyectos piloto
- Crear sinergias intersectoriales, en particular entre los sectores de la producción y el transporte, que a su vez crean cadenas de suministro ecológicas
- Abarcar las industrias de carácter social, como el turismo y la pesca, que pueden utilizarse para proyectos piloto que hagan más visible la descarbonización entre las comunidades
- Crear empleos verdes y disminuir la contaminación atmosférica asociada a las actividades industriales, contribuyendo así al logro de los objetivos de desarrollo sustentable
- Superar los desafíos específicos de la región y cumplir los objetivos estratégicos estatales/regionales

Dicho de otra manera, las oportunidades regionales de transición ofrecen una gran cantidad de beneficios indirectos, intersectoriales y colaterales. La siguiente sección presenta la oportunidad regional de Baja California.

Baja California

En 2020, Baja California se coloca como la séptima economía de México, con 3.7% del PIB nacional (aproximadamente 39.97 mil millones de dólares). Reúne varias características únicas que hacen del estado una oportunidad regional prometedora, incluyendo su infraestructura energética, el potencial de energías renovables, la concentración de industrias pesadas y manufactureras, la voluntad política y su proximidad a Estados Unidos. Desde la perspectiva del transporte marítimo, Baja California es también un polo de actividad marítima, que se presta para participar en la transición energética de la industria marítima internacional [147]. A pesar de tener una extensión de tan solo el 3.6% del territorio nacional de México, el litoral de Baja constituye el 11.6% de la costa de México con un comercio marítimo que representa alrededor del 15.5% del comercio nacional durante enero de 2021 [148] [149]. En combinación, estas características crean una oportunidad única para producir y hacer operativos los CECE en los sectores energético, de industria pesada, manufacturero y marítimo. Así, varias partes interesadas consideraron a Baja California como un caso de estudio importante, cuyos detalles se exponen a continuación.

Tanto la geografía ambiental como la social de Baja California se prestan para la producción de energía renovable y combustibles verdes. Baja tiene un importante potencial de energía renovable, con algunos de los mayores recursos solares y eólicos de México en la parte media y sur del estado [150]. Otras energías renovables alternativas son la energía undimotriz y la mareomotriz, situadas en la parte norte del estado en el Golfo de California [151], además de la expansión de la capacidad geotérmica de la actual central eléctrica de Cerro Prieto [150].

A pesar de que Baja California cuenta con la mayor superficie protegida de México²⁴, que representa el 36% del territorio estatal [152], existen terrenos que serían ideales para la producción descentralizada de combustibles verdes, por ejemplo, al sur de Mexicali, entre la actual planta geotérmica y los corredores de Cerro Prieto. Estos terrenos están relativamente cerca de la red eléctrica, así como de los sitios establecidos de suministro transfronterizo de GNL y electricidad y, por lo tanto, también ofrecen oportunidades de exportación a los mercados de Estados Unidos y Asia o como combustible de caldera, aprovechando la infraestructura de GNL disponible en el estado²⁵. En las conversaciones, las partes interesadas también mencionaron la exploración de oportunidades de producción en otras zonas del Pacífico al norte de Baja California.

No obstante, la producción de combustibles verdes puede llevarse a cabo en cualquier zona con alto potencial de energía renovable, independientemente de la proximidad a la red eléctrica principal. Los combustibles verdes, como el hidrógeno y el amoníaco verdes, pueden producirse in situ y posteriormente transportarse²⁶ por todo el estado para su uso doméstico e industrial. Existen casos en los que la sobreproducción de electricidad renovable, que de otro modo se perdería como

24 El Gobierno de México no permite ningún tipo de desarrollo o actividad humana significativa en terrenos naturales protegidos, a menos que estén dentro de los límites de desarrollo y actividad permitidos para cada área natural protegida [153].

25 Los estudios sobre el uso de la infraestructura de GNL existente para mezclar combustibles o utilizarla únicamente para el transporte de hidrógeno sugieren que se necesitan pequeñas modificaciones si un pequeño porcentaje (alrededor del 15%) del flujo es de hidrógeno. Un porcentaje mayor de hidrógeno requerirá modificaciones y retos más grandes y costosos.

26 Lo ideal sería utilizar un transporte ecológico, que también funcione con energías renovables, por ejemplo, vehículos pesados que funcionen con combustibles de emisión cero o con baterías eléctricas.

excedente de la red, se convierte en combustibles verdes, por ejemplo, hidrógeno verde, o se destina para almacenamiento estacional [154][155]. De hecho, existe un proyecto en Baja California que pretende almacenar hidrógeno para generar electricidad, desarrollado por HDF [135]. En el caso de Baja California en particular, la infraestructura de transporte es ideal para trasladar los CECE, con una moderna red de carreteras que conecta las ciudades en las que reside el 92% de la población y un servicio de transporte de mercancías por ferrocarril muy desarrollado entre Mexicali y Calexico, California, y Tijuana y Tecate [156]. Una vez establecida la importancia potencial de la producción y el transporte de CECE para Baja California, son múltiples los puntos de demanda actual y futura para el uso de CECE.

Una opción para los CECE es el uso doméstico. La red eléctrica de la región está separada y es independiente de la red nacional principal y, en cambio, está conectada a la red de California, en Estados Unidos, a través de Tijuana y La Rosita²⁷ (ver la Figura 17). La capacidad instalada de Baja California para autoconsumo era de aproximadamente 2,950 MW en 2019, lo que es insuficiente para satisfacer las cargas máximas y el crecimiento nacional previsto en los próximos años [158]. La demanda máxima instantánea provocada por el uso de aire acondicionado en los meses de verano hacen que se importe electricidad adicional, hasta 600 MW, de California [157]. Además de esta importación de electricidad, Estados Unidos provee gas natural para abastecer la demanda eléctrica de Baja California [150]. La CFE ha dado los primeros pasos para poner en marcha un proyecto piloto de hidrógeno verde a partir de futuras plantas de energía solar en Baja California²⁸. La planta piloto de H₂ verde tiene como objetivo minimizar la dependencia del gas natural, aumentar la seguridad energética en la región y reducir las emisiones de GEI, lo que a su vez apoyará los esfuerzos de México para cumplir su compromiso con el Acuerdo de París [159][160][161]. El proyecto consiste en la construcción de un parque fotovoltaico de 350 MW en Cerro Prieto con el fin de comenzar a producir hidrógeno verde entre 2023 y 2024 [159][162][163]. La producción de energía renovable y de CECE permitiría abordar este desafío y proveer a Baja California un suministro doméstico de energía ambientalmente sustentable, reduciendo así su dependencia de Estados Unidos y disminuyendo su vulnerabilidad ante cuestiones geopolíticas de energía y las fluctuaciones de precios resultantes.

La producción de combustibles verdes mediante energías renovables también ofrece importantes beneficios intersectoriales para la descarbonización de la industria pesada y manufacturera. El hidrógeno procedente de energías renovables es técnicamente viable hoy en día y se está acercando rápidamente a la competitividad económica, y los expertos subrayan la necesidad de explorar marcos legislativos que faciliten el acoplamiento sectorial basado en el hidrógeno [155]. Baja California está bien posicionado para el acoplamiento de sectores que agrega la demanda y asegura a múltiples industrias un suministro de CECE. Muchas de las partes interesadas identificaron a industrias que ya están haciendo la transición de sus operaciones para reducir las emisiones de carbono, incluyendo la minera, cemento y manufactura, como posibles sectores para acoplar el uso de CECE con el transporte marítimo para establecer una cadena de suministro más verde. Para conocer los detalles de los distintos sectores industriales de Baja California, consulte la infografía de la Figura 17.

27 En 2018, existía un acuerdo de entendimiento para conectar a BCS con el estado de Arizona a través de la interconexión de San Luis Río Colorado [157], sin embargo, para los siguientes informes del "Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y de la RGD" (PAMRNT) no se menciona este acuerdo y la interconexión no ha ocurrido [158].

28 Asimismo, está previsto desarrollar un parque fotovoltaico en Puerto Peñasco en el estado de Sonora con una capacidad instalada de 1,000 MW.

Figura 17: Industrias clave de Baja California, ciudades, puertos, red eléctrica, gasoductos y su cruce con Estados Unidos.²⁹



CEMENTO Y ACERO

Planta de cemento en Ensenada, propiedad de CEMEX, que es una de las mayores empresas cementeras del mundo.

En 2020, Baja California produjo unas 230 kt de acero que representaron unos 1.03 TWh al año y unas 290 kt de CO₂.



MANUFACTURA

>1.400 empresas basadas en la producción, mismas que representan alrededor del 38,9% del sector manufacturero de México y el 20% del PIB del Estado.

Esto incluye la industria aeroespacial, la automovilística, la relacionada con la defensa, la de dispositivos médicos y la de productos eléctricos.



MINERÍA

> 520 concesiones mineras activas existen en el estado de Baja California. Los principales productos son el oro, el litio, el tungsteno y el cobre.

Representa más de 2\$7.720 millones de pesos (unos 1.390 millones de dólares) o cerca del 3,5% del PIB estatal en 2019.



TURISMO Y PESCA

En 2019, Baja recibió 27,9 millones de visitantes y generó 119 billones de dólares en gasto anual de los visitantes. Tras el COVID, muchos visitantes buscan ahora el turismo de aventura o de naturaleza en la región.

Baja produce casi el 50% del total del producto pesquero nacional.

29 Fuentes: [Canacero](#), 2021; [Tecma](#), [2014](#), [2015](#); [GeoComunes](#), 2021; [The Diggins](#), 2022; [TAW](#), 2022; and [Cota-Nieto](#), 2016.

Las partes interesadas señalaron que la presión para descarbonizar el transporte marítimo vendrá de la parte inferior de la cadena, ya que muchas empresas empiezan a considerar la posibilidad de reducir sus emisiones de Alcance 3³⁰, lo que hace que el suministro de combustibles ecológicos tanto para el transporte terrestre como para el marítimo sea una oportunidad estratégica clave para cualquier región orientada a las exportaciones, como Baja California. Los principales socios comerciales del estado son Estados Unidos, Canadá, China, Corea del Sur, Japón, Vietnam y la UE [165]³¹. En 2020, las ventas internacionales totales de Baja California fueron de 42.4 mil millones de dólares estadounidenses, siendo la fabricación y exportación de monitores y vehículos de motor los principales componentes. Varias partes interesadas destacaron la importancia de la descarbonización al exportar materiales y bienes específicamente a los países desarrollados. En cuanto a la fabricación, una de las partes interesadas consideró que las empresas occidentales con instalaciones de producción ubicadas en México, o simplemente con conexiones en la cadena de suministro, podrían ser “buenos anclajes para impulsar el cambio”.

Como se ve en Figura 17, Baja California tiene tres puertos importantes: Islas Cedros, Ensenada y Rosarito. El puerto de Ensenada se conecta con 28 países diferentes mediante más de 60 puertos internacionales, principalmente a través del tránsito de contenedores vinculados a la relación de manufactura con Asia, Europa y Sudamérica [166]. Bahía Colonet, al sur de Ensenada, ha sido propuesto como la próxima generación de puertos en la región, cuenta con el apoyo del actual Gobierno estatal y federal y está en proceso de recibir financiamiento para iniciar su construcción [167][168]. El estado registra una considerable actividad marítima en la costa del Pacífico, principalmente de grandes buques comerciales, de transporte de gas natural licuado, pesca y cruceros³². Con su gran enfoque en la fabricación y exportación de materias primas a granel, y su potencial de energías renovables, Baja California podría suministrar combustibles verdes directamente a los principales puertos para su uso a bordo de buques internacionales. Además, habrá cada vez más oportunidades para la exportación de combustibles verdes a medida que crezca la demanda internacional de CECE. La producción de combustibles verdes también podría ser viable para la exportación internacional, lo que abriría nuevas oportunidades económicas para el estado al aprovechar las relaciones comerciales existentes y potenciales.

En la zona oriente de Baja California, el Golfo de California ofrece potencial para proyectos de electrificación marítima para la región. Esta zona cuenta con un importante tráfico de pequeñas embarcaciones asociadas al turismo, la pesca y los transbordadores. En cada uno de estos sectores, la electrificación de las embarcaciones ofrece una opción de transición prometedora que, a su vez, disminuiría la contaminación atmosférica y protegería el entorno biodiverso de esta zona.

Aprovechar el potencial de Baja California no solo está en consonancia con el objetivo del Acuerdo de París, sino también con la protección de la biodiversidad del estado y permitiría cumplir con múltiples Objetivos de Desarrollo Sustentable. Además, las partes interesadas destacaron que Baja California es una excelente oportunidad regional en virtud del entorno político del estado, que es relativamente

30 Las emisiones de Alcance 3 incluyen (entre otras) las emisiones procedentes del transporte y la distribución de la cadena de suministros [164].

31 Estas conexiones comerciales se evidencian en los acuerdos comerciales internacionales de México como el Tratado Estados Unidos-México-Canadá (T-MEC), la Asociación Transpacífica (TPP) y el Acuerdo Comercial UE-México.

32 En comparación, en el Golfo de California la pesca artesanal es la actividad marítima dominante, que es el medio de subsistencia de varias poblaciones costeras.

progresista y, por lo tanto, facilita las iniciativas e inversiones de transición verde. Además, las partes interesadas de Estados Unidos han mostrado interés en colaborar con el gobierno de Baja California y los responsables de formular políticas mexicanas para crear sinergias que puedan mitigar las ventas de combustibles fósiles estadounidenses en la costa del Pacífico.

Los argumentos social, ambiental y económico para aprovechar las ventajas de Baja California como parte de una transición energética son claros; sin embargo, se necesitaría una inversión significativa para concretar esta oportunidad. Si bien las oportunidades generales de financiamiento de México se presentan en la Sección 7 de este informe, cabe señalar que en enero y septiembre de 2021, Baja California recibió 1.92 mil millones de dólares en Inversión Extranjera Directa, la más grande registrada en los últimos 20 años y la más alta de cualquier estado en México [169] [165]. Además, una de las partes interesadas sugirió que el financiamiento para desarrollar proyectos piloto en Baja California, y especialmente proyectos para conocer la viabilidad e implicaciones de la electrificación de los barcos, podría provenir del Banco de Desarrollo de América del Norte. El banco ofrece programas de crédito, de asistencia a la comunidad y de asistencia técnica que cubren el desarrollo de proyectos, estudios sectoriales y desarrollo de capacidades en los que la asistencia y el financiamiento incluyen la zona fronteriza entre Estados Unidos y México. Las oportunidades de financiamiento se analizan con más detalle en la siguiente sección de financiamiento.

«Situado entre importantes rutas comerciales asiáticas y americanas y bendecido con abundantes recursos de energía renovable, como la geotérmica, solar, eólica y mareomotriz, el estado de Baja California puede desarrollar y ampliar las instalaciones portuarias industriales existentes y los enormes parques de energía verde para convertirse en un actor importante en los esfuerzos de descarbonización global» – Daniel Gutierrez-Topete (Clúster de Energía de Baja California)





«Celebramos sinceramente los esfuerzos conjuntos de la Coalición Getting to Zero, el Clúster de Innovación Energética de Baja California, A.C., y la University College London, una institución de investigación de clase mundial profundamente interesada en el desarrollo de nuestro estado. Nuestra gobernadora, Marina del Pilar Ávila Olmeda, está comprometida de manera entusiasta con la transformación sustentable de nuestras industrias, impulsando el uso de fuentes de energía limpia, como se sugiere inicialmente en este innovador estudio que consideramos puede brindar beneficios a nuestros pueblos y a nuestro país.»



**BAJA
CALIFORNIA**
GOBIERNO DEL ESTADO

Kurt Honold Morales

Secretario de Economía e Innovación,
Gobierno del Estado de Baja California

Sección 7

Necesidades de financiamiento e inversión

Como resultado de la brecha de precios entre los combustibles fósiles y los CECE, puede ser necesario apoyar al mercado mediante alguna regulación, ya sea un mandato para utilizar los CECE o una medida basada en el mercado (MBM) (por ejemplo, la fijación de precios de los GEI) que aumente el precio de los combustibles fósiles o reduzca el precio de los CECE. En términos de inversión financiera para lograr esta transición y garantizar el aumento de CECE y así satisfacer la demanda impulsada por la regulación, se necesita una cantidad importante de financiamiento.

Las necesidades de inversión para los CECE y el financiamiento de oportunidades clave, como las que se comentan en la sección 6, proporcionan una base sólida para poner a impulsar la transición energética del transporte marítimo en México. No obstante, esta no es en absoluto la única vía que necesita inversión, ya que las medidas de eficiencia energética y la propulsión eólica tendrán un papel importante en la reducción de la intensidad de carbono del transporte marítimo y de los costos operativos. Sin embargo, a largo plazo, los nuevos combustibles alternativos se consideran fundamentales para alcanzar los objetivos climáticos globales [5]. Los CECE requerirán, entre otras cosas, el desarrollo de nuevas infraestructuras para el abastecimiento de combustible, apoyo para su despliegue, aumento de la producción, disminución de los precios de la electricidad renovable y desarrollo de nuevas medidas de seguridad reglamentarias [23]. En otras palabras, la transición de los combustibles en el transporte marítimo está vinculada a la evolución de los sistemas energéticos mundiales y a la capacidad renovable, que debe aumentar para hacer bajar el precio de las energías renovables [12].

Actualmente, y en el corto plazo, existe una brecha de competitividad entre los combustibles fósiles tradicionales y las alternativas de cero emisiones. Esta diferencia de competitividad se debe a una serie de factores, como costos de producción, inversiones de capital y requisitos de infraestructura, problemas de disponibilidad, falta de información y otros obstáculos del mercado [108]. El desarrollo de buques preparados para emisiones cero exigirá mayores costos de CAPEX, relacionados con los requisitos de diseño del buque y del motor; sin embargo, la mayor parte de los costos adicionales serán operativos, generados por los combustibles de carbono cero más caros [170]. Las estimaciones sugieren que en las décadas de los 2030 y 2040 los CECE podrían duplicar aproximadamente el precio de los combustibles fósiles convencionales [23].

Las estimaciones sugieren que se necesitarán entre 1.4 y 1.9 billones de dólares de inversión de capital en todo el mundo para lograr la descarbonización total para el año 2050, siendo la mayoría de los fondos (87%) necesarios para la infraestructura terrestre [171]. Si bien se sugiere que una parte de esta inversión necesaria podría provenir de una MBM global para el transporte marítimo, también se entiende que en las etapas iniciales del proyecto, la inversión del sector privado, así como las asociaciones público-privadas y la acción colectiva deliberada de la industria marítima, el sector energético, las instituciones financieras y los gobiernos/ organizaciones intergubernamentales de todo el mundo pueden aportar un

financiamiento significativo [108][109].

México podría atraer una inversión de entre 37 y 53 mil millones de pesos (1.9 y 2.7 mil millones de dólares) para construir la infraestructura necesaria para 2030 con el fin de suministrar electricidad renovable y combustibles de carbono cero para descarbonizar el 5% de los buques que visitan los puertos de México. De esta inversión, entre 24 y 36 mil millones de pesos (1.2 y 2.8 mil millones de dólares) se destinarían a parques solares y eólicos y el resto se requeriría para plantas de hidrógeno y amoníaco verdes, así como para la infraestructura correspondiente. [36].

Es necesario identificar fuentes de recursos e instrumentos capaces de reducir el riesgo de las inversiones del sector privado en infraestructuras terrestres y buques de emisiones cero. Esto requerirá, en última instancia, el apalancamiento de diferentes tipos de financiamiento mixto a través de una combinación de financiamiento concesional y privado. En general, México, como país de ingresos medios y altos, no puede acceder a grandes montos de financiamiento para el desarrollo basado en subvenciones, especialmente a través de grandes instituciones financieras [172]. Esto significa que la mayor parte del financiamiento internacional disponible vendrá en forma de créditos con bajos intereses, con algunas posibilidades de acceder a fondos en forma de subvenciones si se cumplen ciertas condiciones.

Desde una perspectiva internacional, México ya atrae una cantidad considerable de fondos a través de varios bancos de desarrollo multilaterales, que ofrecen la oportunidad de asegurar grandes adjudicaciones de fondos a proyectos o programas. A través de estos bancos, México puede recibir grandes créditos, como los del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y el Banco Europeo de Inversiones (BEI) [173][174][175][176].

El Banco Interamericano de Desarrollo, como banco de desarrollo regional, apoya la descarbonización del transporte de varias maneras trabajando con el sector público en América Latina y el Caribe. En concreto, el BID ofrece cooperación técnica no reembolsable a las entidades gubernamentales para la realización de evaluaciones técnicas y el desarrollo de políticas y normativas. También puede otorgar créditos, mejoras crediticias y ayudar a los gobiernos a acceder al financiamiento verde (condiciones de financiamiento concesional y/o subvenciones, por ejemplo, NAMA Facility, GEF, GCF). BID Invest [177] es el brazo del sector privado que apoya el desarrollo de proyectos clave en la región, y BID Lab [178] actúa como laboratorio de innovación que proporciona financiamiento inicial para desarrollar tecnologías y proyectos innovadores para mejorar su escalabilidad y prueba de conceptos. El Banco Mundial también otorga préstamos del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento [179] a tipos de interés de mercado o de la Asociación Internacional de Fomento [180] a tipos de interés favorables para los países que reúnen los requisitos. También puede ayudar a entidades privadas a obtener préstamos, garantías de préstamos y financiamiento de capital a través de la Corporación Financiera Internacional [181]. Por último, es posible acceder a subvenciones para el financiamiento directo de viabilidad y apoyo técnico a través, por ejemplo, del Servicio de Asesoría para la Infraestructura Público-Privada [182].

La posibilidad de acceder a subvenciones es un factor importante para reducir el precio de entrada de posteriores fuentes de capital interesadas en financiar un determinado proyecto. Esto puede servir para sentar las bases en cuanto a la determinación del alcance de una cierta oportunidad y para ayudar con los permisos, certificaciones y autorizaciones necesarias para liberar otras inversiones.

Sección 8

Recomendaciones

La posición geográfica estratégica de México próxima a rutas marítimas clave y su potencial para generar cantidades sustanciales de energía renovable, sitúa al país como posible líder para impulsar la descarbonización de los sectores marítimo y portuario, así como de otras industrias relacionadas. La contaminación atmosférica del país generada por la actividad humana, además de las emisiones de los buques en tránsito, no solo afecta a las poblaciones costeras y del interior, sino también al medio ambiente marino del país y a su atractiva biodiversidad. Como se ha señalado en secciones anteriores, el vasto potencial de energía renovable del país tiene la capacidad no solo de abastecer su demanda eléctrica, sino también de producir combustibles con cero emisiones de carbono para cubrir las necesidades energéticas del transporte marítimo a través de sus puertos, así como de apoyar la descarbonización de otros sectores terrestres.

El gobierno de México y sus secretarías de estado están en una posición privilegiada para aprovechar los importantes beneficios que estos nuevos combustibles pueden aportar, especialmente en lo que respecta a la potencial exportación y abastecimiento, así como al aumento de la demanda internacional por parte de las industrias extranjeras con presencia manufacturera en México para reducir las emisiones de la cadena de suministro, todo ello al tiempo que se mejora la seguridad energética del país. A través de la producción y uso de CECE, México tiene la oportunidad de aprovechar sus recursos renovables para crear una nueva fuente de ingresos, mantener la presencia de industrias manufactureras y de producción clave y cumplir con sus objetivos de desarrollo sustentable. Para conseguirlo, es necesario el reconocimiento político y el establecimiento de incentivos apropiados y acciones específicas.

Las recomendaciones que se sugieren a continuación representan la culminación del trabajo de este proyecto y se derivan de la base empírica informada en las secciones anteriores, las múltiples entrevistas con las partes interesadas, los ejercicios de análisis, un taller de colaboración y una mesa redonda con el Comité Nacional del proyecto para México. En su caso, la síntesis elaborada a partir de estas aportaciones se apoya también en referencias adicionales de la literatura. Estas recomendaciones no son de ninguna manera prescriptivas ni exhaustivas, sino que presentan puntos de partida para las acciones clave que deben tomarse en los próximos años para apoyar el compromiso del país en la descarbonización del transporte marítimo.

«México, como una de las economías más sólidas de América Latina es, al mismo tiempo, una nación con un enorme potencial marítimo. México tiene la oportunidad no solo de beneficiarse masivamente de la transición energética mundial al integrarse más estrechamente a las cadenas de valor globales, sino también de convertirse en el primer impulsor de la adopción de combustibles verdes a nivel regional.» – Ricardo Sanchez (Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL))

Ports

En junio de 2021, la Secretaría de Marina asumió la responsabilidad de administrar y dirigir la operación de los puertos nacionales de México, así como la flota mercante. Esto está provocando cambios importantes en el desarrollo portuario y está influyendo en la priorización de oportunidades y los objetivos medioambientales. Por lo tanto, habrá que esperar algún tiempo para saber cómo se comprometerán los puertos con la descarbonización del transporte marítimo si se mantiene el actual enfoque político del gobierno hacia el uso de combustibles fósiles.

Como parte de este compromiso, los puertos podrían considerar cómo las mejoras previstas se alinean con el futuro de la industria marítima. Sería prudente construir instalaciones portuarias resistentes al cambio climático y apoyar los objetivos de reducción de emisiones de GEI. Las partes interesadas plantearon los posibles beneficios colaterales de la descarbonización; por ejemplo, la descarbonización del transporte marítimo conduciría a una reducción de la contaminación atmosférica en los puertos y las ciudades portuarias. De hecho, el Tratado Estados Unidos-México-Canadá (TMEC) incluye ahora un artículo sobre el medio ambiente y la obligación de mejorar la calidad del aire [67].

Sin embargo, los participantes locales se apresuraban a destacar la importancia de los puertos para la transición energética, tanto como proveedores de estos nuevos combustibles como compradores para descarbonizar sus propias actividades. En las entrevistas y consultas de alcance, múltiples partes interesadas destacaron la importancia de los puertos como eslabones clave en una cadena de sustentabilidad. En particular, las autoridades portuarias fueron vistas como actores clave para permitir la integración de la infraestructura de combustibles verdes con la actividad marítima de México. Las partes interesadas consideraron que los puertos mexicanos deben estar listos para comprometerse con el sector marítimo en general mientras se preparan para emprender su transición de combustible.

Acciones sugeridas

Desarrollar planes y estrategias portuarias de colaboración que aprovechen las sinergias de abordar tanto la contaminación atmosférica como los objetivos de descarbonización

Como se ha comentado en Sección 3, existen zonas de México que sufren las emisiones de GEI y la consiguiente contaminación atmosférica de los buques que hacen escala en los puertos nacionales y que transitan por las aguas de México. Esto tiene un impacto significativo en el clima local y en la calidad del aire. Las Secciones 5 y 6 muestran que los puertos pueden desempeñar un papel importante no solo en la reducción de las emisiones del transporte marítimo mediante la provisión de CECE, sino también en la puesta en marcha de iniciativas que combinen múltiples actores y sectores de la cadena de suministro. Las autoridades portuarias podrían desarrollar planes y estrategias portuarias de colaboración con las partes interesadas nacionales, como la Secretaría de Marina, y las comunidades locales que manifiesten explícitamente el interés del puerto en la descarbonización, así como objetivos para reducir las emisiones portuarias. Los puertos podrían entonces alinear sus planes de expansión y desarrollo teniendo en cuenta estos objetivos de descarbonización, asegurando la congruencia con los objetivos declarados y evitando costosas adaptaciones en el futuro. Estas estrategias también enviarían las señales necesarias a los actores privados interesados en colaborar en iniciativas de descarbonización.

Aumentar la coordinación y la orientación entre los principales puertos de México

Las partes interesadas también señalaron la necesidad de aumentar la coordinación de los principales puertos de México: Manzanillo, Altamira y Lázaro Cárdenas. Además, los puertos de gran actividad detectados en la Sección 3.2.3 que podrían beneficiarse de una mayor coordinación serían Cozumel y Veracruz. Mediante una mejor orientación por parte del Estado, los servicios e infraestructuras portuarias sustentables en México pueden ser más eficientes, competitivos y rentables. En particular, la armonización de los procedimientos y mecanismos de control oficiales [192], así como la mejora de la comunicación y la coordinación dentro de la comunidad portuaria [193] pueden mejorar el manejo de la carga y el desempeño del puerto. Esto está en consonancia con las recomendaciones internacionales, que proponen una infraestructura y servicios marítimos resistentes al clima a fin de mejorar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático [28].

Explorar opciones para la electrificación de los puertos y la mitigación de la contaminación atmosférica

La electrificación de los puertos que actualmente usan combustibles fósiles es un paso inmediato hacia la descarbonización marítima, siempre que esto sea posible. Modificar las actividades portuarias para que dependan principalmente de la energía eléctrica procedente de fuentes renovables puede ayudar a reducir las emisiones de GEI. La electrificación también puede reducir las emisiones contaminantes locales y los costos de mantenimiento y energía. Las opciones para pasar a la electrificación incluyen la electrificación de los muelles para la conexión eléctrica de los buques mientras mantienen la maquinaria apagada (cold ironing); la instalación de infraestructura de carga para alimentar la logística y el manejo de la carga con grúas y vehículos en tierra,; el almacenamiento en frío; los buques de servicio, como los remolcadores y las embarcaciones de práctico; y las oficinas y edificios [28][119].

Prepararse para el abastecimiento o la producción de CECE para el suministro de combustible, el uso portuario y la exportación

Como se ha puesto de manifiesto en la Sección 1, el transporte marítimo tendrá que abandonar rápidamente los combustibles fósiles, especialmente durante la década de 2030. Debido a la gran cantidad de buques internacionales que hacen escala y continúan su tránsito, como se ha mostrado en las Secciones 2 y 3, México recibe grandes cantidades de emisiones de GEI de origen marítimo de las que no se beneficia (ni por la venta de combustible ni a través de derechos portuarios). Como se indica en la Sección 4, México, tiene la suficiente energía renovable para impulsar la producción nacional de CECE, reduciendo así la contaminación atmosférica de los buques que pasan y generando nuevos ingresos en lugar de importar petróleo refinado. A medida que los CECE avanzan hacia su despliegue, es necesario preparar todos los aspectos de los puertos para el cambio: existen oportunidades como suministro de combustible, para uso en el puerto (por ejemplo, los nuevos diseños de buques como el “Hydrotug” del puerto de Amberes, propulsado por un motor dual que puede funcionar con hidrógeno en combinación con diésel [194]) o para la exportación.

Fomentar los puertos como nodos verdes en una red multisectorial

Los puertos son puntos centrales de múltiples fuentes de contaminación, procedentes de los buques que llegan y salen, de los camiones en tierra y del ferrocarril, así como de sus propias operaciones (ver la Sección 3). Para gestionar los CECE, las partes interesadas locales vieron la necesidad de invertir en infraestructuras y equipos portuarios que estén en sintonía con la infraestructura ferroviaria y terrestre asociadas. La creación de un ecosistema portuario que actúe como un nodo verde para múltiples sectores se considera importante en los próximos años, en los que el puerto puede ofrecer servicios sustentables utilizando fuentes de energía con cero emisiones de carbono tanto para los buques como para el transporte terrestre. Se pueden apalancar las economías de escala mediante el suministro a otras industrias cercanas a los puertos, como plantas químicas, productores de fertilizantes, etcétera. La adopción de soluciones tecnológicas portuarias que puedan abastecer energía renovable a estos sectores conectados, como las estaciones de carga eléctrica o las opciones de repostaje de hidrógeno ecológico, es un paso hacia la descarbonización de las cadenas de suministro.

Política

Para llevar a cabo la transición energética en México, se necesita un enfoque tanto descendente como ascendente, que se manifieste como un impulso multilateral por parte del gobierno, las empresas, la sociedad civil y el mundo académico. La descarbonización y el impulso hacia una mayor capitalización de las fuentes de energía renovables son intrínsecos a este proceso. [135].

Actualmente, el gobierno mexicano ha comunicado sus esfuerzos por reestructurar la política energética nacional para mitigar la pobreza y reducir las desigualdades, al tiempo que pretende conservar y restaurar los ecosistemas de carbono azul, los mares y los océanos. Sin embargo, las investigaciones y las múltiples partes interesadas han señalado que el marco normativo y político de México será insuficiente para cumplir sus compromisos climáticos internacionales [127]. Por lo tanto, recurrir a acciones de mitigación inexploradas, como la ecologización de las operaciones marítimas podría

mejorar la acción climática y facilitar el cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales.

México tiene un importante potencial para producir y promover nuevos combustibles y energías renovables, que pueden contribuir a la descarbonización del transporte marítimo y crear beneficios colaterales para el país y sus comunidades. Una dirección y postura política más resueltas hacia la producción y distribución de CECE podría contribuir a cubrir las necesidades energéticas del transporte marítimo y satisfacer la demanda eléctrica nacional, al tiempo que se mejora la calidad del aire, se reducen las emisiones de GEI y se crean empleos verdes.

Se prevé que la economía del hidrógeno en México genere hasta 3.2 millones de empleos, aporte 46 mil millones de dólares al PIB nacional y reduzca alrededor de 53 Mt de CO₂ de la huella de carbono de México para 2050 [65]. Dado que el consumo de hidrógeno en América Latina en 2020 representó 3.5 Mt, el gobierno de México tiene la oportunidad de generar crecimiento económico y mejorar la seguridad energética mediante el desarrollo de su economía del hidrógeno. La carrera por establecer una ventaja competitiva en este campo ya ha comenzado, y países como Chile, Colombia, Panamá, Paraguay, Trinidad y Tobago y Uruguay han desarrollado o están desarrollando sus estrategias y hojas de ruta nacionales del hidrógeno [195]. La inclusión del transporte marítimo en estos planes y estrategias conecta directamente la necesidad de un transporte marítimo sustentable con la extensa agenda de descarbonización y acciones climáticas necesarias en los próximos años.

Acciones sugeridas

Nacionales

Actualizar las políticas para reflejar los compromisos climáticos como parte de la planificación nacional a largo plazo

Como se muestra en la Sección 5, el enfoque actual del gobierno federal mexicano está dirigido hacia la producción y el consumo de los combustibles fósiles tradicionales, lo que es visto por muchas partes interesadas como una barrera o un desafío para su compromiso con los CECE. De hecho, se dieron ejemplos en los que los proyectos de energía renovable se habían detenido a causa de la agenda política actual. Las Secciones 3 y 4 ilustran que las emisiones marítimas de GEI se subestiman enormemente si se tienen en cuenta los buques en tránsito, pero los recursos energéticos renovables de México podrían aprovecharse para reducir estas emisiones, así como para desarrollar una economía del hidrógeno verde que resulte atractiva tanto para las industrias marítimas como para las terrestres. Para ello, las partes interesadas locales pidieron que se integrara la descarbonización del transporte marítimo y portuario en las estrategias nacionales y otros instrumentos políticos. Esto requiere sensibilizar a los políticos en materia de medio ambiente para que actualicen las políticas climáticas con una perspectiva de planificación a largo plazo, sobre todo porque los cambios de administración suelen ser perturbadores, lo que genera incertidumbre en el mercado y desincentiva a los posibles inversores. La ratificación del Anexo VI de MARPOL, la presentación ante la OMI de un Plan de Acción Nacional voluntario para abordar las emisiones de GEI de los buques y la revisión de la Política Nacional de Mares y Costas de la SEMAR en México presentan estas oportunidades para enfatizar el compromiso nacional con la descarbonización del transporte marítimo y portuario.

Definir una estrategia u hoja de ruta del hidrógeno nacional

Actualmente, México no cuenta con una política nacional oficial ni con una hoja de ruta para el desarrollo y la aplicación del hidrógeno verde [127]. Ante esta carencia, la industria privada, liderada por H₂ México, ha dado un paso adelante para orientar su propio trabajo [65]. Si bien es digno de elogio, la adopción y el apoyo del gobierno a una iniciativa de este tipo son necesarios para la legitimidad [135]. Para tener acceso a un mayor financiamiento y aprovechar el potencial de México como productor y exportador de CECE, es necesario crear una hoja de ruta del hidrógeno nacional que integre las necesidades energéticas del transporte marítimo con objetivos y acciones definidas, desarrollo de infraestructura planificada, vías de transición, coordinación entre las partes implicadas, estructuras de gobernanza y modelos de negocio (ver la Sección 7) [127].

Reducir los permisos y las trabas administrativas

Las barreras legales y administrativas pueden suponer importantes cuellos de botella en el avance de las tecnologías y proyectos de energías renovables. Las partes interesadas señalaron que el futuro de los CECE en México podría fortalecerse con el apoyo del gobierno, en términos de facilitar el proceso de obtención de permisos y autorizaciones. Destacaron, por ejemplo, la dificultad para obtener permisos para proyectos, las limitantes legales de la propiedad de la tierra y los topes (en algunos estados) de la cantidad de energía renovable que se puede generar sin un permiso específico. Reducir o eliminar estas barreras que dificultan el progreso puede estimular las inversiones en proyectos de energía verde. El gobierno podría tratar de establecer medidas que faciliten el acceso a la infraestructura energética, especialmente para el desarrollo de proyectos de hidrógeno [127]. Tales medidas no deberían comprometer o reducir la eficacia de los requisitos existentes para realizar evaluaciones de impacto ambiental y social, y deberían implicar la consulta con las comunidades locales para garantizar la aceptación de los proyectos propuestos, cuando proceda.

Fomentar la colaboración público-privada

Muchas partes interesadas identificaron iniciativas privadas relacionadas con las energías renovables, pero no pudieron citar ningún acuerdo público-privado. Algunos argumentaron que las autoridades mexicanas y las partes interesadas (productores de energía y representantes de la industria, operadores del sistema, organismos reguladores) deberían aprovechar el ímpetu mundial en torno a las perspectivas de descarbonización del transporte marítimo y emprender proyectos de cooperación técnica y económica. Esto requeriría la colaboración entre múltiples secretarías (ministerios), compañías especializadas en hidrógeno y empresas energéticas nacionales (como PEMEX y CFE), así como otras partes interesadas. Las colaboraciones internacionales podrían ser a través de misiones de aprendizaje o asociaciones que incluyan programas de transferencia de conocimientos [127]. Sin embargo, como primer paso, se requiere aclarar si es posible establecer este tipo de asociaciones en el contexto de México; para ello es necesario evaluar el marco normativo actual para determinar si facilita un entorno propicio.

Preparar la capacidad y habilidades de la fuerza laboral para manejar CECE y sus tecnologías

El desarrollo de nuevos combustibles sustentables y las tecnologías asociadas requerirá a su vez nuevas competencias y conocimientos por parte de la fuerza laboral marítima. La investigación exige que México establezca una estrategia para desarrollar talentos cualificados para una economía del hidrógeno verde. Esto puede hacerse fomentando la formación especializada, las asociaciones entre el mundo académico y la industria, así como la cooperación internacional en materia de educación superior, investigación, desarrollo e innovación [127]. En términos más prácticos, se puede capacitar e instruir a los empleados portuarios en el manejo de estos CECE, incluyendo la adaptación de procedimientos de abastecimiento de combustible seguros y eficientes, y la preparación y carga de buques para la exportación de CECE. Se mencionaron los astilleros y puertos como posibles sitios de formación, en los que México podría construir centros de conocimiento estratégicos dirigidos a la formación y desarrollo de capacidades, ofreciendo becas verdes para incentivar la competencia nacional en torno a los CECE y la preparación para el servicio de buques de cero emisiones en una economía del hidrógeno verde..

Internacionales

Apoyar el desarrollo de autorizaciones y normas de seguridad referentes a CECE

El apoyo a las autorizaciones medioambientales y el establecimiento de normas para las nuevas instalaciones y procesos de abastecimiento de combustible serán cruciales en un futuro próximo. Las autoridades mexicanas harían bien en involucrarse o seguir de cerca los avances en este ámbito, como el trabajo de Korea Shipbuilding & Offshore Engineering y la sociedad de clasificación Korean Register, que están trabajando en el desarrollo de normas para buques de hidrógeno [196]. Las partes interesadas han manifestado que es necesario dar prioridad a las cuestiones de seguridad, en particular a los protocolos de seguridad para la manipulación de nuevos combustibles alternativos como el hidrógeno verde y el amoníaco.

Colaborar para garantizar una política eficaz en materia de gases de efecto invernadero en la OMI

El mercado de CECE, y por lo tanto el caso de negocio para facilitar una inversión significativa, puede ser firmemente habilitado mediante la adopción oportuna de una política eficaz en la OMI. Es necesario desarrollar medidas de política internacional, como una posible MBM, para apoyar la inversión y el empleo de los CECE mexicanos. México puede impulsar la inversión apoyando a la OMI en la formulación de una estrategia altamente ambiciosa y en el diseño y adopción de medidas políticas para lograr una transición justa y equitativa. Apoyar un objetivo climático internacional para el transporte marítimo que esté en línea con el Acuerdo de París y firmar la Declaración sobre el Transporte Marítimo con Cero Emisiones para 2050 sería un paso hacia este objetivo [197].

Firmar la Declaración de Clydebank y desarrollar el primer corredor verde de México

Los corredores verdes se destacan como un método innovador para iniciar una acción oportuna a lo largo de una ruta marítima internacional específica entre dos grandes centros portuarios y pueden aprovecharse en favor de los intereses nacionales en la transición hacia un transporte marítimo de emisiones cero [23]. Basándose en su potencial de energía renovable, relaciones comerciales con otras regiones y ubicación a lo largo de rutas marítimas de gran tránsito, México podría firmar la Declaración de Clydebank para denotar su interés en la colaboración internacional en este frente. Los pioneros de América Latina ya están dejando su huella, como se ha podido observar a través del reciente anuncio de que los Ministerios de Energía, Transporte y Telecomunicaciones y Asuntos Exteriores de Chile se han asociado con el Centro Mærsk Mc-Kinney Møller para el Transporte Marítimo con Cero Emisiones de Carbono para establecer una Red Chilena de Corredores Marítimos Verdes [198].

Finanzas

Además de los retos políticos a los que se enfrentan, muchas partes interesadas en México plantearon el desafío financiero de la descarbonización, citando las enormes inversiones necesarias para investigación y desarrollo, proyectos piloto y en escalamiento, adaptaciones de infraestructura y nuevas instalaciones de infraestructura. Para hacer posible la transición energética hacia una economía con bajas emisiones de carbono se requieren importantes recursos financieros para cambiar a formas de energía más sustentables. Sin embargo, a pesar de esta clara necesidad financiera, muchos creen que la actual agenda gubernamental de México no fomenta ni la inversión pública ni la privada, ni el desarrollo de energías alternativas [127]. No obstante, la Asociación Mexicana del Hidrógeno ha visto un aumento significativo en el interés por el hidrógeno verde en los últimos tiempos, con aproximadamente 1.35 mil millones de dólares de inversiones programadas orientadas a este tipo de proyectos [199].

Los marcos financieros desempeñan un papel importante en la facilitación de mercados y el establecimiento de innovadores clústeres emergentes. El financiamiento internacional es limitado debido a los incipientes casos de negocio de los CECE; por lo tanto, el financiamiento disponible podría priorizar la reducción de los riesgos de inversión el mejoramiento de los casos de negocio y el apoyo a la independencia energética nacional mediante el financiamiento de proyectos estratégicos. Si bien el sector marítimo en general y las partes interesadas locales han confirmado su compromiso de invertir en nuevas infraestructuras e I+D, también han destacado la necesidad de un marco de financiación que los apoye para recibir asistencia técnica y emprender proyectos de demostración y piloto.

En lo que respecta a los aspectos negativos, no se conoce mucho sobre el tema y los costos son bastante elevados. Para solucionar este problema, se podrían dar incentivos, como las primas verdes. Este fue el caso de México con la energía solar: la instalación de 1 MW en 2013 contó con incentivos económicos en forma de depreciación acelerada, que permitía a empresas y particulares amortizar el 100% de los gastos en equipos de energías renovables en un solo periodo fiscal. Esto contribuyó, en parte, a reducir los costos de los paneles solares en un 80% en los últimos siete años y cada día son más los usuarios que apuestan por esta fuente de energía [135][200].

Acciones sugeridas

Explorar los incentivos fiscales nacionales para los pioneros de esta iniciativa

Las actualizaciones de infraestructura son procesos costosos y largos, que a menudo exigen la movilización de un importante capital privado. Las partes interesadas sugieren que se exploren los incentivos fiscales para apoyar a los pioneros de esta iniciativa, que son quienes asumen los mayores riesgos. Esto apoyaría la creación de un entorno que impulse las inversiones en un sistema altamente basado en energías renovables. Al igual que sucede con el desarrollo de las tecnologías eólica y solar, la nueva tecnología de los CECE necesitará apoyo financiero y estructuras que faciliten su adopción. Los incentivos, como las primas verdes, son una de esas opciones. Este fue el caso, antes mencionado, de México con la energía solar en 2013, en donde se otorgó un incentivo por la instalación de 1 MW, contribuyendo así a la reducción de los costos de los paneles solares [135]. Los contratos por diferencia³³, los acuerdos de recompra, las garantías de crédito público y los bonos verdes son opciones que también podrían utilizarse [28].

Impulsar la seguridad energética mediante la generación privada de electricidad renovable

Las partes interesadas han señalado las dificultades para incentivar la inversión del sector privado, especialmente porque la producción de energía renovable es mayoritariamente de propiedad del Estado. La eliminación de las barreras a la producción de electricidad renovable a gran escala y la flexibilización del marco normativo para permitir una mayor generación de electricidad renovable por parte del sector privado es esencial para construir la capacidad de energía verde de México y ampliar su potencial, incluso en la producción de CECE. Sin embargo, el sector privado percibe que México tiene un ecosistema inadecuado para la inversión en innovación [127]. El gasto en infraestructura de energía renovable podría centrarse en la construcción de una red de distribución inteligente y reforzada que integre tanto las fuentes públicas como las privadas de energía renovable, lo que puede ayudar a gestionar las congestiones locales y apoyar la resiliencia de la red [28].

³³ Los "contratos por diferencia" pueden ser utilizados por las instituciones financieras para salvar la brecha entre el uso de fuentes de generación de energía más caras pero sustentables y las opciones de combustibles fósiles más baratas pero menos sustentables. De este modo, los proveedores de energías renovables tienen garantizado un flujo de ingresos constante que apoya su despliegue a escala y mejora la capacidad de financiamiento de sus proyectos.

Aprovechar el financiamiento de desarrollo internacional para priorizar el financiamiento de proyectos estratégicos

Como se vio en la Sección 7, México tiene experiencia en el acceso a la asistencia de los bancos de desarrollo, lo que puede beneficiar a sus industrias marítimas y terrestres en la ampliación de la producción de CECE. Las inversiones financieras en la infraestructura de CECE son difíciles de justificar sobre la base de los modelos de negocio actuales; sin embargo, el financiamiento del desarrollo podría utilizarse para reducir el riesgo de las acciones iniciales a través de subvenciones directas, asistencia técnica y financiamiento de pre-factibilidad para fortalecer las oportunidades de negocio clave. Los proporcionados por diversas organizaciones e instituciones, como el Banco de Desarrollo de América del Norte, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y el financiamiento bilateral (por ejemplo, el Mecanismo de Acreditación Conjunta Japón-México) son todas opciones pertinentes [127][201]. Los BMD también pueden ayudar a buscar fuentes de financiación verde (concesional y/o subvenciones) para reducir el costo promedio ponderado del financiamiento. Las partes interesadas también destacaron la exploración de financiamiento de proyectos a través de bonos azules, como el que ofrece BID Invest para América Latina y el Caribe [202], y los posibles ingresos procedentes de una MBM global o del precio del carbono como vías a seguir.

Industria

A pesar de la falta de enfoque político en la descarbonización del transporte marítimo, hay muchas industrias mexicanas y actores regionales que apoyan el desarrollo y uso de los CECE. Esto se ejemplifica en las oportunidades estratégicas descritas en la Sección 6 y las partes interesadas han hecho eco de ello a través de numerosos compromisos. La industria marítima ha expresado su compromiso e interés en perseguir una agenda más verde, como se ve en el Llamado a la Acción para la Descarbonización del Transporte Marítimo. Lanzado en septiembre de 2021, el Llamado a la Acción cuenta con más de 240 actores del sector que piden públicamente a los gobiernos y a los reguladores internacionales que tomen medidas decisivas que apoyen que el transporte marítimo con cero emisiones sea la opción por defecto para 2030 [107].

Como parte de esta convocatoria, las empresas ofrecieron información sobre sus propias acciones, objetivos y planes para la descarbonización del transporte marítimo. Las acciones de la industria hasta la fecha incluyen inversiones en I+D y proyectos piloto, pedidos y construcción de buques con cero emisiones, compra de servicios de transporte marítimo con cero emisiones, inversiones en la producción de CECE e infraestructuras portuarias y de suministro de combustible, entre otras [203]. Los esfuerzos continuos por parte de los actores de la industria, tanto en el sector marítimo como en otros ámbitos como el transporte y la energía, serán esenciales en los próximos años.

Acciones sugeridas

Estimular el impulso a través de la presión y el compromiso

Las partes interesadas locales destacaron claramente la necesidad de una mayor ambición por parte de los organismos públicos para aumentar el apoyo nacional a la descarbonización del transporte marítimo. Las industrias marítimas pueden comprometerse con los organismos públicos para mostrar expresamente su interés en aumentar la producción de CECE y las tecnologías relacionadas, así como para ayudar a instruir al gobierno sobre la multitud de beneficios ambientales, sociales y económicos de la transición hacia una economía y una industria marítima con bajas emisiones de carbono. Las voces de la industria necesitan transmitir el mensaje de que la descarbonización no solo es un asunto urgente para la comunidad marítima, sino que también presenta una importante oportunidad para que México capitalice sus recursos renovables existentes. Presionar al sector público para que incluya este tema en la agenda política no solo podría ayudar a abordar algunos de los retos políticos expresados anteriormente, sino que también sentaría las bases para trabajar de forma colaborativa en el cierre de las lagunas de conocimiento, la liberación de fondos nacionales para reducir el riesgo de los proyectos en fase inicial y el desarrollo de normas y reglamentos adecuados.

Dirigir las actividades de descarbonización a lugares estratégicos

Los debates entre las partes interesadas revelaron que el compromiso con los esfuerzos de descarbonización en cualquier sector (no solo en el marítimo) tiende a variar según la región y la costa. De hecho, la antigüedad, el tamaño y el nivel de los buques en operación difieren según la costa, especialmente si se tiene en cuenta la propensión de los buques a cargar combustible en Estados Unidos. Las fronteras marítimas de México con Estados Unidos colindan con las zonas de emisiones especiales de este último país. Por lo tanto, los buques mexicanos que tienen que atracar en Estados Unidos tienen que cumplir con las normas más estrictas de la reglamentación portuaria de Estados Unidos y el Anexo VI de MARPOL, lo que hace que estos buques sean más respetuosos con el medio ambiente, con actualizaciones recientes y un uso más limpio del combustible. Además, algunos estados progresistas como Baja California y regiones con conexiones con el Caribe, donde el turismo es un importante motor económico, están más avanzados en sus actividades con respecto a la producción y uso de energías renovables. Los actores de la industria interesados en desarrollar proyectos concretos de producción de CECE y tecnologías piloto asociadas podrían aprovechar ubicaciones estratégicas dentro de México que presentan una convergencia de factores favorables.

Agregar la demanda de CECE

Como se vio en la Sección 6, las industrias marítimas pueden actuar por sí solas como importantes compradores, pero los actores de la industria podrían tratar de agregar la demanda de CECE en toda su cadena de valor, así como los de otros sectores. La colaboración intersectorial puede generar sinergias eficaces entre el transporte marítimo, la minería, otros sectores del transporte y la energía. Las industrias clave en México que pueden agregar su demanda de hidrógeno verde y sus derivados incluyen a los productores de automóviles, minería, manufactura y cemento, entre otros. El aumento del volumen de la demanda de los nuevos combustibles con cero emisiones de carbono, con el apoyo de los acuerdos de compra, fortalece los casos de negocio para los inversores y capitaliza las economías de escala para reducir el costo global de la producción. Esto es especialmente importante cuando se trata de prolongar la vida útil de las infraestructuras existentes, como los gasoductos de gas natural que pueden reutilizarse para el transporte y almacenamiento de energía a gas e hidrógeno [17]. Los valles de hidrógeno o los centros de hidrógeno ofrecen un medio para agregar la demanda y poner en marcha las economías de hidrógeno locales [204].

Seguir desarrollando asociaciones centradas en CECE y en las oportunidades de electrificación para impulsar el cambio del mercado

Ningún actor marítimo tiene suficiente influencia en el mercado para hacer posible la descarbonización del transporte marítimo por sí solo. Reunir a los actores de la industria en foros de colaboración no competitivos puede enviar una señal de demanda colectiva para acelerar las acciones de descarbonización [17]. Las industrias interesadas podrían unirse a iniciativas como la Asociación Mexicana del Hidrógeno, que se dedica al desarrollo del hidrógeno verde y oportunidades de negocio relacionadas. Esta asociación ya está teniendo impacto en México a través del desarrollo de su Hoja de Ruta del Hidrógeno [65] y su papel de facilitador de contactos entre los actores interesados en llevar a cabo proyectos de hidrógeno verde. También actúa como foro neutral para que la industria participe en el creciente ecosistema del hidrógeno en México y se conecte con representantes del estado y del gobierno para desarrollar proyectos piloto de demostración.

Explorar opciones de modelos de negocio

Mientras se desarrollan los impulsores normativos del caso de negocio para el uso de CECE, los actores del sector podrían buscar modelos de negocio nuevos y alternativos que puedan ayudar a reducir algunas de las barreras para la introducción o adopción de la tecnología para los CECE, tanto a bordo de los buques como en tierra [17][205]. Los modelos *"Book and Claim"*³⁴, los servicios de suscripción, los acuerdos de compra mayorista de energía, los modelos de arrendamiento y las subastas inversas pueden ser nuevas formas de hacer negocios en los sectores marítimo y energético [207].

34 Los modelos *"Book and Claim"* separan la declaración de sustentabilidad de la trazabilidad física de un producto o bien. La electricidad verde es un ejemplo en el que no puede rastrearse en la red, por lo que se utiliza un sistema de contabilidad para cobrar al cliente que paga una prima por la electricidad verde y que luego la *"reclama"* mediante un certificado verificable. Este sistema no se ha implantado en el espacio marítimo, pero se está debatiendo en el ámbito más amplio del transporte y la logística [206].

En conclusión, México tiene un gran potencial para proveer de energía a la flota marítima mundial a través de la producción nacional, el abastecimiento de combustible y la exportación de CECE. Sus grandes reservas de potencial de energía renovable, su ubicación con costas en los océanos Atlántico y Pacífico, así como el comercio marítimo establecido con países clave, colocan a México en una posición única para capitalizar la transición de la industria marítima hacia el transporte marítimo con cero emisiones.

La inversión en energía renovable e infraestructura clave para los CECE tendría importantes beneficios para la economía y la sociedad del país, proporcionando seguridad energética, mejorando la calidad del aire y del agua, creando nuevas cadenas de suministro y participando en un nuevo mercado de exportación. Además, México tiene la oportunidad de apalancar sus objetivos de desarrollo sustentable al tiempo que se prepara para satisfacer las futuras demandas de la industria marítima.

Para aprovechar las oportunidades existentes y emergentes en el país, el gobierno mexicano y sus actores de la industria privada tendrán que tomar medidas específicas y determinante para garantizar que el país se mantenga en la delantera de la competencia. Está evidente el creciente impulso global hacia el transporte marítimo de emisiones cero, con nuevas alianzas, iniciativas, proyectos piloto y de demostración llevándose a cabo en todo el mundo. Las acciones descritas anteriormente y la información proporcionada a lo largo de este informe podrían ser apoyo para México en la descarbonización y en convertirse en un centro de abastecimiento y exportación de energía con cero emisiones de carbono.

«Estamos permanentemente comprometidos en la promoción de nuevas acciones para continuar ampliando las ambiciones climáticas de nuestros miembros y expandiendo nuestras vías de cooperación con todas las partes interesadas, a nivel local y en el extranjero, para la descarbonización y ecologización de nuestras industrias marítima y portuaria. También estamos entusiasmados con la posibilidad de seguir explorando nuevos combustibles escalables de cero emisiones para nuestros sectores industriales en los próximos años.»

– Eric Serratos (Cámara Mexicana de la Industria del Transporte Marítimo (CAMEINTRAM))





Referencias

- [1] IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- [2] IPCC (2018). Summary for Policymakers of Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, ... T. Waterfield, Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland.
- [3] IPCC (2018). Summary for Policymakers of IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C approved by governments — IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-forpolicymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>
- [4] Net Zero Tracker (2022). Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, NewClimate Institute, Oxford Net Zero. <https://www.zerotracker.net/>
- [5] IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf
- [6] UNCTAD (2019). Review of Maritime Transport 2018. United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland.
- [7] Walker et al. (2018). Environmental Effects of Marine Transportation. In World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts, 1st ed., 505–30. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00030-9>
- [8] Bloomberg L.P. (2022). Energy/Crude Oil & Natural Gas February 2022. <https://www.bloomberg.com/energy>
- [9] Faber et al. (2020). Fourth IMO GHG Study 2020. (MEPC 75/7/15). London, United Kingdom: International Maritime Organization.
- [10] International Maritime Organization (2018). Ship Emissions Toolkit. Guide No. 1: Rapid assessment of ship emissions in the national context. https://gmni.imo.org/wp-content/uploads/2018/10/ship_emissions_toolkit-g1-online.pdf

- [11] Suárez de la Fuente, S., Baresic, D., Smith, T. (2022, in press). Greenhouse Gases and a Low-Carbon Future. Chapter for Marine Engineering, 4th Edition, Society of Naval Architects and Marine Engineers, United States.
- [12] Parker, S., Shaw, A., Rojon, I., Smith, T. (2021). Harnessing the EU ETS to reduce international shipping emissions: assessing the effectiveness of the proposed policy inclusion of shipping in the EU ETS to reduce international shipping emissions. London, United Kingdom: Environmental Defense Fund Europe.
- [13] Smith, T., Baresic, D., Fahnestock, J., Galbraith, C., Velandia Perico, C., Rojon, I., Shaw, A. (2021). A Strategy for the Transition to Zero-Emission Shipping: An analysis of transition pathways, scenarios, and levers for change. Getting to Zero Coalition. <https://www.u-mas.co.uk/wp-content/uploads/2021/10/Transition-Strategy-Report.pdf>
- [14] Englert, D., Losos, A., Raucci, C., & Smith, T. (2021). The Potential of ZeroCarbon Bunker Fuels in Developing Countries. Washington DC: World Bank, Washington, DC.
- [15] Smith, T.W.P., O’Keeffe, E., Hauerhof, E., Raucci, C., Bell, M., Deyes, K., Fabre, J., and Hoen, M. (2019). Scenario Analysis: Take-up of Emissions Reduction Options and their Impacts on Emissions and Costs. London.
- [16] IRENA and AEA (2022). Innovation Outlook: Renewable Ammonia, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, Ammonia Energy Association, Brooklyn. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Innovation_Outlook_Ammonia_2022.pdf
- [17] IRENA (2021). A Pathway to Decarbonise the Shipping Sector By 2050. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_Decarbonising_Shipping_2021.pdf
- [18] World Bank Group (2021). The Potential of Zero-Carbon Bunker Fuels in Developing Countries. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35435>
- [19] Krantz, R., Sjøgaard, K., Smith, T. (2020). The scale of investment needed to decarbonize international shipping. The Getting to Zero Coalition Insight Series. Copenhagen, Denmark: Getting to Zero Coalition.
- [20] MAN Energy Solutions (2022). MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia. Copenhagen. https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf?sfvrsn=c4bb6fea_0
- [21] MAN Energy Solutions (2022). Unlocking Ammonia’s Potential for Shipping. <https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine>
- [22] Hydrogen Central (2022). MAN Engines: The First Dual Fuel Hydrogen Engines in Use on a Work Boat. <https://hydrogen-central.com/man-engines-first-dual-fuel-hydrogen-engines-work-boat/>
- [23] Lloyd’s Register & UMAS (2019). Zero-Emission Vessels: Transition Pathways. Low Carbon Pathways 2050 series, London.

- [24] World Port Source (2022). Mexico. <http://www.worldportsource.com/ports/index/MEX.php>
- [25] SEMARANT (2022). Embarcaciones de la flota mercante mexicana (Número). http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_TRANSPOR01_13&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*
- [26] UNCTAD Stat (2022). Maritime Profile: Mexico. United Nations Conference on Trade and Development. <https://unctadstat.unctad.org/countryprofile/maritimeprofile/en-gb/484/index.html>
- [27] SEMAR (2021). Informe Estadístico Mensual: Movimiento de Carga, Buques Y Pasajeros en los Puertos de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/698802/12_DICIEMBRE_2021.pdf
- [28] UNCTAD Stat (2021). Review of Maritime Transport 2021. United Nations Conference on Trade and Development. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf
- [29] SICT (2020). Principales Estadísticas del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes 2019. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Principales-Estadisticas/PESCT_2019.pdf
- [30] S&P Global (2022). Mexico container ports record highest volume ever in 2021. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/shipping/020422-mexico-container-ports-record-highest-volume-ever-in-2021>
- [31] Netherlands Ministry of Foreign Affairs (2019). Opportunities for Port Development and Maritime sector in Mexico. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/05/opportunities-for-port-development-and-maritime-sector-in-mexico.pdf>
- [32] SICT (2021). Estadística Básica del Autotransporte Federal 2020. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2019/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_del_Autotransporte_Federal_2020.pdf
- [33] Ministry of Economy (2022). Overview of the Mexican Economy. <https://embamex.sre.gob.mx/filipinas/index.php/negocios-y-comercio/overviewmexicaneconomy>
- [34] US International Trade Administration (2022). Mexico - Country Commercial Guide. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/mexico-transportation-infrastructure-equipment-and-services>
- [35] Observatory of Economic Complexity (2022). Mexico. <https://oec.world/en/profile/country/mex>
- [36] Carpenter-Lomax, O., Wilkinson, G. and Ash, N. (2021). Mexico: fuelling the future of shipping. <https://www.globalmaritimeforum.org/publications/mexico-fuelling-the-future-of-shipping>

- [37] SEMARNAT (2018). *Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Mexico City, Mexico: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Fondo para el Medio Ambiente Mundial y Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>
- [38] INECC, CCAC & PNUD (2019). *Estrategias integradas en contaminantes climáticos de vida corta para mejorar la calidad del aire y reducir el impacto al cambio climático*. Mexico City, Mexico: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Coalición de Clima y Aire Limpio, y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [39] Climate Watch (2022). *Global Historical Emissions*. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=percentage&end_year=2018®ions=WORLD&start_year=1990
- [40] INECC (2021). Inventario Nacional de Emisiones de Gases Y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/665743/112_INEGyCEI_1990-2019_IPCC_2006_IIN.xlsx
- [41] Davies et al. (2006). Mobile Combustion. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy, 1st ed. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 3.1-3.78.
- [42] Flanders Marine Institute (2019). Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 11. <https://doi.org/10.14284/386>
- [43] Commission for Environmental Cooperation (CEC) (2018). Reducing Emissions from Goods Movement via Maritime Transportation in North America: Evaluation of the Impacts of Ship Emissions over Mexico. Montreal.
- [44] Bond et al. (2013). *Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(11), 5380–5552. <https://doi.org/10.1002/JGRD.50171>
- [45] INECC, 2018. *Sistema de Gestión de Calidad correspondiente al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Mexico City.
- [46] Secretaría de Energía (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. Mexico City.
- [47] Scarbrough, T., Tsagatakis, I., Smith, K., Wakeling, D., Smith, T., O’Keeffe, E., and Hauerhoff, E. (2017). *A review of the NAEI shipping emission methodology*. London.
- [48] Ferrer et al. (2021). *Mexican Small-Scale Fisheries Reveal New Insights into Low-Carbon Seafood and “Climate-Friendly” Fisheries Management*, Fisheries. John Wiley & Sons, Ltd, 46(6), pp. 277–287. doi:10.1002/FSH.10597.
- [49] Alder et al. (2018) (editors). *The state of the world fisheries and aquaculture (SOFIA) 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Secretariat, Rome.

- [50] Fuentes García, G., Sosa Echeverría, R., Baldasano Recio, J.M., W. Kahl, J.D., Granados Hernández, E., Alarcón Jiménez, A.L., and Antonio Durán, R.E. (2021). Atmospheric Emissions in Ports Due to Maritime Traffic in Mexico. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1186. <https://doi.org/10.3390/jmse9111186>
- [51] CCA (2018). *Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte: Evaluación de los efectos de las emisiones de buques en México*. Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- [52] Consultoría en Ingeniería de Proyectos (2013). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Colima 2005 y Cálculo de Incertidumbre*. Mexico City.
- [53] ICLEI, Embajada Británica, INE, SEMARNAT, Ayuntamiento de Cozumel and GIZ (2013). *Plan de Acción Climática de Cozumel*. Cozumel.
- [54] SENER and the World Bank (n.d). *Evaluación Rápida del Uso de la Energía: Cozumel, Quintana Roo, México*. Washington DC.
- [55] Biggeri, A., Barbone, F., Lagazio, C., Bovenzi, M., & Stanta, G. (1996). *Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy: Spatial analysis of risk as a function of distance from sources*. *Environmental Health Perspectives*, 104(7), 750–754. <https://doi.org/10.1289/EHP.96104750>
- [56] SEDATU (2021). *Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial: Versión ejecutiva*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/632549/ENOT._versio_n_ejecutiva._26.2.21-Abr_.pdf
- [57] ICS (2022). *Fuelling the Fourth Propulsion Revolution: An Opportunity for All*. https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2022/05/Fuelling-the-Fourth-Propulsion-Revolution_Full-Report.pdf
- [58] Quadrant Smart (2022). *Is ScottishPower Scaling up Green Hydrogen?* <https://quadrant-smart.com/scaling-up-green-hydrogen-with-scottishpower/>
- [59] IEA (2022). *Country Profile: Mexico*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/countries/mexico>
- [60] SENER (2022). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036*. <https://energiaadebate.com/wp-content/uploads/2022/05/PRODESEN-2022-2036.pdf>
- [61] Secretaría de Energía (2021). *“Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional,” Mexico*.
- [62] IMCO. (2022). *PRODESEN refleja una falta de compromiso del Estado Mexicano con el medio ambiente*. <https://imco.org.mx/prodesen-refleja-una-falta-de-compromiso-del-estado-mexicano-con-el-medio-ambiente/>
- [63] IRENA, World Economic Forum and Accenture (2022). *Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2021/Nov/Enabling_Measures_Roadmap_for_Green_H2_Jan22_Vf.pdf?la=en&hash=C7E5B7C0D63A0A68C704A019CE81D1B6AA5FBD75

- [64] IRENA (2022). Hydrogen Economy Hints at New Global Power Dynamics. <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jan/HydrogenEconomy-Hints-at-New-Global-Power-Dynamics>
- [65] Asociación Mexicana de Hidrógeno (2022). Hidrógeno Verde: El vector energético para decarbonizar la economía de México. Mexico City.
- [66] Green Hydrogen Organization (2021). Green Hydrogen Organization to Develop Green Energy Standard. <https://gh2.org/publication/green-hydrogen-organisation-develop-green-energy-standard>
- [67] Office of the United States Trade Representative (2020). Agreement between the United States of America, the United Mexican States, and Canada 7/1/20 Text. <https://ustr.gov/trade-agreements/free-trade-agreements/united-states-mexico-canada-agreement/agreement-between>
- [68] Energiahoy (2022). México y Canadá cierran acuerdo en favor del hidrógeno verde. <https://energiahoy.com/2022/02/11/mexico-y-canada-cierran-acuerdo-en-favor-del-hidrogeno-verde/>
- [69] INECC (2016). *Vulnerabilidad al cambio climático actual*. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-actual>
- [70] Inman, P. (2022). Oil prices fall after US ponders record-breaking release of crude reserves. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/business/2022/mar/31/oil-prices-fall-us-ponders-release-crude-reserves>
- [71] Clemente, J. (2019). 7 Oil & Gas Problems That Mexico Must Solve. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/judeclemente/2019/04/21/7-oil-gas-problems-that-mexico-must-solve/>
- [72] Kassai, L. (2021). Mexico's Power Plants Burning Fuel So Dirty Ships Can't Use It. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-14/mexican-power-plants-boost-dirty-fuel-oil-use-shun-natural-gas?sref=0z9Q30ZU#xj4y7vzkg>
- [73] Sheridan, M. B. (2020). López Obrador wanted to make Pemex Mexico's economic engine. Now it's Pemex that needs help. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/world/the_americas/lopez-obrador-wanted-to-make-pemex-mexicos-economic-engine-now-its-pemex-that-needs-help/2020/04/27/8d79fb00-85e0-11ea-81a3-9690c9881111_story.html
- [74] Velázquez Yáñez (2019). Las cuatro etapas discursivas que dan cuenta de una evolución en la ideología oficial respecto al tema energético en México. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 64(237), 409–422. <https://doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2019.237.65435>
- [75] ionczek, M.S. (1965). The State and the Electric-Power Industry in Mexico, 1895–1965. *Business History Review*, 39(4), 527–556. <https://doi.org/10.2307/3112602>
- [76] Carbon Brief (2021). *The Carbon Brief Profile: Mexico*. <https://www.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-mexico/>

- [77] DOF (2012). *Decreto por el que se expide la Ley General de Cambio Climático*. Ciudad de México, México: Presidencia de la República. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgcc/LGCC_orig_06jun12.pdf
- [78] Averchenkova, A., & Guzman Luna, S. (2018). *Mexico's General Law on Climate Change: Key achievements and challenges ahead*. London, United Kingdom: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science.
- [79] DOF (2015). *Decreto por el que se expide la Ley Transición Energética*. Ciudad de México, México: Presidencia de la República. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- [80] DOF (2013). *Acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- [81] SEMARNAT (2021). *Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024*. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/programa-especial-de-cambio-climatico-2021-2024>
- [82] LSE (2022). *Energy Reform Package*. <https://climate-laws.org/geographies/mexico/laws/energy-reform-package>
- [83] DOF (2020). *Acuerdo por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética*. Ciudad de México, México: Secretaría de Energía. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020#gsc.tab=0
- [84] DOF (2018). *Disposiciones Administrativas de carácter general que establecen los Lineamientos para la prevención y el control integral de las emisiones de metano del Sector Hidrocarburos*. Ciudad de México, México: Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5543033&fecha=06/11/2018#gsc.tab=0
- [85] CCAC (2020). Mexico launches National Strategy to Reduce Short-Lived Climate Pollutants for climate change, air quality and human health. Climate & Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/en/news/mexico-launches-national-strategy-reduce-short-lived-climate-pollutants-climate-change-air>
- [86] Gaceta Parlamentaria (2021). *Iniciativa del Ejecutivo federal con proyecto de decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley de la Industria Eléctrica*. Ciudad de México, México: Camara de Diputados LXIV Legislatura. <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/64/2021/feb/20210201-I.pdf>
- [87] Jorgic, D. & Graham, D. (2022). Mexican president's contentious electricity overhaul defeated in Congress. *Reuters*. <https://www.reuters.com/world/americas/mexican-lawmakers-vote-presidents-contentious-electricity-overhaul-2022-04-17/>
- [88] Garcia Sarubi, D. (2022). La (no) decisión de la Suprema Corte ante la Ley de la Industria Eléctrica. *Nexos*. <https://eljuegodelacorte.nexos.com.mx/la-no-decision-de-la-suprema-corte-ante-la-ley-de-la-industria-electrica/>

- [89] IRENA (2021). *Energy Profile Mexico*. Masdar City, United Arab Emirates: International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/North%20America/Mexico_North%20America_RE_SP.pdf
- [90] Gobierno de México (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional. Actualización 2020*. Mexico City, Mexico: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC-Esp-30Dic.pdf>
- [91] Méndez, V. (2021). El Estado mexicano y la falta de ambición de sus compromisos climáticos. *Animal Politico*. <https://www.animalpolitico.com/blog- invitado/el-estado-mexicano-y-la-falta-de-ambicion-de-sus-compromisos-climaticos/>
- [92] Climate Action Tracker (2020). *CAT Climate Target Update Tracker: Mexico*. <https://climateactiontracker.org/climate-target-update-tracker/mexico/>
- [93] Guzmán, S. (2022). La primavera más silenciosa. *El Sol de Mexico*. <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/la-primavera-mas-silenciosa-8014011.html>
- [94] Greenpeace (2021). NDC de México deben ser más ambiciosos y progresivos. <https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/49232/ndc-de-mexico-deben-ser-mas-ambiciosos-y-progresivos/>
- [95] Sabin Center for Climate Change (2022). *Greenpeace v. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático and Others*. <http://climatecasechart.com/non-us-case/greenpeace-v-instituto-nacional-de-ecologia-y-cambio-climatico-and-others/>
- [96] SEMARNAT (2021). *Culmina la participación de la delegación mexicana en la COP26*. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/culmina-la-participacion-de-la-delegacion-mexicana-en-la-cop26-288173?idiom=es>
- [97] SRE (2021). *Mexico welcomes the plans of US and France to join the High-Level Panel for a Sustainable Ocean Economy*. <https://www.gob.mx/sre/prensa/mexico-welcomes-the-plans-of-us-and-france-to-join-the-high-level-panel-for-a-sustainable-ocean-economy?idiom=en>
- [98] WRI (2013). *Government of Mexico introduces Latin America's first-ever fuel-efficiency standard for light duty vehicles*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/outcomes/government-mexico-introduces-latin-americas-first-ever-fuel-efficiency-standard-light-duty>
- [99] Stavins, R.N. (2010). *Why Cancun Trumped Copenhagen: Warmer Relations on Rising Temperatures*. <https://www.belfercenter.org/publication/why-cancun-trumped-copenhagen-warmer-relations-rising-temperatures>
- [100] WRI (2019). *Choosing the Right Path: Low-Cost Policy Options for Enhancing Mexico's Climate Goals While Achieving Long-Term Social Benefits*. World Resources Institute. <https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/choosing-right-path.pdf>

- [101] Murray, C. (2022). Mexican president's radical energy reform defeated in congress. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/728da54c-d2c5-43ee-9943-c3e22bb43bb0>
- [102] DOF (2020). DECRETO por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos y de la Ley de Puertos. DOF: 07/12/2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5606867&fecha=07/12/2020#gsc.tab=0
- [103] DOF (2018). *Acuerdo mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México*. Ciudad de México, México: Secretaría de Marina. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545511&fecha=30/11/2018#gsc.tab=0
- [104] SEMARNAT (2016). México entregó a la ONU la ratificación del Acuerdo de París. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-entrego-a-la-onu-la-ratificacion-del-acuerdo-de-paris>
- [105] DOF (2018). *Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General de Cambio Climático*. Ciudad de México, México: Presidencia de la República. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5531463&fecha=13/07/2018#gsc.tab=0
- [106] IMO (2018). *Resolution MEPC.302(72), Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. (MEPC 72/17/Add.1). London, United Kingdom: International Maritime Organisation. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf
- [107] Global Maritime Forum (2021). *Call to action for shipping decarbonization*. <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition/call-to-action>
- [108] Baresic, D., Rojon, I., Shaw, A., Rehmatulla, N. (2022). *Closing the Gap: An Overview of the Policy Options to Close the Competitiveness Gap and Enable an Equitable Zero-Emission Fuel Transition in Shipping*. London, United Kingdom: University Maritime Advisory Services. https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/12/Closing-the-Gap_Getting-to-Zero-Coalition-report.pdf
- [109] World Bank (2022). *Carbon Revenues From International Shipping : Enabling an Effective and Equitable Energy Transition*. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/37240/80501-DMT-Technical_c11.pdf
- [110] IMO (2021). *ISWG-GHG 10/5, Market-based measures to decarbonize international maritime transport: carbon revenue use, governance and management submitted by the World Bank*. (ISWG-GHG 10/5). London, United Kingdom: International Maritime Organisation.
- [111] IMO (2022). *ISWG-GHG 12/3/6, Enabling an equitable transition submitted by the Marshall Islands, Solomon Islands and Tuvalu*. (ISWG-GHG 12/3/6). London, United Kingdom: International Maritime Organisation.
- [112] Delasalle, F., Graham, A., Pandey, A. & Randle, C. (2020). *The First Wave. A Blueprint for Commercial-Scale Zero-Emission Shipping Pilots. A Special Report by the Energy Transitions Commission for the Getting to Zero Coalition*. London, United Kingdom: Energy Transitions Commission. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2020/11/The-First-Wave-%E2%80%93-A-blueprint-for-commercial-scale-zero-emission-shipping-pilots.pdf>

- [113] Gryspeerdt, E., Smith, T.W.P., O’Keeffe, E., Christensen, M.W., and Goldsworth, F.W. (2019). The Impact of Ship Emission Controls Recorded by Cloud Properties. *Geophys Res Lett.* 16;46(21):12547–55.
- [114] Contini D, Merico E. (2021). Recent Advances in Studying Air Quality and Health Effects of Shipping Emissions. *Atmos 2021, Vol 12, Page 92.* 9;12(1):92.
- [115] Chambers S. (2021). LA City Council adopts world-first resolution calling for zero emission shipping at America’s top two ports by 2030. *Ports and Logistics.* Splash247. <https://splash247.com/la-city-council-adopts-world-first-resolution-calling-for-zero-emission-shipping-at-americas-top-two-ports-by-2030/>
- [116] ShipitZero (2021). Our Demands. How we are. <https://shipitzero.org/our-demands/>
- [117] C40 Cities, 2022. Port of Los Angeles, Port of Shanghai, and C40 Cities announce partnership to create world’s first transpacific green shipping corridor between ports in the United States and China. Press Release. <https://www.c40.org/news/la-shanghai-green-shipping-corridor/>
- [118] OECD (2011). Environmental Impacts of International Shipping: The Role of Ports. <https://doi.org/10.1787/9789264097339-en>
- [119] DNV GL (2020). Ports: Green gateways to Europe 10. Transitions to turn ports into decarbonization hubs. https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/PORTS_GREEN_GATEWAYS_TO_EUROPE_FINAL29JUNE.pdf
- [120] Lloyd’s List (2019). 56 Manzanillo [Mexico]. <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1128124/56-Manzanillo-Mexico>
- [121] API Manzanillo (2022). Ubicación y Zona de Influencia. <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020202/ubicacion-y-zona-de-influencia.html>
- [122] Morley, H.R. (2019). Manzanillo terminal upgrades on tap for 2020. https://www.joc.com/port-news/international-ports/manzanillo-terminal-upgrades-tap-2020_20190905.html
- [123] API Manzanillo (2022). Infraestructura Portuaria. <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/2110566/infraestructura-portuaria.html>
- [124] ArcelorMittal (2022). ArcelorMittal Mexico. <https://northamerica.arcelormittal.com/our-operations/arcelormittal-mexico>
- [125] MiningDataOnline (2022). Pena Colorada Mine. <https://miningdataonline.com/property/1026/Pena-Colorada-Mine.aspx>
- [126] World Port Source (2022). Puerto de Manzanillo. http://www.worldportsource.com/ports/commerce/MEX_Puerto_de_Manzanillo_234.php
- [127] GIZ (2021). Green Hydrogen in Mexico: towards a decarbonization of the economy. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. Bonn. https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hydrogen_EP_volume_VII.pdf

- [128] Global Maritime Forum (2022). Maritime industry joins forces with leading global miners in support of Australia-East Asia iron ore Green Corridor. <https://www.globalmaritimeforum.org/press/maritime-industry-joins-forces-with-leadingglobal-miners-in-support-of-australia-east-asia-iron-ore-green-corridor-2/>
- [129] SICT (2016). Desarrollo Portuario Sustentable. <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/Fomento-y-Administracion-Portuaria/Desarrollo-Portuario-Sustentable/>
- [130] IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4719e321-6d3d-41a2-bd6b-461ad2f850a8/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf>
- [131] Lloyd's Register (2021). How ports can be the catalyst for shipping's zerocarbon transition. <https://www.lr.org/en/insights/articles/how-ports-can-be-the-catalyst-for-shippings-zero-carbon-transition/>
- [132] Smith, T., Shaw, A., and Fahnestock, J. (2021). Transition Perspective: The Role of the Energy Sector in Shipping's Fuel Transition. <https://www.globalmaritimeforum.org/news/transition-perspective-the-role-of-the-energy-sector-in-shippings-fuel-transition>
- [133] Government of Canada (2020). Hydrogen Strategy for Canada: Seizing the Opportunities for Hydrogen - A Call to Action. https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf
- [134] Zarco, J. (2020). Planta fotovoltaica Delicias Solar (Hidrógeno Verde). PV Magazine Mexico. <https://www.pv-magazine-mexico.com/2020/09/15/planta-fotovoltaica-delicias-solar-hidrogeno-verde/>
- [135] The Energy Year (2022). Mexico's hydrogen roadmap. <https://theenergyyear.com/articles/mexicos-hydrogen-roadmap/>
- [136] DH2 Energy (2022). Projects and Partners. <https://www.dh2energy.com/projects-and-partners>
- [137] DH2 Energy (2022). Direct conversation between DH2 Energy and the P4G-GtZ Coalition Partnership project. Madrid.
- [138] Tecma (2021). The ten largest companies that are manufacturing in San Luis Potosí. <https://www.tecma.com/manufacturing-in-san-luis-potosi/>
- [139] Gobierno del Estado de Guanajuato (2022). Business Environment: Automotive. <https://investin.guanajuato.gob.mx/automotive/>
- [140] Co-production International (2021). Mexico Manufacturing News & Blog. <https://www.co-production.net/mexico-manufacturing-news/production-plant-location-strategy.html>
- [141] ICMM (2021). Our commitment to a goal of net zero by 2050 or sooner. International Council on Mining and Metals. <https://www.icmm.com/en-gb/our-work/environmental-resilience/climate-change/net-zero-commitment>

- [142] ICMC (2022). Our members. International Council on Mining and Metals. <https://www.icmm.com/en-gb/our-story/our-members>
- [143] Servicio Geológico Mexicano (2020). Panorama Minero del Estado de Baja California. Mexico City. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/691269/Anuario_2020_Edicion_2021.pdf
- [144] Servicio Geológico Mexicano (2021). Panorama Minero del Estado de San Luis Potosí. http://www.sgm.gob.mx/pdfs/SAN_LUIS_POTOSI.pdf
- [145] IEA (2021). Hydrogen in Latin America: From near-term opportunities to large-scale deployment. https://iea.blob.core.windows.net/assets/65d4d887-c04d-4a1b-8d4c-2bec908a1737/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport.pdf
- [146] Canacero (2021). Radiografía de la Industria del Acero en México. Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero. https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/Radiografia_de_la_Industria_del_Acero_en_Mexico_2021.pdf
- [147] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). PIB estatal. Baja California. Economía. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/economia/pib.aspx?tema=me&e=02>
- [148] Coordinación General De Puertos Y Marina Mercante (2021). Informe Estadístico Mensual - Enero-Febrero 2021. Mexico City.
- [149] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (n.d.). Baja California. Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. http://www.snim.rami.gob.mx/enciclopedia_v2/PruebaPropuesta.php?id=2&tipo=e
- [150] Muñoz Andrade, D., Sweedler, A., Martin, J. M., Prieto, A., Rounds, K. and Gruenwald, T. (2020). *Baja California: Energy Outlook 2020-2025*. La Jolla.
- [151] Hiriart Le Bert G. (2009). Potencial energético del Alto Golfo de California. *Boletín la Soc Geológica Mex.*;61(1):143–6.
- [152] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre Valle de los Cirios. *Diario Oficial, Cuarta Sección Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*; Apr 2, 2013 p. 80.
- [153] Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo83191.html>
- [154] Orkney Islands Council (n.d.). H2 in Orkney – The Hydrogen Islands. <https://www.orkney.gov.uk/Service-Directory/Renewable/h2-in-orkney-the-hydrogen-islands.htm>
- [155] IRENA (2019). Hydrogen: A Renewable Energy Perspective. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf
- [156] Tecma (2014). Tecma views Baja California economic growth as a good bet. <https://www.tecma.com/baja-california-economic-growth/>

- [157] Centro Nacional de Control de Energía (2019). *Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2019 - 2033*. Mexico City.
- [158] Centro Nacional de Control de Energía (2021). *Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2021 - 2035*. Mexico City.
- [159] Comisión Federal de Electricidad (2022). ¿Qué es el Hidrógeno Verde? <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2494>
- [160] Juárez, U. (2022). En 2023 arrancará CFE primera producción de Hidrógeno Verde. Entrevista. *Energía Debate*. <https://energiaadebate.com/en-2023-arrancara-cfe-primera-produccion-de-hidrogeno-verde/>
- [161] Hernández, E. (2021). Gobierno de AMLO invierte 9,641 mdp en la construcción de parque solar en Puerto Peñasco. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/negocios-gobierno-de-amlo-invierte-9641-mdp-en-la-construccion-de-parque-solar-en-puerto-penasco/>
- [162] Cervantes, P.T. (2022). CFE le entra al hidrógeno verde; alista proyecto para depender menos del gas natural. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/negocios-cfe-le-entra-al-hidrogeno-verde-alista-proyecto-para-depender-menos-del-gas-natural/>
- [163] Solís, A. (2022). Exclusiva: Planta de hidrógeno verde de CFE iniciará operaciones en 2023. *Bloomberg Línea*. <https://www.bloomberglinea.com/2022/01/31/exclusiva-planta-de-hidrogeno-verde-de-cfe-iniciara-operaciones-en-2023/>
- [164] The Carbon Trust (2021). Briefing: What are Scope 3 Emissions? <https://www.carbontrust.com/resources/briefing-what-are-scope-3-emissions>
- [165] DataMexico (2021). Baja California. <https://datamexico.org/es/profile/geo/baja-california-bc>
- [166] Asipona Ensenada (2015). Hinterland y Foreland. Acerca del Puerto. <https://www.puertoensenada.com.mx/esps/0000143/hinterland-y-foreland>
- [167] Fox Quesada V. (2005). DECRETO para el Puerto de Bahía Colonet. Diario Oficial de la Federación Mexico City: Presidencia de la República.
- [168] La Voz de la Frontera (2020). Alistan megaobra de Punta Colonet. Local.
- [169] Rosales Contreras RA (2021). Baja California lidera en captación de inversión extranjera. *El Economista*.
- [170] Global Maritime Forum and Fürstenberg Maritime Advisory (2021). NoGAPS: Nordic Green Ammonia Powered Ship. https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/06/The-Nordic-Green-Ammonia-Powered-Ship-_Project-Report.pdf
- [171] Raucci, C., Bonello, J.M., Suarez de la Fuente, S., Smith, T. & Sogaard, K., 2020. Aggregate investment for the decarbonisation of the shipping industry. UMAS. London.
- [172] World Bank Group (2022). Data for Mexico. <https://data.worldbank.org/?locations=MX-XT>

- [173] IDB (2022). Inter-American Development Bank. Homepage. <https://www.iadb.org/en>
- [174] World Bank Group (2022). Homepage. <https://www.worldbank.org/en/home>
- [175] CAF (2022). Development Bank of Latin America. Homepage <https://www.caf.com/en/>
- [176] EIB (2022). European Investment Bank. Homepage. www.eib.org/en
- [177] IDB Invest (2022). Inter-American Development Bank Invest. Homepage. <https://idbinvest.org/en>
- [178] IDB lab (2022). Inter-American Development Bank Lab. Homepage. <https://bidlab.org/en>
- [179] World Bank Group (2022). International Bank for Reconstruction and Development <https://www.worldbank.org/en/who-we-are/ibrd>
- [180] IDA (2022). International Development Association. <https://ida.worldbank.org/en/id>
- [181] IFC (2022). International Finance Corporation. Homepage. <https://www.ifc.org/>
- [182] PPIAF (2022). Public-Private Infrastructure Advisory Facility. About us. <https://ppiaf.org/>
- [183] ClimateWorks (2022). Homepage. <https://www.climateworks.org/>
- [184] CIF (2022). Climate Investment Funds. Homepage. <https://www.climateinvestmentfunds.org/>
- [185] USAID (2022). Mexico. <https://www.usaid.gov/mexico>
- [186] GMEP (2022). The German Mexico Energy Partnership. Homepage. <https://www.energypartnership.mx/home/>
- [187] UKMCP (2022). UK Mexico Climate Partnership. Notice. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-mexico-climate-partnership/uk-mexico-climate-partnership>
- [188] European Commission (2022). International Issues. Bilateral and regional cooperation. Mexico. https://ec.europa.eu/environment/international_issues/relations_mexico_en.htm
- [189] NADBANK (2022). North American Development Bank. Homepage. <https://www.nadb.org/>
- [190] Mexico Projects Hub (2022). Mexico Projects Hub. How to Invest? <https://www.proyectosmexico.gob.mx/en/how-mexican-infrastructure/financing/>
- [191] CFE Capital (2022). FIBRA E. <https://cfecapital.com.mx/en/cfe-fibra-e/>

- [192] Acosta Márquez, T. and De La Fuente Lozada, B. (2019). Trazabilidad y comunidades portuarias en México: diagnóstico sobre la eficiencia, calidad y desempeño de las comunidades portuarias. <http://repositorio.uninav.edu.mx/xmlui/handle/123456789/505>
- [193] Valdés Cerda, R.E. and De La Fuente Lozada, B. (2018). Análisis funcional de la Administración Portuaria Integral del puerto de Veracruz como elemento componente del Sistema Portuario Nacional. https://cesnav.uninav.edu.mx/cesnav/ININVESTAM/docs/docs_analisis/da_41-18.pdf
- [194] Port of Antwerp, Bruges (n.d.). Hydrogen-powered tug is world first for Port of Antwerp. <https://newsroom.portofantwerpbruges.com/hydrogen-powered-tug-is-world-first-for-port-of-antwerp>
- [195] IEA (2021). Global Hydrogen Review 2021. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf>
- [196] Chambers, S. (2021). Koreans target hydrogen standards. Splash247. <https://splash247.com/koreans-target-hydrogen-standards/>
- [197] Kingdom of Denmark (2021). Declaration on Zero Emission Shipping by 2050. UN Climate Change Conference 2021 (COP26) – Glasgow – 1 November 2021. <https://em.dk/media/14312/declaration-on-zero-emission-shipping-by-2050-cop26-glasgow-1-november-2021.pdf>
- [198] Ministry of Energy in Chile & Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (2022). Chilean Ministries of Energy, Transport and Telecommunications, and Foreign Affairs, together with the Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping launch joint project to establish green shipping corridors in Chile. https://cms.zerocarbonshipping.com/media/uploads/documents/Chilean-Green-Corridors-Network_2022.04.13.pdf
- [199] Energía Estratégica (2021). Asociación Mexicana prevé inversiones por mil USD 350 millones en proyectos de Hidrógeno Verde. <https://www.energiaestrategica.com/asociacion-mexicana-preve-inversiones-por-mil-usd-350-millones-en-proyectos-de-hidrogeno-verde/>
- [200] IRENA (2015). Renewable Energy Policy Brief: Mexico. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Latin_America_Policies/IRENA_RE_Latin_America_Policies_2015_Country_Mexico.pdf
- [201] JCM (2022). JCM: About the Mechanism. Japan-Mexico Joint Crediting Mechanism. <https://www.jcm.go.jp/mx-jp/about>
- [202] IDB Invest (2021). IDB Invest Issues First Blue Bond in Latin America and the Caribbean. Inter-American Investment Corporation. <https://www.idbinvest.org/en/news-media/idb-invest-issues-first-blue-bond-latin-america-and-caribbean>
- [203] Getting to Zero Coalition (2021). Report on Climate Commitments by Signatories to the Call to Action for Shipping Decarbonization. December 2021, Third Edition. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/09/Report-on-Climate-Commitments-by-Signatories-to-the-Call-to-Action-forShipping-Decarbonization.pdf>

- [204] Department of Science and Innovation, Anglo American Platinum, Bambili Energy, and ENGIE (2021). South Africa Hydrogen Valley Final Report. https://www.dst.gov.za/images/2021/Hydrogen_Valley_Feasibility_Study_Report_Final_Version.pdf
- [205] UNEP (2021). Innovation is key to decarbonizing the maritime sector. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/news-and-stories/speech/innovation-key-decarbonizing-maritime-sector>
- [206] Smart Freight Center (2021). Smart Freight Centre partners with World Economic Forum and leading companies to develop a book and claim chain of custody system for transportation supply chain emission reduction actions. <https://www.smartfreightcentre.org/en/news/smart-freight-centre-partners-with-world-economic-forum-and-leading-companies-to-develop-a-book-and-claim-chain-of-custody-system-for-transportation-supply-chain-emission-reduction-actions/64701/>
- [207] C40 (2018). Clean Energy Business Model Manual. https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Clean-Energy-Business-Model-Manual?language=en_US
- [208] IHS Markit (2018). *IHS Markit*.
- [209] Global Fishing Watch (2018). *Global Fishing Watch*. Sustainable Ocean Management. <https://globalfishingwatch.org/map-and-data/>
- [210] Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., et al., (2014). *Third IMO GHG Study 2014*. London.
- [211] EMSA (2018). *EU MRV*. <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/eumrv>
- [212] EMEP/CORINAIR (2005). *Emission Inventory Guidebook – 2005*. Copenhagen.
- [213] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. Mexico City.
- [214] Lloyd’s Register (1995). *Marine exhaust emissions research programme*. Croydon.
- [215] Woodyard, D. (2009). *Pounder’s Marine Diesel Engines and Gas Turbines (9th ed.)*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [216] Yoo, D. H., Nitta, Y., Ikame, M., Hayashi, M., Fujita, H., & Lim, J. K. (2012). *Exhaust characteristics of Nitrous oxide from marine engine*. Program Book - OCEANS 2012 MTS/IEEE Yeosu: The Living Ocean and Coast - Diversity of Resources and Sustainable Activities.

Anexo I

MODELO GEOESPACIAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO: Información técnica

Este anexo presenta información complementaria al capítulo 3 sobre la actividad del transporte marítimo de México y sus emisiones. Proporciona una visión más detallada de la metodología empleada en este informe para generar el Modelo Geoespacial de Transporte Marítimo (SGM) de México, incluyendo los supuestos y limitaciones del enfoque.

Está estructurado en tres secciones:

1. Modelo Geoespacial del Transporte Marítimo de México
2. Inventario Nacional de GEI de México
3. Comparación del SGM de este informe y el Inventario Nacional de GEI de México



Modelo geoespacial del transporte marítimo

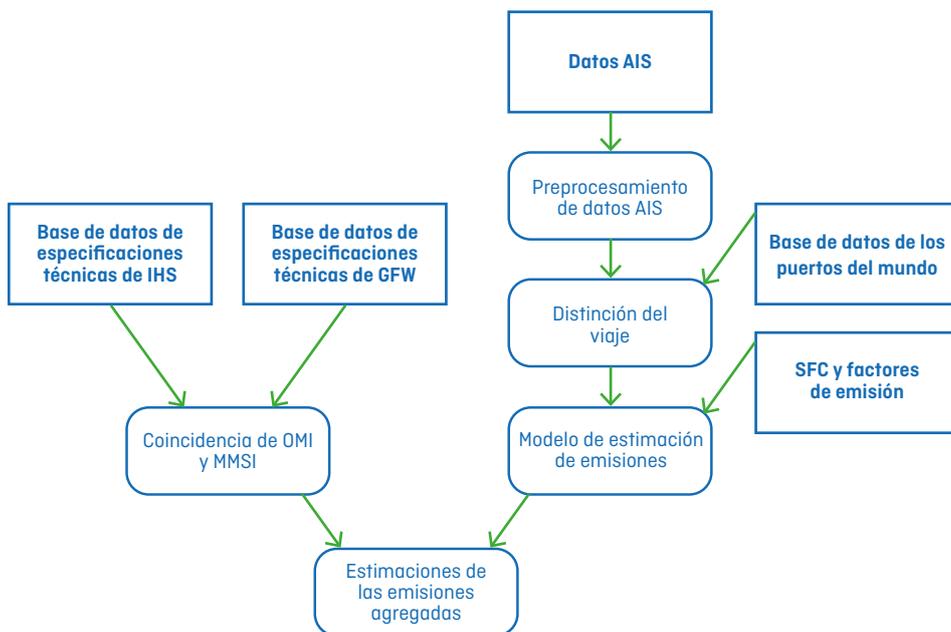
Este informe proporciona una estimación de las emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos procedentes del transporte marítimo en México utilizando un enfoque basado en la actividad.

Los GEI para México se estimaron a partir de una metodología de dos pasos que permite la agregación de datos a diferentes niveles. El primer paso se basa en la metodología del Cuarto Estudio de GEI de la OMI, que se centra en la actividad marítima en México. El segundo convierte los resultados del primer paso en viajes discretos y su localización geográfica gracias a los datos granulares del Sistema de Identificación Automática (AIS) del buque. En este caso, los datos del AIS utilizados se refieren a los registros horarios del buque para toda la flota mundial en operación en 2018. El último paso pretende ofrecer un reflejo justo y representativo de las emisiones asociadas a la actividad económica marítima de México.

Etapa I: Construcción a partir del cuarto estudio de la omi sobre los gases de efecto invernadero

El Cuarto Estudio de la OMI sobre los GEI [8] ofrece un inventario de las emisiones de GEI del transporte marítimo internacional entre 2012 y 2018. Si bien el estudio proporciona dos enfoques diferentes (es decir, descendente y ascendente) para estimar las emisiones del transporte marítimo, este informe utilizó el enfoque ascendente, también conocido como basado en la actividad (presentado en la Figura 18).

Figura 18: Diagrama de flujo que representa la metodología del Cuarto Estudio de GEI de la OMI con el conjunto de datos utilizado.



En el enfoque ascendente, la información operativa captada por los datos del AIS se coteja con la información técnica estática contenida en las bases de datos del Servicio de Manejo de la Información (IHS) y de la Vigilancia Pesquera Global (GFW) de Markit [208][209]. Las especificaciones de diseño contenidas en los conjuntos de datos se utilizan para calcular el consumo de combustible y los factores de emisión por hora y por barco. En consonancia con las Directrices del IPCC de 2006 *para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Directrices del IPCC de 2006), el Cuarto Estudio de la OMI sobre los GEI se basa en la metodología presentada en el Tercer Estudio de la OMI sobre los GEI [210] para incorporar la identificación de las escalas en los puertos a partir de las cuales se puede hacer una asignación de viajes discretos, y una distinción entre el transporte marítimo internacional y el nacional.

La gran ventaja de utilizar la metodología de la OMI es que contiene las últimas investigaciones sobre los GEI y la contaminación atmosférica para el transporte marítimo nacional e internacional de más de 100 toneladas brutas [8]. Incluye los detalles técnicos recientes, combustibles y factores de emisión que permiten estimar los GEI y la contaminación atmosférica del sector marítimo del país.

Coincidencia de IHS, IMO y MMSI

Los datos del AIS sin procesar de fuentes terrestres y satelitales se obtuvieron del proveedor exactEarth y los datos individuales de los buques se tomaron del conjunto de datos del IHS [208]. Los conjuntos de datos se combinaron basándose en el número de identificación de la OMI y la identidad del servicio móvil marítimo (MMSI) de cada buque. El remuestreo de los datos en intervalos de tiempo de una hora permite la extrapolación de los datos de actividad para todo el año. Este paso garantiza que el aumento de la cobertura y del número de puntos de datos AIS generados año tras año no suponga un crecimiento artificial de las emisiones estimadas. El paso de remuestreo también sirve para eliminar o corregir los puntos de datos no válidos y espurios, a la vez que se evalúa la calidad de los conjuntos de datos AIS para cada número de la OMI en el proceso.

Siguiendo la metodología del Cuarto Estudio de la OMI sobre los GEI, este informe ha tenido en cuenta 19 tipos de buques diferentes -70 si se tienen en cuenta los tamaños de los buques; 13 sistemas de propulsión diferentes con tres generaciones distintas -en función del año de construcción del buque; motores auxiliares y calderas; cuatro combustibles fósiles³⁵; 10 contaminantes diferentes de GEI y del aire y dos emisiones fugitivas (es decir, refrigerantes y compuestos orgánicos volátiles no metánicos).

Preprocesamiento de datos del AIS

La interpolación lineal se aplica a las coordenadas GPS del buque para tener en cuenta la curvatura esférica de la Tierra y la aplicación precisa de los factores de emisión dependientes de la ubicación, como las áreas de control de emisiones (ECA). El método de interpolación lineal puede generar anomalías y se sabe que su número se correlaciona con el número de horas contiguas en las que no se observaron datos GPS. Sin embargo, se comprobó que las anomalías disminuyeron sustancialmente a lo largo de los años del estudio como resultado del aumento de la cobertura del AIS. Cada hora en la que existe un informe de actividad se asigna como fase portuaria (operando a menos de tres nudos y cerca de la ubicación geográfica de un puerto), fase de viaje o fase de transición. Las actividades portuarias se utilizan para dividir

³⁵ Se eliminaron los buques totalmente eléctricos, de carbón, sin propulsión y de propulsión nuclear.

los conjuntos de datos de actividad de los buques, generando así una secuencia de viajes individuales. Cuando se determina que los períodos contiguos que faltan son mayores que un umbral de período faltante, ese viaje se elimina y se reemplaza utilizando el relleno hacia atrás y hacia adelante.

Distinción entre viajes internacionales y nacionales

Partiendo de la metodología empleada en el Tercer Estudio de la OMI sobre los GEI para generar estimaciones de combustible ascendentes basadas en el tipo y el tamaño de los buques, el Cuarto Estudio de la OMI sobre los GEI aplica un nuevo enfoque para discretizar los viajes a partir de datos continuos utilizando la información geoespacial y temporal contenida en los datos AIS. Un elemento central del Cuarto Estudio OMI sobre GEI es una base de datos portuaria que contiene el nombre, las coordenadas y el país de cerca de 13.000 puertos de todo el mundo. Las escalas individuales de los puertos se identifican utilizando los valores de velocidad sobre el terreno (SOG) y un algoritmo espacial de vecino más cercano para calcular la distancia de los buques a su puerto más cercano. Los puntos de datos AIS con valores medios de SOG inferiores a un nudo se agrupan en conjuntos que representan posibles escalas. Los clústeres se asignan como paradas portuarias si la distancia al puerto más cercano es suficientemente pequeña, el tiempo en el puerto es suficientemente grande y la distancia entre el clúster y cualquier clúster vecino es suficientemente grande. Las agrupaciones consecutivas situadas cerca unas de otras mientras están asignadas al mismo puerto se fusionan en una sola: sin embargo, para las que tienen asignaciones portuarias diferentes se elimina una de las agrupaciones. En el caso de los buques cuya cobertura AIS es especialmente escasa, se emplea un segundo método de identificación de paradas que se basa en la proximidad al puerto y elimina la dependencia del algoritmo de identificación de paradas únicamente de los registros SOG precisos. Utilizando la definición de transporte marítimo internacional como aquel que tiene lugar entre puertos de diferentes países, las emisiones pueden entonces asignarse a las categorías internacional o nacional de acuerdo con las definiciones del IPCC. Esta distinción permite la cuantificación de los inventarios basados en los viajes presentados en el cuerpo principal de este informe.

Consumo de combustible, emisiones y estimación de la energía

La demanda horaria de potencia del motor principal de cualquier buque se establece utilizando la fórmula del Almirantazgo, en la que la velocidad y el calado comunicados por el AIS se combinan con las características de diseño del buque tomadas de los datos del IHS. La fórmula se complementó con los factores de velocidad, ensuciamiento y clima. La demanda de potencia de la maquinaria auxiliar se estableció en función del tipo de buque, el tamaño y el modo de funcionamiento que se daba en cada observación horaria.

Para transformar la potencia demandada del motor principal en consumo de combustible por hora, la potencia demandada se ajustó a una curva de consumo específico de combustible (SFC) que utilizó el motor, el tipo de combustible SFC de referencia y la carga del motor (es decir, cuánta potencia se demanda frente a la potencia máxima instalada) como variables independientes. La multiplicación del SFC estimado y la demanda de potencia del motor principal da como resultado el consumo de combustible por hora. Para la maquinaria auxiliar, el SFC se dio como constante y su consumo horario de combustible se obtuvo multiplicando la potencia demandada y el SFC. El consumo horario total del buque fue la suma del combustible consumido por el motor principal y la maquinaria auxiliar.

La estimación de las emisiones horarias de gases de efecto invernadero y de contaminación atmosférica depende de la cantidad de combustible consumido, del tipo de combustible, del contenido de azufre del combustible, de la carga del motor principal y de la potencia, del tipo de motor principal, de la maquinaria (es decir, del motor auxiliar o de la caldera) y de la ubicación geográfica (es decir, si se navega dentro o fuera de una zona de control de emisiones). Al igual que en la metodología basada en la actividad del Cuarto Estudio de GEI de la OMI, se utilizaron dos enfoques diferentes para los factores de emisión (EF)³⁶: basado en la energía y basado en la masa. Los FE basados en la energía se dan como masa de contaminantes atmosféricos por demanda de energía - normalmente se dan como g de contaminante/kWh. El EF basado en la masa se da como masa de contaminante por masa de combustible - normalmente se da como g de contaminante/g de combustible. Las emisiones horarias se obtuvieron multiplicando el EF basado en la energía por la energía horaria demandada para cada tipo de maquinaria a bordo. En el caso de los GEI y los contaminantes atmosféricos que utilizan el EF basado en el combustible, el consumo de combustible por hora se multiplicó por el EF³⁷. Para convertir las emisiones de GEI en equivalente de CO₂ (CO₂e), se utiliza el potencial de calentamiento global en un periodo de 100 años (GWP₁₀₀) de cada compuesto. Como referencia, los GWP₁₀₀ se han tomado de las directrices del IPCC de 2006³⁸.

Para convertir el consumo anual de combustible en demanda de energía, el consumo de combustible por hora se convirtió en una unidad equivalente de combustible común (equivalente de Fuel Oil Pesado, HFO_{eq}, en el Cuarto Estudio de GEI de la OMI). Esta conversión se realiza utilizando el bajo valor calorífico (LHV) del Fuel Oil Pesado (HFO) de la OMI, que es de 40.200 kJ/kg, y el combustible que se consume (por ejemplo, el Diesel Oil Marino (MDO), que tiene un LHV de 42.700 kJ/kg). Sin embargo, presentamos la demanda de energía del transporte marítimo en MWh. Para ello, es necesario convertir la unidad HFO_{eq} a kJ utilizando el VHL del HFO para, a continuación, convertir la energía demandada por hora en MWh³⁹.

El consumo anual de combustible, la demanda de energía y las emisiones por tipo y tamaño de buque (o el transporte marítimo en su conjunto) es la agregación de cada observación horaria dentro del año observado (es decir, 2018 para este informe).

Aseguramiento y control de la calidad

Se llevaron a cabo esfuerzos exhaustivos de garantía de calidad (QA) y control de calidad (QC) para garantizar la exactitud de las entradas, el método y los resultados del estudio ascendente. El análisis de incertidumbre de Monte Carlo de última generación aplicado en el Tercer Estudio de GEI de la OMI se repite en el Cuarto Estudio y se utiliza para mostrar que la incertidumbre se ha reducido de casi un tercio en 2012 a <10% en 2018, con reducciones de incertidumbre continuas previstas a medida que aumenta la cobertura global de los datos del SIA. En general, la diferencia en las cifras de consumo total de combustible de 2012 se desvió solo un 3% con respecto al Tercer Estudio de GEI de la OMI, lo que indica la calidad y la coherencia de las metodologías contenidas en ambos. De tres tipos de buques responsables de cerca de dos tercios del total de emisiones internacionales de

36 Los EF se dan como emisiones de tanque a tanque. Esto significa que cuantifica las emisiones producidas por los sistemas de a bordo. No tiene en cuenta las emisiones previas producidas debido a la extracción, producción y distribución del combustible.

37 Se puede encontrar una explicación más específica del EF en la subsección Factores de Emisión del Cuarto Estudio de GEI o en el Apéndice B y M.

38 Para CH₄ es 28 y N₂O es 265.

39 Factor de conversión: 1 kJ equivale a 2,78x10⁻⁷ MWh.

CO₂ para 2018, hubo una desviación máxima del 6% entre las emisiones de CO₂ estimadas en el Cuarto Estudio de GEI de la OMI y las presentadas en el sistema MRV de la UE [211]. Además, se utilizaron datos de monitorización continua para validar los modelos de velocidad, motor principal y auxiliar del modelo con una buena correlación en la velocidad, los calados, la potencia del motor principal y el consumo de combustible, con la mayor incertidumbre en el modelo del motor auxiliar debido a la suposición de una generación de potencia constante para los diferentes modos operativos para todos los tipos de buques.

Paso II: Viajes y su ubicación geográfica

La adición del proceso de identificación de paradas permite obtener datos AIS continuos que representan la actividad del buque como viajes discretos. El algoritmo extrae los datos de emisiones con marcas de tiempo que caen entre las horas de inicio y fin de un viaje determinado. Los datos de emisiones asociados a los viajes en los que los buques parten de un puerto mexicano y llegan a puertos de destino internacionales se utilizan para formular el inventario de salidas internacionales. Cuando un viaje se origina en el puerto de otro país y llega a un puerto mexicano, las emisiones asociadas a este viaje se añaden al inventario de llegadas internacionales. Cuando los puertos de origen y destino son ambos mexicanos, las emisiones del viaje se asignan al inventario nacional, mientras que las emisiones de los viajes que no presentan ninguna interacción con los puertos de México quedan sin utilizar en el enfoque de viajes.

Cuando se suman las salidas y llegadas internacionales con las actividades nacionales hay dos advertencias importantes:

- No todos los barcos que llegan o salen de México están totalmente descargados o cargados, lo que significa que parte de la carga contenida en un barco determinado -y la razón principal para que el barco navegue- no tiene a México como destino final u origen.
- Tomar la primera o la última etapa del viaje no significa que la carga que viene o va de México esté totalmente cargada en el último puerto antes de llegar a México o totalmente descargada en el primer puerto de escala después de salir de México. De hecho, los diferentes tipos de buques tienden a tener viajes con escalas en varios puertos.

Sin embargo, la agregación de estos diferentes enfoques permite obtener una imagen más completa de cómo se producen las actividades de transporte marítimo desde, hacia y dentro de México y muestra el importante papel que tiene México en la transición de este sector del transporte.

Para el enfoque del inventario de emisiones georreferenciado, se comprueba la ubicación geográfica de todas las actividades de los 72.000 buques contenidos en el conjunto de datos de 2018 con respecto a la Zona Económica Exclusiva (ZEE) nacional y el radio alrededor de las ciudades portuarias. Utilizando los archivos shapefiles proporcionados por el Instituto Marino de Flandes [42] para el enfoque de la ZEE, los datos de las emisiones relacionadas con la actividad que caen dentro de la región se agrupan para formar el inventario geoperimetral, mientras que los datos periféricos se dejan fuera (ver la Figura 19). Se ha aplicado un método similar en el análisis de las emisiones localizadas de las regiones portuarias, en el que se utilizan las coordenadas geográficas de cada puerto para generar un área circundante de 100 km de radio a partir del centroide del puerto utilizando un software de Sistema de Información Geográfica. Agregando los datos de actividad horaria que

se producen en el área inmediata que rodea a cada puerto, se puede generar una indicación de la exposición de las poblaciones locales a los contaminantes derivados de la actividad de los buques. Los resultados del método se resumen en la Figura 10 en el que sólo se utilizan las actividades de los buques captadas en un radio de 100 km de cada puerto.

Figura 19: Polígono que representa la ZEE de México y la actividad marítima dentro de ella durante 2018.



Garantía y control de calidad

Una vez obtenidos los resultados completos utilizando la metodología basada en la actividad del Cuarto Estudio OMI sobre GEI para calcular las emisiones, las fuentes de error restantes se limitan a los métodos de extracción de datos utilizados para acceder a los resultados del estudio y a los acumulados, como se ha explicado anteriormente. Estos se resumen en Tabla 6 con su aseguramiento y control de calidad para minimizar su impacto.

Tabla 6: Posibles fuentes de error en el SGM para México.

Método de inventario	Problema potencial identificado	Procedimiento de garantía y de control de calidad
Basado en el viaje	Inexactitud en la copia de los datos del Cuarto Estudio de la OMI sobre GEI	Seleccione 10 filas al azar y valide los datos seleccionados
Basado en el viaje	Inclusión de datos fuera de las ventanas de tiempo de viaje	Seleccione 10 viajes al azar y valide las horas de inicio y fin del viaje
Georeferenciado	Inexactitud en la copia de los datos del Cuarto Estudio de la OMI sobre GEI	Seleccione 10 filas al azar y valide los datos seleccionados
Georeferenciado	Inclusión de datos fuera de la ZEE	Tomar una muestra de 10,000 eventos horarios de localización contra los polígonos geográficos

Todas las comprobaciones se completaron sin que se detectaran errores que indicaran la fiabilidad del SGM para México presentado en el cuerpo principal del informe.

Inventario nacional de gases de efecto invernadero de México

A escala nacional, existe una amplia gama de métodos para generar inventarios nacionales de emisiones marítimas. Las directrices internacionales actuales se centran en la combinación de factores de emisión establecidos con cifras de consumo de combustible para obtener estimaciones de la emisión de GEI y contaminantes atmosféricos. A falta de un marco concreto de la OMI para asignar las emisiones nacionales, el Enfoque de Referencia del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ofrece un método de este tipo que utiliza datos de suministro de energía fácilmente disponibles.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de México, produce sus emisiones a través de la elaboración de un Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), coordinado y compilado el Inventario Nacional de GEI del país para 2015. El inventario sigue las Directrices del IPCC de 2006. Cabe señalar que el INECC ha venido estimando las emisiones anuales de México a través de su INEGYCEI. La información proporcionada en cada una de las siguientes subsecciones se basa en la información proporcionada en el Inventario Nacional de GEI de México para el periodo 1990-2019 [40].

A continuación se presenta más información sobre las Directrices del IPCC de 2006 que el gobierno mexicano siguió para elaborar su inventario.

Directrices del IPCC de 2006: Un breve resumen

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en sus Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero en el sector de la energía y en el capítulo 3, establece un marco de buenas prácticas para la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos resultantes de la combustión móvil. Se incluyen directrices para la navegación, que abarcan las emisiones generadas por todas las formas de transporte por agua (internacional y nacional), la pesca y las operaciones militares y multilaterales [41]. Para la navegación, los GEI contabilizados son el CO₂, el CH₄ y el N₂O.

Métodos

Hay dos niveles (1 y 2) para la evaluación de las emisiones de GEI para la navegación marítima y fluvial, en los que ambos niveles aplican los factores de emisión a las cifras de consumo de combustible de forma independiente para todos los tipos de combustible y buques de transporte.

El nivel 1 es el enfoque más sencillo, que puede utilizar valores por defecto o específicos del país. Los FE son específicos del tipo de combustible para los datos que tiene el país. Para estimar las emisiones anuales de GEI es necesario multiplicar los datos de los combustibles -por tipo de combustible- por el correspondiente EF.

La diferencia con el enfoque de nivel 2 es que las emisiones anuales de GEI necesitan una mayor especificidad al añadir los modos de clasificación (por ejemplo, buques oceánicos) y, si está disponible, el tipo de motor. Además, si el país tiene

disponibilidad para acceder a los datos de movimiento de buques, se recomienda seguir las directrices de la guía de inventarios de emisiones de EMEP/CORINAIR [212]. Esta referencia se recomienda para estimar EF para NO_x , CO y COVNM en ambos enfoques.

Para ambos niveles, la categoría de transporte de marítimo se divide en cuatro clases distintas:

1. *Navegación fluvial*. Esta puede subdividirse a su vez en navegación nacional e internacional en función de la salida y la llegada a puerto.
2. *Pesca*. En esta categoría hay que considerar todas las emisiones de los barcos de pesca que han repostado en el país.
3. *Móviles*. Todas las emisiones restantes del transporte marítimo no cubiertas anteriormente (por ejemplo, militares).
4. *Operaciones multilaterales*. Emisiones producidas en operaciones multilaterales (por ejemplo, combustible entregado a los militares del país y entregado a los militares de otro país).

Las emisiones fugitivas del transporte se declaran en la categoría “Emisiones fugitivas”, pero se supone que son insignificantes cuando el barco está navegando.

El informe del inventario de gases de efecto invernadero de México para su estimación de las emisiones transmitidas por el agua de CO_2 se basa en el T2, mientras que para el CH_4 y el N_2O se utiliza un enfoque de nivel 1.

Factores de emisión

Las directrices dan para el CO_2 EF una gama de valores aceptables en función del tipo de combustible utilizado. Las directrices reconocen 10 combustibles diferentes para el transporte por agua. Sin embargo, dado que México utilizó un enfoque de nivel 2, el EF se basa en los resultados del INECC (2014) [213].

Para CH_4 y N_2O EF según el método Tier 1, los valores son de 7 kg/TJ y 2 kg/TJ respectivamente. Sin embargo, estos factores se toman del HFO que se consume en los motores diésel (no se indica la velocidad del motor) y por esa razón tienen una gran variación recomendada (es decir, +50% para CH_4 y de -40% a 140% para N_2O).

Para un enfoque de nivel 2, el EF debe basarse, si es posible, en las pruebas de combustible y motores de combustión del país y debe registrarse de acuerdo con la guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR.

En el caso del EF de transporte por agua, México utilizó los valores del INECC para el CO_2 y los valores por defecto recomendados por el IPCC para el CH_4 y el N_2O .

Selección de datos de actividad

Las directrices del IPCC ofrecen una amplia gama de datos de origen para obtener una estimación del combustible que se utiliza para la actividad marítima y con qué fin se utiliza (por ejemplo, navegación nacional o internacional). Sin embargo, la selección de los conjuntos de datos depende del país y de sus propias circunstancias, lo que se reconoce que produce resultados con diferentes niveles de precisión. La lista del IPCC sugiere las estadísticas energéticas nacionales, las encuestas a los proveedores de combustible (es decir, las ventas de combustible), las autoridades marítimas y las empresas pesqueras a las bases de datos de la OMI y los datos de movimiento de buques del Lloyd's Register, entre otros. Las directrices

reconocen que, para obtener una mejor resolución de los datos sobre el combustible utilizado, los inventarios necesitarán una combinación de las bases de datos recomendadas.

Las directrices reconocen que hay diferentes tipos de motores y combustibles que se utilizan a bordo de cualquier buque, pero afirman que este nivel de granularidad es difícil de obtener. Para solucionarlo, las directrices ofrecen estadísticas generales de consumo medio de combustible en porcentaje por tipo de motor (es decir, motores principales o auxiliares) y tipo de buque. Además, el capítulo ofrece el consumo medio diario de combustible y regresiones lineales para estimar el consumo de combustible a plena potencia (es decir, el 100% del régimen continuo máximo (MCR) de un motor) frente al tonelaje bruto del buque. Esto se da para 13 tipos de buques diferentes.

Los datos de la categoría de emisiones marítimas domésticas de México provienen del informe del Balance Energético de México de 2017 [46]. El informe utiliza la venta de combustible durante 2017 para establecer la demanda de energía del sector. Las ventas nacionales de combustible se agregaron de la flota comercial, la SEMAR, las empresas pesqueras y las embarcaciones en general.

Integridad e incertidumbre

Las directrices dependen de la capacidad del país para contabilizar el combustible que consume el transporte marítimo. Las fuentes de una posible estimación incompleta del combustible utilizado y de las emisiones son:

- Asignación errónea de la emisión de la navegación a otra categoría de fuentes.
- Cuando los datos militares son confidenciales.
- Asignación errónea entre viajes nacionales e internacionales.

Las directrices presentan la dificultad de distinguir entre la navegación nacional y la internacional como la mayor fuente de incertidumbre en la elaboración de los inventarios de emisiones procedentes del agua. En el caso de los datos completos del estudio, se supone que la incertidumbre estimada es de +5%, mientras que en el caso de los incompletos podría llegar a ser de +50%. Aun así, se reconoce que la incertidumbre podría ser mucho mayor de un país a otro. Sin embargo, a medida que mejore la disponibilidad de datos, como en el caso de los datos de AIS, los niveles de incertidumbre para este sector se reducirán.

El Informe del Inventario Nacional de GEI de México de 2015 [40] contabilizó que la incertidumbre estimada para la navegación nacional con una incertidumbre de +4,98% para el CO₂, +48,83% para el CH₄ y +87,59% para el N₂O. Estas incertidumbres sobre los GEI marítimos contribuyen al 0,03% del total del inventario anual de GEI, mientras que la incertidumbre de los datos de actividad se cifra en un 0,00%.

Garantía y control de calidad

Las directrices recomiendan cuatro enfoques diferentes para garantizar la garantía de calidad y el control de calidad de los inventarios de emisiones procedentes del agua, pero esto dependerá de la capacidad del país para adoptar estas medidas:

1. Comparar las emisiones utilizando enfoques alternativos.
2. Revisión de EF.
3. Control de calidad de los datos de actividad sobre el uso de combustible.

4. Revisión externa.

Para el caso de los inventarios de emisiones de México la GC y el CC se explican ampliamente en el informe de políticas de calidad de los inventarios [45]. El informe establece las directrices para revisar la calidad de los datos estimados, los informes producidos y la comunicación al público en general y a las audiencias especializadas.

Informes

Las emisiones transmitidas por el agua se clasifican en diferentes categorías en función de la actividad que realice el buque:

1. *Navegación acuática.* La navegación nacional se reporta y cuenta para el inventario nacional de GEI. La navegación internacional se reporta por separado y no cuenta para el inventario nacional de GEI
2. *Pesca.* Se informa en la categoría de Agricultura/Silvicultura/Pesca en la clase de Energía.
3. *Móviles.* En particular, a los militares se les debe presentar con fines de transparencia.
4. *Operaciones multilaterales.* No se menciona cómo se debe informar.

Las directrices del IPCC recomiendan como buena práctica presentar la fuente del combustible y otros datos utilizados, el método para diferenciar la navegación nacional de la internacional, los factores de emisión utilizados y sus referencias asociadas, así como la incertidumbre o el análisis de sensibilidad de los datos y las hipótesis adoptadas.



Comparaciones de inventarios de emisiones

La estimación de las emisiones de GEI por sector apoya los procesos políticos y la toma de decisiones para que los gobiernos den respuestas viables de mitigación que estén en consonancia con la CMNUCC y sus objetivos del Protocolo de Kioto y del Acuerdo de París. Las Directrices del IPCC ayudan a los países a elaborar inventarios transparentes, completos, comparables y coherentes a lo largo del tiempo que no sobrestimen ni subestimen las emisiones nacionales de GEI.

El SGM desarrollado en este informe proporciona un enfoque novedoso para estimar, de forma exhaustiva, las emisiones marítimas de GEI y de contaminación atmosférica de cualquier país. En general, el MEG para México y el Inventario Nacional de GEI de México deben considerarse complementarios. El Inventario Nacional de GEI de México capta la compleja interacción entre sus actividades económicas, la sociedad y el medio ambiente. Equilibrar el nivel de granularidad entre las categorías debido a la disponibilidad de datos, la modelización, la capacidad y el acceso a las estadísticas es un esfuerzo complejo que tiene como objetivo establecer la imagen completa del país de forma transparente. Por otra parte, el inventario de emisiones proporcionado en este informe basado en el Cuarto Estudio de GEI de la OMI considera con gran detalle las diferencias espaciales y tecnológicas del sector marítimo durante 2018. Además, este informe propuso cuatro metodologías diferentes de agregación de los datos relevantes para México con el propósito de explorar las implicaciones del transporte marítimo hacia, desde y dentro del país y establecer su oportunidad en la transición del sector marítimo.

Las diferencias entre la estimación de los GEI provienen de la forma en que se informan; la granularidad de las bases de datos de combustible utilizado; la forma en que se agregan los datos; los supuestos que se toman; y que el Cuarto GEI de la OMI no consideró a los barcos de menos de 100 toneladas brutas, dejando fuera a la flota de barcos pequeños⁴⁰, que suelen tener actividad dentro de las aguas nacionales.

Aun así, se pueden comparar algunos de los elementos entre los enfoques generales de los inventarios para entender las principales causas entre las diferencias de ambos inventarios, que para la *navegación doméstica por agua* -sin tener en cuenta la actividad pesquera- se situaron en un -7,28% o -149 kt de CO₂e.

Factores de emisión

Según lo informado por el Inventario Nacional de GEI de México para el transporte acuático, se utilizaron los FE de nivel 2 para el CO₂ y los FE de nivel 1 por defecto para el CH₄ y el N₂O. Es importante mencionar que los FE del metanol no se presentan en esta subsección ya que es un combustible no considerado por las Directrices del IPCC 2006 para la navegación fluvial.

Dioxido de carbono

Tabla 7 presenta los EF de CO₂ utilizados en el Inventario Nacional de GEI de México y los utilizados en el SGM que se han tomado del Cuarto Estudio de GEI de la OMI. Tras la división por el bajo valor calorífico y la conversión a la misma unidad, se

⁴⁰ Normalmente, con una longitud no superior a 25 m, dependiendo de la construcción del buque.

ha evaluado la diferencia porcentual entre los EF de CO₂ presentados en los dos documentos, con una diferencia de 2,57% para el HFO, -3,02% para el MDO y 4,77% para el GNL. El uso de factores de emisión similares es importante para la cuantificación precisa de la generación de GEI y da confianza en que los resultados derivados en el SGM para generar los inventarios de emisiones presentados son fiables y representativos.

Tabla 7: Comparación de los factores de emisión de CO₂ utilizados en la SGM y los valores medios del INECC de 2014.

Combustible	SGM FE (kg de CO ₂ /kg de combustible)	FE de SGM convertidos en unidades alineadas con el IPCC (kg CO ₂ /TJ)	INECC 2014 Promedio de EF (kg CO ₂ /TJ)	Diferencia (%)
Fuelóleo pesado (HFO)	3.114	77,463	79,450	2.57
Diésel marino (MDO)	3.206	75,082	72,881	-3.02
Gas Natural Licuado (GNL)	2.750	55,000	57,756	4.77

Metano

El Cuarto GEI de la OMI, y por lo tanto la SGM, reconoce que las emisiones de metano son diferentes bajo diferentes combustibles, tecnologías de motor y carga de motor dando un amplio rango de valores. En las Directrices del IPCC de 2006, los FE de metano se dan en forma de rango, pero son más pequeños que los de la SGM. Por esa razón, los FE de metano se darán en un rango para considerar todos los FE de metano (ver la Tabla 8).

Tabla 8: Comparación de los factores de emisión de CH₄ contenidos en el SGM y en las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI. Es importante mencionar que los EF de CH₄ del SGM se dan para cargas de motor de diseño (es decir, el 75% del MCR).

SGM FE (g CH ₄ /kWh)	FE de SGM convertidos en unidades alineadas con el IPCC (kg CH ₄ /TJ)	IPCC 2006 FE por defecto (kg CH ₄ /TJ)
0.002 - 5.500	0.560 - 1,527.780	3.500 - 10.500

Las grandes diferencias que se observan en la EF entre ellos tienen que ver con dos razones principales:

1. El CH₄ EF utilizado en las directrices del IPCC de 2006 se basa en las cifras dadas por Lloyd's Register [214] solo para los motores diésel que utilizan HFO, mientras que el Cuarto Estudio de GEI de la OMI abarca una gama más amplia de motores y combustibles. Normalmente, los motores diésel tienden a situarse en el extremo inferior de la escala CH₄ EF. Para el Cuarto Estudio de GEI de la OMI, un motor diésel que consuma HFO tendrá un EF de 2,8 kg CH₄ /TJ. Aun así, existe una diferencia de entre un 20% entre los EF, utilizando el valor más bajo dado por

el IPCC. Esta diferencia puede deberse a la antigüedad de la bibliografía utilizada para las Directrices del IPCC de 2006. En los últimos 30 años, los motores diesel marítimos han mejorado con una mayor eficiencia de combustión gracias a la introducción de sistemas de inyección de combustible y de actuación de los gases de escape, entre otros [215].

2. La introducción del GNL como combustible para el transporte marítimo existe desde que el GNL se transporta en los buques. Pero en el pasado, este tipo de buques utilizaba el gas de ebullición del tanque para quemarlo dentro de una caldera y producir vapor que, a su vez, alimentaba las turbinas de vapor del barco. Sin embargo, desde 2010 el GNL como combustible ha empezado a entrar en el mercado marítimo para todos los tipos y tamaños de buques. El gas natural está compuesto principalmente por CH₄ y cuando se inyecta en un motor de combustión interna parte de él puede no llegar a quemarse, aumentando la emisión de este GEI. Dependiendo de la tecnología del motor de GNL, el CH₄ EF podría estar entre 55,56 y 1.574,78 kg CH₄ /TJ.

Si el GNL se convierte en un combustible más importante en el sector del transporte marítimo, será importante actualizar el CH₄ EF del IPCC de 2006 para tener en cuenta este potente GEI.

Óxido nítrico

La Tabla 9 presenta el EF de N₂O utilizado en el Inventario Nacional de GEI de México -dado como un rango- y los derivados del Cuarto Estudio de GEI de la OMI. Una diferencia importante con respecto al EF de la OMI es que éste reconoce el cambio del EF debido a la carga del motor -principalmente las cargas por debajo del 20% de MCR, la tecnología del motor y el combustible.

Tabla 9: Comparación de los FE contenidos en el SGM y en las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI. Es importante mencionar que el ef de N₂O del SGM se da para cargas de motor de diseño (es decir, el 75% del MCR).

SGM FE (g N ₂ O/kWh)	FE de SGM convertidos en unidades alineadas con el IPCC (kg N ₂ O /TJ)	IPCC 2006 FE por defecto (kg N ₂ O /TJ)
0.02 – 0.05	5.56 – 13.11	1.2 – 4.8

Las diferencias de N₂O EF son significativas entre los dos enfoques. La razón probable de esta diferencia podría provenir de un mejor conocimiento en las últimas tres décadas sobre la formación de N₂O en los motores diesel tradicionales. Yoo et al. [216] mostraron en su estudio experimental a bordo de un buque que consumía MDO que el EF de N₂O oscilaba entre 0,03 y 0,07 g de N₂O/kWh. La mayor EF de N₂O del cuarto GEI de la OMI procedía de las turbinas de gas y de vapor.

Carbón negro

Las directrices del IPCC 2006 no consideran al BC como un GEI mientras que la SGM siguiendo el Cuarto Estudio de GEI de la OMI lo considera con un GWP₁₀₀ de 900 [8] [44]. Para todos los inventarios de emisiones anuales elaborados por la SGM, el BC se encuentra entre los segundos GEI marítimos más potentes con cerca del 8,0% del total de CO₂e para la navegación nacional de México.

Análisis de sensibilidad

El objetivo de esta sección es estimar cuáles son los impactos en los inventarios de GEI debido a los diferentes EF utilizados entre el Inventario Nacional de GEI de México y el SGM para México. Para ello, se utilizará la cantidad de combustible consumido en 2018 por el transporte marítimo nacional -excluyendo la pesca- del SGM. Además, se utilizará el Inventario Nacional de México de 2018 en lugar del informado en su Sexta Comunicación a la CMNUCC [37].

México reportó para la categoría de *Navegación marítima y fluvial* nacional un total de 2,039 kt CO₂e para 2018 mientras que la SGM estimó 1,890 kt CO₂e una diferencia de -7.28% o -149 kt de CO₂eq.

El consumo anual de combustible estimado durante 2018 del SGM para la actividad nacional de México -excluyendo la pesca- fue de 397.10 kt de HFO, 136.20 kt de MDO y 0.0 kt de GNL. Al convertir estos consumos de combustible en energía utilizando el VHL de los combustibles se obtienen 15,963,40 TJ para el HFO, 5,815,70 TJ para el MDO. Ahora, utilizando los valores de EF de CO₂ del INECC y los valores de EF medios para CH₄ y N₂O de las directrices del IPCC (y sin contar el BC como GEI), la emisión anual de GEI debida a la navegación doméstica es de 1,692.15 kt de CO₂, 0.15 kt de CH₄ y 0.07 kt de N₂O. Al convertir estas cantidades a CO₂eq se obtiene un total de 1,713.73 kt CO₂eq. Esto supone una diferencia con las emisiones anuales de GEI proyectadas para México de -16,0% y solo -0,9% frente a la estimación de la SGM sin tener en cuenta el efecto del BC como GEI (es decir, 1.698,33 kt CO₂e).

Del análisis anterior realizado se puede decir que la principal causa de la diferencia entre el Inventario Nacional de GEI y el inventario de GEI del SGM son:

- La fuente de datos de *consumo de combustible para la navegación acuática* del Inventario Nacional proviene del Balance Energético Nacional de México, que para el sector marítimo se basa en las ventas anuales de combustible de la flota nacional [46][37].
- El método utilizado en el SGM es un método basado en la actividad, por lo que incluye las emisiones de los viajes nacionales de los buques internacionales (por ejemplo, de un puerto mexicano a otro) que no se recogerían en las estadísticas de ventas de combustible para uso nacional. Encontrar una discrepancia en los GEI al calcular con los dos métodos es común y ha ocurrido en otros países (por ejemplo, el Reino Unido) que desde entonces han pasado a utilizar el método basado en la actividad [47].
- Las diferencias entre los datos de los Inventarios Nacionales basados en las ventas de combustible al transporte marítimo internacional y los métodos basados en la actividad también tienen diferencias explicables. Las ventas de combustible sólo se registran si un buque abastece (toma combustible) en México. En la práctica, es posible que los buques que hacen escala en México no necesiten abastecerse de combustible (algunos buques tienen un almacenamiento de combustible de hasta tres meses, por lo que no repostan en cada viaje) y comprarán combustible en México sólo si es competitivo con el combustible disponible en otras escalas portuarias que vayan a realizar. El SGM recoge toda la actividad marítima independientemente de que esté asociada a la compra de combustible. Las estadísticas estimadas aquí sugieren que sólo una parte del combustible asociado a la actividad marítima mexicana es adquirido en México y, por lo tanto, el método basado en la actividad es útil para estimar el mercado potencial de venta de combustible, siempre y cuando México quiera ampliar su oportunidad, especialmente para los CECE.

- Sin embargo, las bases de datos de venta de combustible pueden captar el combustible que consume la flota de embarcaciones pequeñas, que no suelen tener sistemas de seguimiento a bordo (por ejemplo, transpondedor AIS). Esto se ve claramente en Ferrer et al. [48], donde la emisión de GEI de la flota de pequeñas embarcaciones -entre 3,000 y 3,700 kt de CO₂eq - tiene un papel relevante e importante en las emisiones marítimas nacionales. Esta es una limitación del SGM, pero que apunta a que los resultados del SGM sobre los GEI del transporte marítimo nacional y la contaminación atmosférica son una estimación conservadora.
- Aunque las diferencias de EF son grandes para el CH₄ y el N₂O, estos compuestos representan una pequeña parte de la emisión total de GEI. De hecho, el CO₂ representa el 98.5% de las emisiones de GEI de 2018 -sin tener en cuenta el BC como GEI- y los EF de CO₂ para el HFO y el MDO tienen una diferencia del 2,57% y del -3,02% respectivamente con respecto al EF recomendado por el IPCC. Esto explica en su mayoría la diferencia del -0,9% observada al contrastar ambos inventarios EF utilizando el consumo de combustible de la SGM 2018.
- El SGM considera al BC como un GEI que, después del CO₂, es el gas más impactante en la cuantificación total de GEI. Sin embargo, este GEI sólo tiene una influencia del 8.0% -alrededor de 190 kt de CO₂eq - en el total de las emisiones nacionales de GEI en 2018. Aun así, se considera que el SGM está en el espectro conservador de las emisiones nacionales de GEI.

Finalmente, a partir del informe del Balance Energético de México [46] la fuente de datos para estimar las emisiones marítimas consideró conjuntamente las ventas de combustible pesquero, comercial y militar junto con el resto de la flota de embarcaciones. Aunque la desagregación de las ventas de combustible según las categorías del IPCC 2006 no se hace en el informe del Balance Energético, se espera que se haya hecho al generar los inventarios de emisiones de México.

No se han podido realizar más pruebas con los resultados del SGM ya que los inventarios del IPCC agregan la flota pesquera nacional en la categoría *Agricultura/Silvicultura/Pesca y*, en el caso particular de México, no se indica la *marítima internacional*.

Bajo esta perspectiva, cabe suponer que las diferencias observadas en las emisiones de GEI entre ambos inventarios de emisiones para el *transporte marítimo internacional* y la pesca estarían causadas principalmente por la misma causa raíz observada para el transporte marítimo nacional. Sin embargo, se espera que la influencia de la flota de barcos pequeños en este segmento sea mínima, ya que este tipo de barcos suele realizar viajes nacionales.

El lector interesado puede encontrar más detalles sobre los datos de actividad marítima de este informe en las subsecciones 2.2.2 - 2.2.4 de Faber et al. [8], con áreas generales de mejora en el Apéndice A.

Una fuente de incertidumbre en este breve análisis de sensibilidad es el VHL del combustible utilizado, ya que las directrices del IPCC 2006 no dan estos valores para los combustibles marítimos. Sin embargo, se cree que esto tiene un impacto mínimo en los inventarios anuales de GEI.

Acerca de la Getting to Zero Coalition

La Getting to Zero Coalition es una plataforma de colaboración liderada por la industria que reúne a las principales partes interesadas de toda la cadena de valor del sector marítimo y de los combustibles con el sector financiero y otros comprometidos a hacer que los buques de emisiones cero comercialmente viables sean una realidad escalable para 2030.

Más información en:

www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition

2022 Todos los derechos reservados

