
Agenda de ciencia, tecnología e innovación para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo pelágico a México



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Secretaría de Marina

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Secretaría de Relaciones Exteriores

Secretaría de Turismo

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología

**Consejo Asesor de
Conacyt**

Dra. Telma Gloria Castro Romero
Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Dr. Sergio Cerdeira Estrada
Dirección General de Geomática, CONABIO

Dra. Elva Escobar Briones
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Dr. Víctor López López
Academia de Ingeniería de México

Dra. Patricia Muñoz Sevilla
Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio
Ambiente y Desarrollo, IPN

Dr. Adrián Pedrozo Acuña
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Dr. Julio Sheinbaum Pardo
Departamento de Oceanografía Física, CICESE

Dra. Brigitta I. van Tussenbroek
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Dr. Jorge Zavala Hidalgo
Servicio Meteorológico Nacional

Expertos consultados:

Dr. Gilberto Acosta González, Dra. Dalila Aldana Aranda, Biól. Alfredo Arellano Guillermo, Dr. Javier Arellano Verdejo, Dra. Rebeca Betancourt Galindo, Alejandro Bravo Quezada, Dr. Germán Buitrón Méndez, Dr. José Adán Caballero Vázquez, Dra. Ligia Collado Vides, Dr. Sergio Díaz Martínez, Dr. Carlos José Espinoza González, Dra. Susana Enríquez Domínguez, Dra. Cecilia Enríquez Ortiz, Dr. Agustín Escamilla Martínez, Flor de Azalia Galeana Tabárez, Biól. Mauricio Alfonso Gómez Briseño, Dr. Jaime González Cano, Dr. Héctor Abuid Hernández Arana, Dr. Jorge Herrera Silveira, Dr. Hugo Enrique Lazcano Hernández, M. en C. Karen Levy Gálvez, Dr. Ismael Mariño Tapia, Dr. Alberto Pereira Corona, Dr. Guillermo Quijano Govantes, Dr. Daniel Robledo Ramírez, Dr. Cuitláhuac Roviroso Madrazo, Dr. Enrique Saldívar Guerra, Lic. Alejandra Serrano Pavón, Dr. Rodolfo Silva Casarín, Dr. Sergio Trejo Estrada, Biol. Miriam Tzeek Tuz, Mtra. Gloria Vázquez Rangel, Dra. Guadalupe Velázquez Olimán y M. en C. Luis Alberto Villarreal Cárdenas.

Contacto:
sargazo@conacyt.mx
conacyt.gob.mx/sargazo

Erika Vázquez Delfín y Daniel Robledo.
Puerto Morelos, Quintana Roo, 2019.

Contenido

Introducción	3
Antecedentes	6
Objetivos de la agenda	6
Objetivos específicos de la agenda	6
Estructura de la agenda	7
Visión a largo plazo para la consolidación de acciones	7
Perspectivas para la implementación de la agenda	11
Líneas estratégicas para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo a México	13
Acciones indispensables para el desarrollo de las líneas estratégicas	14
1. Contención, recolección y disposición	14
2. Normatividad	16
3. Comunicación y educación	18
4. Monitoreo, modelación y alerta temprana	19
5. Origen e importancia ecológica	22
6. Impactos socioeconómicos y ambientales	23
7. Aprovechamiento y usos	25
8. Cooperación internacional	28
9. Restauración	29
Literatura consultada	31

Introducción

Las especies *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* habitan de manera natural las capas superficiales del mar. Estas inmensas masas flotantes de algas cumplen funciones ecológicas importantes, pues ofrecen áreas de descanso, reproducción, alimentación y transporte para otras especies, además de ser la base de diversas redes alimenticias en el mar.

Al ser un organismo flotante, el sargazo se mueve a través del océano arrastrado por el viento y las corrientes marinas, y ocasionalmente arriba de forma natural a las costas. Sin embargo, desde 2011 se ha observado un crecimiento masivo y sostenido de las poblaciones de estas especies en el Atlántico, hasta alcanzar una longitud de 8,850 kilómetros en 2018 (aproximadamente la distancia que existe entre la CDMX y la Patagonia), formando el Gran Cinturón de Sargazo, cuya biomasa se estima en aproximadamente 20 millones de toneladas, cifra equivalente a 10 veces el total de la pesca y la maricultura anual nacional. Hasta hoy, el origen de este fenómeno sin precedentes es desconocido. Se ha vinculado con el cambio climático y otras alteraciones ambientales antropogénicas a escala global, pero se requieren más estudios para entender realmente sus causas.

El Gran Cinturón de Sargazo se extiende por gran parte del Atlántico ecuatorial-tropical, desde la costa de África occidental hasta las regiones cercanas a las costas de Brasil. Las corrientes marinas y vientos lo transportan no sólo en esta zona sino a todo el Mar Caribe, incluido México y la costa este de Estados Unidos. Estas macroalgas encuentran condiciones favorables en su camino para un crecimiento desmedido, por lo que se han convertido en un serio problema ambiental y económico para diversos países del Caribe, incluido México.

Existen diversas hipótesis acerca de los mecanismos que generan este crecimiento (polvos provenientes del Sahara, incremento de nutrientes por descargas de ríos, cambio de temperatura en el océano), sin contar hasta la fecha con una evidencia clara de sus causas. Los arribazones de sargazo a las costas de México y otros países del Gran Caribe evidencian un cambio ambiental global de grandes dimensiones que se ha convertido en una seria amenaza económica, social y ambiental para la región y el país.

La enorme cantidad de sargazo hacinado sobre las costas ejerce impactos severos sobre ecosistemas y especies de alto valor biológico. Ejemplo de ello son las alteraciones observadas sobre el Sistema Arrecifal Mesoamericano, segunda barrera arrecifal más grande del mundo, donde tanto el arrecife, como las praderas marinas son seriamente afectadas debido a que la capa de sargazo sobre la superficie del agua impide el paso de la luz, además de que su descomposición reduce la concentración de oxígeno disuelto en el agua y conduce a su eutrofización.

Por otra parte, el impacto al turismo de playa en toda la región caribeña es preocupante. Con la llegada masiva de sargazo, las playas pierden su componente escénico y con ello su valor de uso turístico. Por ello, los prestadores de este tipo de servicios y la población local han reaccionado de diversas formas para mitigar sus impactos.

En México, los esfuerzos se han centrado principalmente en la recolección de la biomasa sobre las playas, principalmente en aquellas de importancia turística; sin embargo, no se han sentado las bases para enfrentar el problema a largo plazo. Dados los impactos secundarios, la recolección de sargazo en playa no es deseable. En todo caso, es necesario encaminar los esfuerzos a la adecuada recolección en el mar, previo al arribazón y al inicio del proceso de descomposición en las playas.

En ocasiones, el sargazo se ha recolectado y trasladado a zonas de menor importancia turística o tiraderos clandestinos, con el riesgo de crear ambientes insalubres y afectaciones a los mantos freáticos debido al carácter poroso del suelo de la región. Por tanto, si los esfuerzos se centran únicamente en la mitigación de la emergencia a corto plazo, difícilmente se alcanzará una solución eficaz; por ende, se requiere de una atención integral de este complejo y recurrente fenómeno.

Para que México pueda apropiarse del sargazo como un recurso biótico nacional es indispensable impulsar decisivamente la consolidación de una industria nacional para su aprovechamiento sustentable y regulado. Por lo anterior, es preciso incentivar el desarrollo tecnológico para el uso local y regional, así como la generación de cadenas de valor.

Entre otros, el sargazo podría ser utilizado para la producción de biogás, fertilizantes, mejoradores de suelos, alimentos, forrajes o materiales biodegradables. No obstante, aún es incipiente la investigación científica necesaria para definir tecnologías y rendimientos, así como para descartar diversos grados de contaminación por metales pesados o alguna otra sustancia que impida su uso. Por otro lado, es necesario considerar la incertidumbre respecto a las temporadas de arribazón, así como la cantidad de biomasa anual disponible para el establecimiento de una industria basada en su aprovechamiento. De cualquier forma, por razones de salud ambiental y salud pública, el Estado Mexicano debe garantizar la gestión adecuada del sargazo, aun cuando no hubiere interés industrial para su transformación. Por ello, su rol como promotor de la investigación científica

y tecnológica en busca de alternativas para el aprovechamiento de este recurso es incuestionable.

La evidencia científica sugiere que los afloramientos masivos de sargazo se han convertido en la nueva norma y que el Gran Cinturón de Sargazo llegó para quedarse; al menos no existen evidencias de que desaparecerá a corto o mediano plazo. Los grandes arribazones a las costas mexicanas no necesariamente ocurrirán cada año, pero, de ser así, han demostrado tener variaciones estacionales, por lo que la temporada más crítica en México sucede de mayo a septiembre. La implementación de un amplio programa de investigación interdisciplinaria de largo plazo es ineludible. Este enfoque debe acompañarse de acciones para la atención del problema en periodos críticos, sin cejar en las etapas intermedias, con el fin de continuar fortaleciendo las capacidades instaladas en el país en forma progresiva.

En atención a esta problemática, la colaboración internacional reviste una importancia incuestionable, pues se trata de un reto que traspasa fronteras. Es fundamental la conformación de un consorcio de países de la región que busque el establecimiento de tratados internacionales para el entendimiento del fenómeno, su aprovechamiento y la regulación de la contaminación que llega a los mares, ya que ésta pudiera incentivar el incremento masivo del sargazo. El Gobierno Federal tiene ante sí la oportunidad de impulsar la elaboración de una agenda de cooperación nacional e internacional que genere acuerdos multilaterales para la protección de los ecosistemas marinos, que a su vez puedan articularse con otros acuerdos existentes, como el Convenio sobre Diversidad Biológica que opera bajo el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), entre otros.

México posee la suficiente capacidad institucional, así como talento técnico, científico, industrial y de mercado para hacer frente a esta emergencia a través de la generación de soluciones efectivas y perdurables. Es preciso reconocer que nos enfrentamos a un fenómeno intermitente, por lo que los periodos intercríticos deben ser aprovechados activamente para fortalecer y dar continuidad a las acciones coordinadas, en el entendido de que la llegada del siguiente arribazón es cuestión de tiempo.

Antecedentes

El Gobierno de México, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), fomenta la vinculación efectiva de la comunidad científica y tecnológica del país para la solución de problemáticas nacionales que requieren atención inmediata. Esta unión se logra al generar estrategias multidisciplinarias que contribuyan a prevenir riesgos y daños ambientales, económicos, sanitarios y sociales.

Los arribazones masivos de sargazo pelágico a México han generado impactos socioeconómicos y ambientales que requieren una estrategia integral, multidisciplinaria e interinstitucional. Por ello, bajo el liderazgo del CONACYT, en 2019 se creó un grupo de trabajo conformado por la Secretaría de Marina y un Consejo Asesor Honorario integrado por especialistas en distintas áreas estratégicas del conocimiento, que en conjunto aportan una visión multidisciplinaria de este fenómeno. Dicho grupo de trabajo analizó de forma integral el fenómeno y definió una agenda científica, tecnológica y de innovación para la atención, adaptación y mitigación de los arribazones masivos de sargazo. Este documento se fortaleció y consolidó con la retroalimentación de 72 especialistas a través de un proceso de consulta pública.

Objetivo principal de la agenda

Identificar líneas estratégicas para la creación de capacidades y generación de conocimiento para la atención, adaptación y mitigación del arribo masivo de sargazo pelágico a México, que contribuyan a reducir el riesgo en los ecosistemas marino-costeros, así como a incrementar el desarrollo socioeconómico de México y de la región del Gran Caribe, con alcances a corto, mediano y largo plazo.

Objetivo específicos de la agenda

1. Definir y priorizar líneas estratégicas para atender los arribazones masivos de sargazo a México.
2. Contar con un eje rector para la toma de decisiones respecto al arribo de sargazo pelágico a México.
3. Identificar vacíos y omisiones de conocimiento que deban ser atendidos a través de la investigación y el desarrollo tecnológico en diferentes escalas temporales y espaciales.
4. Priorizar las necesidades de investigación y desarrollo tecnológico.
5. Ser un marco de referencia para elaborar y publicar convocatorias con base en líneas estratégicas que atiendan demandas específicas de proyectos.

6. Sentar las bases para promover la articulación de acciones y capacidades de las instituciones para la atención del arribo de sargazo pelágico a México.

Estructura de la agenda

La agenda se encuentra estructurada en nueve líneas estratégicas que, de manera conjunta, aportan una visión multidisciplinaria para atender el fenómeno de los arribos de sargazo pelágico al territorio mexicano. Para cada una de las líneas estratégicas se presentan acciones de manera enunciativa, mas no limitativa, a través de las cuales se generará conocimiento para comprender el fenómeno, evaluar posibles impactos, desarrollar y fortalecer métodos de modelación y alerta temprana, así como analizar alternativas de manejo, aprovechamiento y uso del sargazo. Dentro de las líneas estratégicas también se plantean acciones dirigidas a la adaptación a estos eventos mediante la restauración de ecosistemas, desarrollo de normatividad, programas de comunicación y educación, y, finalmente, tareas necesarias para lograr acuerdos de cooperación internacional que permitan atender el fenómeno en un contexto regional.

Las líneas estratégicas se encuentran estructuradas con una visión a corto, mediano y largo plazo; aquellas que requieren consolidarse de manera inmediata se encuentran al inicio, y posteriormente se ubican las que por la naturaleza de sus acciones requieren mayor tiempo para su consolidación. Si bien las líneas estratégicas se agrupan en corto, mediano y largo plazo, en la mayoría de los casos las acciones deben realizarse simultáneamente para atender de manera integral los arribos de sargazo pelágico a México. De esta manera, las acciones de cada línea generarán los insumos para completar la ejecución de otras y consolidar cada una de las líneas en diferentes horizontes de tiempo.

Visión a largo plazo para la consolidación de acciones

De acuerdo con varios estudios científicos, se estima que los arribos de sargazo continuarán en los años venideros. Por ello, para lograr la atención, la adaptación y la mitigación del arribo de sargazo pelágico a las costas de México, es necesario definir una visión a corto (primer año), mediano (1-3 años) y largo plazo (5 a 10 años), durante la que se realicen acciones de manera paralela y coordinada en todas las líneas estratégicas de esta agenda, las cuales representan el marco de referencia para las actividades que desarrollarán los diversos grupos de trabajo para el aprovechamiento sostenible del sargazo, además de mitigar su impacto al medio ambiente y generar efectos económicos positivos en la población (Figura 1).

Al trabajar de manera simultánea e interdisciplinaria, y en alianza con los sectores científico y tecnológico; las micro, pequeñas y medianas empresas de base científica y tecnológica; las dedicadas al sector turismo; los grupos de innovación e industriales comprometidos con la sociedad y el cuidado



Figura 1. Marco conceptual sobre la interconectividad de las acciones.

del medio ambiente, además del gobierno y la sociedad, se logrará la consolidación de acciones en tres etapas (Figura 2):

Corto plazo: a través de la recolección, contención y disposición se disminuirá el riesgo de impactos negativos al ambiente y la salud humana, con miras a sostener la actividad turística y mitigar las afectaciones económicas y sociales en nuestro país. Esto debe estar acompañado de la revisión de los lineamientos regulatorios existentes y la generación de un marco legal adecuado para el manejo del sargazo, desde su contención, recolección y disposición, hasta su aprovechamiento. Finalmente, es menester que en el corto plazo se desarrolle una estrategia que permita informar, capacitar y concientizar a la población sobre las posibles causas de los arribazones, los impactos y las acciones que como sociedad podemos emprender para hacer frente al fenómeno; además de comunicar la importancia del cuidado de los océanos y las playas para conservar los servicios ambientales.

Mediano plazo: identificar y generar métodos y procedimientos de tecnología conocida o innovadora para procesos y productos derivados del sargazo como bienes de consumo de valor intermedio, que permitan aprovechar un gran volumen de sargazo. También se debe de trabajar en la creación y mejoramiento de las herramientas necesarias para el monitoreo y la detección temprana que permitan reaccionar de forma oportuna a los arribazones de sargazo. Por otro lado, se espera que, en el mediano plazo, las investigaciones científicas generen resultados que permitan comprender con mayor profundidad la biología del sargazo, las causas de su crecimiento masivo y sus usos potenciales. Igualmente, es necesario contar con información que permita definir los impactos socioeconómicos y ambientales que los arribazones generan y la manera de reducirlos.

Largo plazo: generar bienes de consumo refinados, de alta pureza y con aplicaciones en nichos de mercado de alto valor, con costos de producción y precios altos, los cuales hoy requieren mayores esfuerzos de investigación y desarrollo. También se prevé avanzar en la restauración de los diversos ecosistemas afectados por los arribazones de sargazo, para lo cual son necesarias acciones a nivel nacional e internacional. Finalmente, contar con acuerdos entre los diferentes países de la cuenca del Caribe permitirá la transferencia de tecnología, el establecimiento de planes de acción regionales y la definición de compromisos para atacar las principales causas del crecimiento masivo del sargazo. Es importante señalar que para lograr el establecimiento de acuerdos regionales y/o multi o plurinacionales, a largo plazo, es fundamental comenzar, en el corto plazo, a fortalecer y estrechar lazos con los diferentes actores capaces de colaborar en temas de sargazo pelágico.

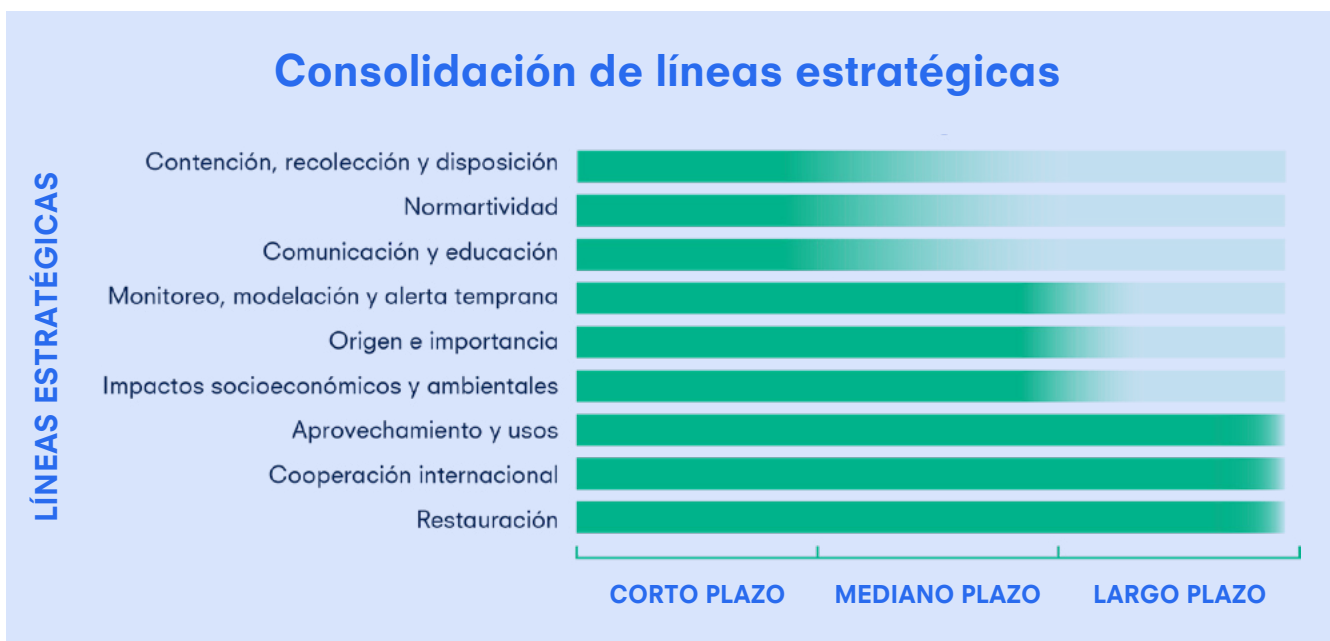


Figura 2. Visión a corto, mediano y largo plazo para la atención, adaptación y mitigación de las arribazones de sargazo.

En este contexto, es importante encaminar acciones sostenibles hacia el aprovechamiento del sargazo, lo cual permitirá que en el mediano y largo plazo pase de ser un recurso biológico susceptible a explotación a generar bienes de consumo de baja y, eventualmente, alta refinación (Figura 3). Esto permitiría que el papel del Estado Mexicano sea principalmente regulatorio con lo que se reducirían considerablemente los recursos públicos destinados para la remoción y disposición.

Es indispensable inducir la gestión de rutas de aprovechamiento, de lo contrario, independientemente de dónde sea recolectado el sargazo, terminaría acumulándose en tierra, sin valor asociado y con el riesgo de un severo impacto ambiental negativo. Por ello, es urgente la generación de soluciones técnicas, para lo que se propone:

1. Colecta y disposición plenamente documentadas que permitan eliminar el riesgo sanitario, el impacto a la biodiversidad y los posibles daños a los mantos freáticos ocasionados por lixiviados, generados a su vez por la disposición temporal del sargazo. Lo anterior debe llevarse a cabo con métodos de prueba plenamente validados y de forma paralela con el desarrollo de normatividad.
2. Determinación de sitios de almacenamiento temporal con base en las características de los sitios; es decir: tipo de suelo, flora y fauna silvestre, profundidad del manto freático, superficie, vías de acceso, entre otros.
3. Desarrollo de procesos de conversión de tecnología intermedia, también llamada tecnología apropiada, que permitan la transformación de grandes volúmenes de sargazo en bienes de consumo de diferente índole y escala de producción. Estas acciones deben estar acompañadas de investigación científica y tecnológica que descarte posible contaminación con materiales tóxicos, metales pesados o cualquier otro que genere daños a la salud.
4. Con base en ecosistemas de innovación y desarrollo tecnológico sería posible que, en el mediano y largo plazo, el sargazo sea un recurso biótico valorado, sujeto de concesión regulada de explotación, para la producción de bienes de consumo derivados de transformación sustentable y en diversas aplicaciones.

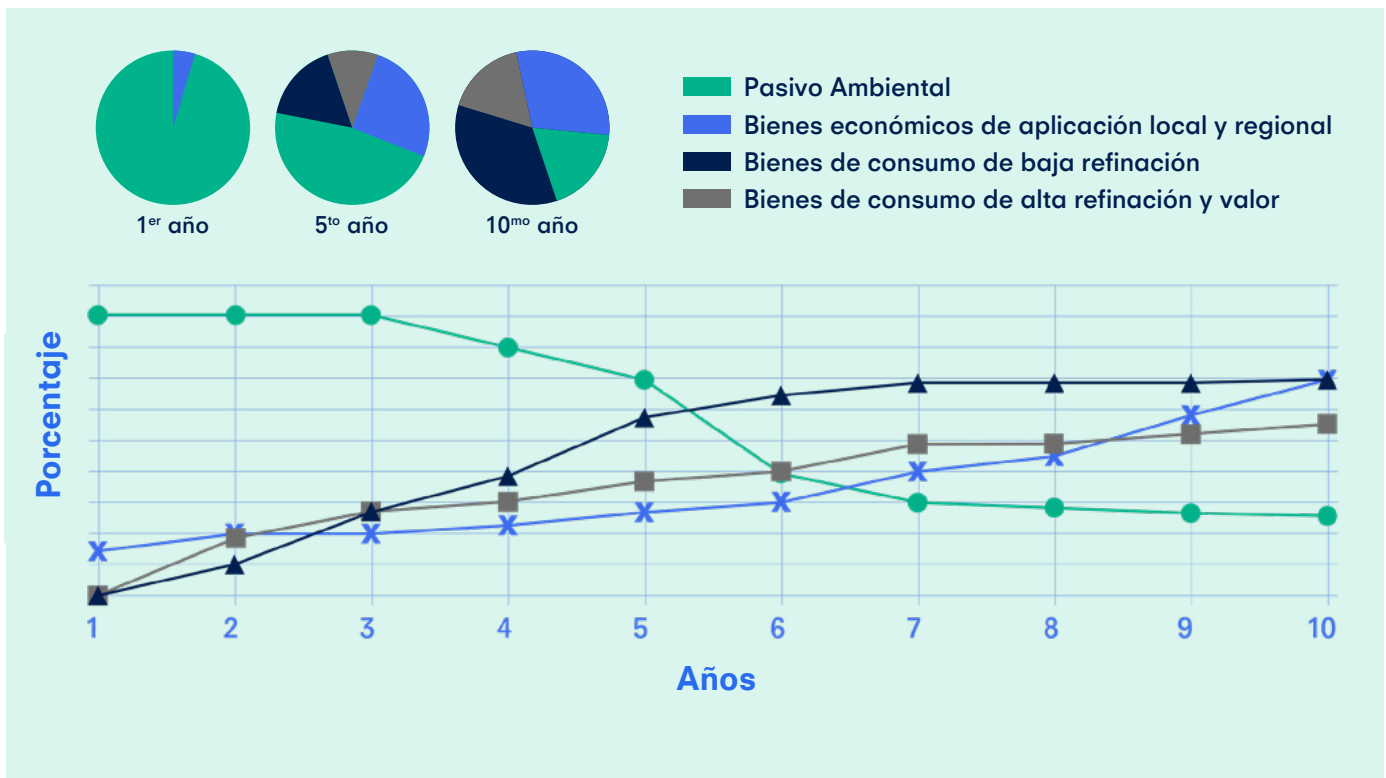


Figura 3. Visión a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo tecnológico y la innovación para el procesamiento sostenible de sargazo.

Perspectivas para la implementación de la agenda

La Agenda de Ciencia, Tecnología e Innovación, que aquí se presenta, busca acompañar y orientar las acciones del Gobierno Federal para actuar con eficacia y prontitud, mediante una fina planeación. La definición de líneas estratégicas permite tener un eje rector para focalizar los esfuerzos, las acciones y los fondos destinados. En este sentido, la presente agenda permitirá guiar las tareas que, como Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se emprendan para la atención del fenómeno de arribazones de sargazo. No obstante, al ser un problema que requiere atenderse desde diferentes vertientes, dadas las líneas estratégicas planteadas, se requiere de la colaboración y participación de distintas dependencias de los tres órdenes de gobierno, la academia, la sociedad y el sector empresarial. Es igualmente necesaria la conformación de grupos de trabajo que generen proyectos articulados y que generen soluciones integrales.

Con la conformación de grupos multidisciplinarios también se promueve la transferencia del conocimiento. Ésta evita duplicar esfuerzos y permite que los resultados generados por un grupo de trabajo o dependencia sean aprovechados para la construcción de nuevas soluciones o propuestas; al mismo tiempo, el uso de recursos económicos se vuelve más eficiente. Si bien este escenario es ideal, representa un reto que debe ser afrontado desde el respeto a la diversidad de ideas, a la propiedad intelectual y a las capacidades de cada dependencia, grupo o individuos involucrados. En este

contexto, el diagnóstico de las capacidades nacionales para la atención del sargazo, así como la creación de un directorio público de expertos reviste de especial importancia su atención en el corto plazo, así como para la articulación y la transferencia de conocimiento.

Otro punto clave para lograr la implementación de la agenda se encuentra en el financiamiento para llevar a cabo las acciones. Debido a la magnitud y a la complejidad del fenómeno, diversos enfoques financieros serán necesarios. La colaboración entre el sector empresarial, académico y gubernamental permite desarrollar investigación orientada a la generación de soluciones, ya sea empleando las capacidades existentes, o bien, a través de financiamiento conjunto que permita desarrollar capacidades nuevas entre los participantes. La creación de fondos comunes entre instituciones permitirá la ejecución de acciones de manera coordinada y expedita, así como generar un fuerte compromiso en términos de transparencia y rendición de cuentas. Aunado a lo anterior, desarrollar y fortalecer tecnología, así como un marco normativo que permita el aprovechamiento del sargazo, fomentará la creación de cadenas de valor para reducir la necesidad de invertir fondos públicos en acciones específicas, como la recolección y la contención.

Finalmente es necesario definir indicadores de cumplimiento pertinentes y explícitos, pues de ellos depende la correcta evaluación y el éxito de las acciones.

Líneas estratégicas para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo a México

1. CONTENCIÓN, RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN

- 1.1. Contención y recolección del sargazo en el mar
- 1.2. Recolección del sargazo en la playa
- 1.3. Disposición temporal y final del sargazo

2. NORMATIVIDAD

- 2.1. Marco legal para la contención, la recolección, la disposición, el procesamiento y el uso industrial del sargazo
- 2.2. Ordenamiento ecológico marino-costero del Caribe mexicano y Golfo de México

3. COMUNICACIÓN Y EDUCACIÓN

- 3.1. Desarrollo de estrategias de comunicación y educación ambiental

4. MONITOREO, MODELACIÓN Y ALERTA TEMPRANA

- 4.1. Monitoreo del sargazo pelágico por sensores remotos
- 4.2. Monitoreo del sargazo acumulado en las playas de México
- 4.3. Modelación y pronóstico del desplazamiento del sargazo pelágico
- 4.4. Sistema de información y análisis marino-costero para generar alertas tempranas

5. ORIGEN E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

- 5.1. Biología del sargazo, origen y causas del crecimiento masivo
- 5.2. Papel ecológico del sargazo en el Caribe mexicano y Golfo de México

6. IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y AMBIENTALES

- 6.1. Impactos socioeconómicos
- 6.2. Impactos ambientales

7. APROVECHAMIENTO Y USOS

- 7.1. Aprovechamiento sustentable e innovación

8. COOPERACIÓN INTERNACIONAL

- 8.1 Colaboración internacional para la atención del sargazo en el Gran Caribe

RESTAURACIÓN

- 9.1 Restauración de ecosistemas, rehabilitación y recuperación de la zona costera

Acciones indispensables para el desarrollo de las líneas estratégicas

1. CONTENCIÓN, RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN

El principal problema de los arribazones masivos de sargazo es su acumulación en la playa y el agotamiento del oxígeno por la alta demanda y la inducción de descomposición vía anaerobia. La recolección en playa es un escenario no deseable que debe ser prevenido, por lo cual el esfuerzo debe centrarse en la recolección de sargazo en el mar abierto con la intención de evitar que el sargazo rebase la barrera arrecifal.

Otra opción es la recolección en aguas más cercanas a la costa (lagunas arrecifales), así como la determinación de sitios prioritarios de atención, de esta forma se reduciría el arribo masivo a la playa y su subsecuente descomposición anaerobia. Estos esfuerzos deben estar guiados por el sistema de alerta temprana para poder lograr un manejo sostenible del sargazo y evitar que éste llegue en cantidades masivas a las playas. Cuando el sargazo llega en bajas cantidades a la playa, se degrada por la vía aerobia y no genera complicaciones.

1.1 Contención y recolección del sargazo en el mar

Es necesario que la recolección y/o contención de sargazo se priorice en mar abierto y/o en aguas cercanas a la costa para evitar la acumulación de sargazo pelágico en las playas y reducir sus posibles impactos. En este sentido, las estrategias para la contención y recolección del sargazo, así como el establecimiento de un sistema de la alerta temprana son parte importante para la toma de decisiones. Dado lo anterior, se deben considerar las siguientes acciones:

1.1.1 Estudiar los impactos de diferentes técnicas de recolecta sobre los ecosistemas costeros.

1.1.2 Analizar el costo-beneficio-impacto de distintas soluciones y de la capacidad de recolección y volumen de diferentes tecnologías, tanto para la recolección en embarcaciones, como para la contención en barreras, el desvío hacia zonas específicas de recolección, rutas de navegación, sitios adecuados para la recolección y el equipamiento adecuado para la primera etapa de su procesamiento.

1.1.3 Detonar procesos de desarrollo tecnológico y de transferencia tecnológica sobre equipamiento de embarcaciones, métodos de contención y colecta.

1.1.4 Elaborar una guía de requerimientos técnicos y de eficiencia para el tipo de barreras a usarse para contener el sargazo en el mar, considerando:

- a. Condiciones del oleaje.
- b. Método de instalación y anclaje.
- c. Mantenimiento y supervisión del funcionamiento útil.
- d. La evaluación del impacto que tienen las actividades de colecta sobre las comunidades marinas asociadas.
- e. La colocación en mar abierto.
- f. Evaluar en uso de barreras móviles en altamar.

1.1.5 Sistematizar el monitoreo de las acciones que se llevan a cabo y así integrar toda esta información en una base de datos que permita entender la variabilidad espacial y temporal de este fenómeno.

1.2 Recolección del sargazo en la playa

Si bien es deseable que tanto la contención como la recolección se realicen previas al arribo del sargazo a las playas, se debe reconocer que debido a la magnitud de los arribazones, es probable que en algunas circunstancias sea inevitable. En este caso, es necesario considerar las siguientes acciones:

1.2.1 Analizar las posibles soluciones para la recolección manual y con maquinaria, considerando la obligación de los concesionarios de mantener en buenas condiciones de higiene la superficie que ocupan.

1.2.2 Detonar procesos de desarrollo tecnológico y de transferencia tecnológica de las mejores prácticas para recolectar el sargazo.

1.2.3 Definición de un sistema de información y análisis geográfico en tiempo real para la visualización y distribución de los avistamientos hechos por los ciudadanos mediante la colaboración abierta y distribuida, cuyo fin es catalogar y priorizar zonas afectadas.

1.2.4 Desarrollar y actualizar los lineamientos para la laguna arrecifal y la playa, así como los instrumentos jurídicos vigentes para minimizar los impactos ambientales asociados, considerando:

- a. Los lineamientos vigentes.
- b. Los métodos de colecta.
- c. Las características de la maquinaria empleada
- d. El pretratamiento y manejo en tierra.

1.3 Disposición temporal y final del sargazo

A pesar de inducir la generación de industrias que permitan su aprovechamiento casi inmediato, es importante consolidar sitios de disposición temporal y final del sargazo. Éstos deben estar debidamente equipados

y regulados para evitar que el sargazo y sus lixiviados contaminen a diferentes niveles, además de que el sargazo de los centros de acopio debe permanecer únicamente a la espera de su distribución y/o transformación. Por lo anterior, es necesario que se consideren los siguientes puntos.

1.3.1 Analizar la composición química de lixiviados y gases producidos durante la descomposición del sargazo, para definir los criterios de selección y el diseño de sitios adecuados para su disposición.

1.3.2 Determinar y cuantificar los metales pesados asociados al sargazo, su variación espacio-temporal y su posible impacto para los usos propuestos del sargazo.

1.3.3 Establecer los procedimientos para destinar y/o establecer nuevos sitios de disposición de sargazo.

1.3.4 Desarrollar protocolos de manejo del sargazo dentro de los sitios de disposición para minimizar la generación de lixiviados.

1.3.5 Determinar el mejor método para disponer del sargazo en tierra y evitar su entierro en la playa, minimizando los impactos asociados al suelo, la flora y fauna silvestre, la población, el acuífero y el entorno.

1.3.6 Desarrollar protocolos para la limpieza de playas y lagunas arrecifales.

1.3.7 Evaluar los costos y la capacidad de procesamiento, en volumen, de plantas de secado y prensado del sargazo para su almacenaje como material seco y sólido (ladrillo o láminas).

1.3.8 Determinar las etapas y mejores prácticas para el transporte del sargazo a los sitios de transferencia, considerando una etapa de pretratamiento del sargazo para reducir el costo de transportación.

Es necesario sistematizar el seguimiento y monitoreo de las acciones de colecta, manejo y disposición, con el objetivo de integrar toda la información en una base de datos que permita entender la variabilidad espacial y temporal del fenómeno mediante datos confiables, comparables y verificables.

2. NORMATIVIDAD

La regulación de las actividades asociadas al sargazo requiere la implementación de instrumentos de política ambiental orientados al manejo integral de la zona costera y oceánica. Para categorizar al sargazo como un recurso biótico sujeto a aprovechamiento, así como los criterios y lineamientos para su uso a nivel industrial, son necesarios nuevos instrumentos jurídicos que cumplan con la normatividad vigente y consideren la sustentabilidad. Además, es indispensable que se designen autoridades pertinentes para hacer cumplir las normas que se generen en diversas escalas y sectores.

2.1 Marco legal para la contención, la recolección, la disposición, el procesamiento y el uso industrial del sargazo

Se requiere del análisis del marco jurídico vigente aplicable e identificar y desarrollar la normativa necesaria para la contención, recolección, disposición, procesamiento y uso del sargazo, así como las actividades asociadas.

2.1.1 Desarrollar y actualizar los instrumentos jurídicos y lineamientos para regular las diferentes etapas del manejo del sargazo, con el fin de considerarlo tanto un recurso biótico de la nación como residuo, dependiendo de su estado de descomposición. Se requiere establecer métodos y sistemas autorizados que puedan ser dictaminados, normados y evaluados por expertos. Para ello se considera:

- a. La colecta en mar abierto como recurso biótico no contaminante, no tóxico, pero sí excedente y, por lo tanto, sujeto de explotación bajo permiso y regulación de la autoridad federal, local y ambiental.
- b. Los impactos que deberán ser evaluados al analizar las metodologías propuestas.
- c. Las características que deberían tener las embarcaciones sargaceras.
- d. Las características que deberían tener las barreras de contención en mar abierto.
- e. Las rutas de navegación.
- f. Los sistemas y sitios de anclaje de las barreras.
- g. Los sitios de recolección.
- h. La recolección en mar para minimizar el impacto ambiental a los ecosistemas costeros y a la salud humana.
- i. La composición y disposición de los lixiviados generados por el procesamiento dentro y fuera de las embarcaciones.
- j. El uso, tratamiento o deposición de los residuos derivados de cualquier uso industrial del sargazo.
- k. El procesamiento necesario para su uso industrial y sus condiciones.
- l. Determinar el mejor método para colectar, transportar, almacenar y disponer el sargazo en tierra para minimizar los daños colaterales a suelos, agua, flora y fauna silvestre (acuática y terrestre), el entorno, etc.
- m. La disposición temporal y final del sargazo recolectado.
- n. Dar seguimiento y monitoreo de variables ambientales en los sitios de disposición.
- o. La regulación en cuanto a la disposición y asignación del sargazo como materia prima.

2.1.2 Desarrollar los instrumentos jurídicos y los lineamientos para las buenas prácticas en la recolección, el manejo, la contención, el transporte y la disposición del sargazo.

2.2 Ordenamiento ecológico marino-costero del Caribe mexicano y Golfo de México

Con el objetivo de regular las actividades asociadas al sargazo se requiere implementar un instrumento de política ambiental para el manejo integral de la zona marino-costera, considerando que el sargazo arriba de manera diferencial a las costas mexicanas, especialmente de Quintana Roo. La atención se ha centrado principalmente en las zonas de importancia turística; sin embargo, la acumulación de biomasa podría estar generando severos problemas en zonas desatendidas. Es urgente una regionalización costera para enfocar esfuerzos en ecosistemas, áreas naturales protegidas, desarrollo social, zonas urbanas y turísticas.

2.2.1 Implementar el componente marino del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (24/11/2012).

2.2.2 Considerar el programa de manejo “Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano” para la toma de decisiones.

2.2.3 Identificar los sitios adecuados para la disposición final del sargazo recolectado con base en análisis espaciales multicriterio.

3. COMUNICACIÓN Y EDUCACIÓN

3.1 Desarrollo de estrategias de comunicación y educación ambiental

Es imperante elaborar una estrategia de comunicación y educación ambiental para informar a la población sobre el fenómeno de los arribazones masivos de sargazo, posibles impactos, usos y normas de aprovechamiento y disposición. Esta estrategia debe estar respaldada por el sector científico y tecnológico, a fin de contar con información veraz y verificada.

3.1.1 Es necesaria la integración de un banco de información de datos abiertos que permita el intercambio de información entre diferentes sectores e instituciones para la formación de grupos multidisciplinarios activos, así como la generación y divulgación del conocimiento, además de favorecer la creación de nuevas líneas de investigación y/o participación.

3.1.2 Diseñar una estrategia de comunicación para informar a la población acerca de los aspectos físicos, biológicos, sociales, culturales

y económicos, asociados al sargazo, y destacar que es un recurso biótico que puede ser aprovechado para la elaboración de diferentes bienes de comercio o consumo.

3.1.3 Elaborar materiales para diversas audiencias con el fin de difundir entre la población la importancia de su participación en la prevención del deterioro ambiental y la contaminación de los mares y las costas mexicanas, así como el manejo y el aprovechamiento sostenible del sargazo.

3.1.4 Promover una cultura de cuidado a los océanos entre los sectores de turismo, servicios y en la sociedad, que contribuya a reducir la contaminación ambiental para garantizar la sustentabilidad de los modos de vida de la población.

3.1.5 Diseñar y promover la instrumentación de una estrategia para difundir las leyes, reglamentos, normas y lineamientos que rigen el aprovechamiento de los recursos marinos y la preservación de la costa, el mar y el océano.

4. MONITOREO, MODELACION Y ALERTA TEMPRANA

4.1 Monitoreo del sargazo pelágico por sensores remotos

La creación de un sistema nacional de monitoreo y alerta temprana es fundamental para reconocer oportunamente los puntos de arribo de sargazo, establecer acciones y focalizar los esfuerzos de atención. La detección del sargazo puede realizarse mediante la utilización de sensores remotos diversos, algoritmos creados para dicho fin, vehículos autónomos submarinos (AUV), etc. Cada estrategia tiene capacidades y resolución diferente en la identificación de la distribución y cálculo del volumen de sargazo. La información permite estimar la trayectoria hacia la costa mexicana a partir de datos de detección y oceanográficos mediante modelos de simulación de la distribución y desplazamiento del sargazo, escenarios y pronósticos del desplazamiento.

4.1.1 Analizar las agregaciones de sargazo detectadas por diversos sensores remotos.

4.1.2 Validar o verificar los productos generados con percepción remota con los datos de la caracterización óptica.

4.1.3 Calibrar los modelos de interpretación de los datos de sensores remotos para la cuantificación del sargazo en altamar, aguas someras y playa.

4.1.4 Analizar la relación entre las agregaciones de sargazo y las condiciones oceanográficas e hidrometeorológicas.

4.1.5 Aprovechar e incorporar la infraestructura nacional e internacional para monitorear diversos parámetros biofísicos marinos relacionados con los arribazones de sargazo.

4.2 Monitoreo del sargazo acumulado en las playas de México

Fomentar en la ciudadanía su participación activa para mitigar los arribazones masivos de sargazo a las playas mexicanas y, más aún, para su monitoreo en tiempo real, además de generar una mejor vinculación entre gobierno, academia y sociedad. Una forma de fomentar esta cooperación es mediante la colaboración abierta (crowdsourcing) para permitir a la ciudadanía participar en el proceso de recolección de información para el monitoreo del sargazo, principalmente aquel que arriba y se acumula en las playas.

4.2.1 Uso de aplicaciones bajo el esquema de colaboración abierta, para la adquisición de información en tiempo real sobre las condiciones de acumulación del sargazo en las playas mexicanas.

4.2.2 Desarrollo de mapas de distribución de sargazo en tiempo real a través de la colaboración participativa, para la toma de decisiones a en otras líneas estratégicas.

4.3 Modelación y pronóstico del desplazamiento del sargazo pelágico

Basados en el monitoreo por sensores remotos y de datos oceanográficos, se deben elaborar modelos de simulación de la distribución y desplazamiento del sargazo, así como pronósticos del desplazamiento en función de cambios en diferentes variables ambientales y elementos de cambio climático.

4.3.1 Determinar las ventajas y limitaciones de diferentes modelos numéricos para identificar y pronosticar las trayectorias y tiempos de arribo del sargazo considerando:

a. La aplicación para el control de las operaciones de colecta marítima y terrestre.

b. Los procesos oceanográficos involucrados en su transporte y dispersión a diferentes escalas espacio-temporales.

c. Los procesos de interacción hidrodinámica entre el océano y la zona costera que influyen en el movimiento del sargazo.

d. Evaluar las modelaciones de las rutas de deriva o derroteros de las agregaciones de sargazo usando mediciones directas.

e. Entender las variables que inciden directamente en el fenómeno y diferenciarlas de las respuestas colaterales.

f. Entender la variabilidad a corto, mediano y largo plazo de las

afluencias que llegan a las costas de México.

g. Hacer una integración de las capas atmosféricas, del océano superficial y de la línea de arrecife a nivel costero.

4.4 Sistema de información y análisis marino-costero para generar alertas tempranas

Establecer un sistema de información y análisis marino-costero que integre bases de datos operacionales de registros de monitoreo in-situ, sensores remotos y modelos para derivar sistemas operacionales de alertas tempranas para la toma de decisiones, en particular para alertar sobre la presencia de sargazo pelágico en la superficie marina y costera. Determinar los sitios potenciales de arribo de sargazo pelágico para establecer la logística de acción en la costa con un mejor manejo del recurso financiero.

4.4.1 Generar bases de datos estandarizadas y de acceso abierto sobre la información relativa a los monitoreos del sargazo pelágico, que apoyen el análisis necesario para su investigación y manejo. Dichas bases de datos deben contener lo siguiente:

- a.** Registro de presencias de sargazo pelágico mediante aplicaciones móviles basadas en ciencia ciudadana, con procesos de validación externa para evitar falsos positivos.
- b.** Estadísticas generales del sargazo que arriba a la costa, recolección y disposición final.
- c.** Directorio de instituciones, investigadores y organizaciones de la sociedad civil que se especialicen en temas relacionados con el sargazo.
- d.** Acopio de datos confiables provenientes del monitoreo costero permanente de parámetros físicos, químicos, biológicos y ópticos.
- e.** Datos de grano fino relacionados con el turismo, la pesca y los aspectos socioeconómicos en la región.

4.4.2 Desarrollar un sistema de alerta temprana para la toma de decisiones basado en la detección y modelado que permita pronosticar la trayectoria del sargazo para seleccionar e instrumentar las acciones de contención y recolección más adecuadas, tanto en el mar como en la playa. El sistema requiere de:

- a.** Una metodología detallada para identificar sargazo pelágico y el acumulado en la playa, que incluya las resoluciones espacial, radio-métrica y temporal.
- b.** Una plataforma web interactiva que genere productos operacionales asociados a la alerta temprana, sobre la base de información in situ, de sensores remotos y de modelos.

- c. La generación automática de reportes periódicos que respalden la emisión de una alerta temprana de detección.

5. ORIGEN E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

5.1 Biología del sargazo, origen y causas del crecimiento masivo

Existen diversas hipótesis sobre el origen de las masas flotantes de sargazo pelágico que llega a las costas de México y las causas que generaron un incremento en su crecimiento en los últimos años. Por lo tanto, es necesario reducir los vacíos de conocimiento en ciencia básica sobre las especies de sargazo pelágico (*Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*), las causas de su presencia, la dinámica y variabilidad de su distribución geográfica y su relación con la variabilidad estacional.

5.1.1 Investigar y describir la biología y fisiología del sargazo pelágico *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* y sus morfotipos bajo diferentes condiciones ambientales.

5.1.2 Investigar y describir la tasa de descomposición del sargazo pelágico en diferentes condiciones como altamar, aguas someras, playas, etc.

5.1.3 Caracterizar la diversidad y estructura genética espacio-temporal de las diferentes poblaciones de *Sargassum fluitans*, *S. natans* y sus morfotipos para determinar sus orígenes filogenéticos, origen e interconexión de las poblaciones, especialmente las que arriban a las costas mexicanas, así como su desplazamiento en el océano Atlántico y el mar Caribe.

5.1.4 Caracterizar el microbioma del sargazo en condiciones pelágicas y durante su descomposición en la playa en condiciones aerobias y anaerobias.

5.1.5 Analizar el papel de las comunidades bacterianas asociadas al sargazo en el proceso de descomposición y la consecuente producción de H₂S.

5.1.6 Investigar el crecimiento y la fisiología de *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*, así como sus morfotipos bajo diferentes condiciones ambientales (entre otros, la luz, temperatura, concentración de nutrientes y salinidad).

5.1.7 Comprender la variación interanual del sargazo, así como sus patrones de circulación oceánica y atmosférica, además de las causas de su crecimiento masivo.

5.2 Papel ecológico del sargazo en el Caribe mexicano y golfo de México

5.2.1 Estudiar el sargazo pelágico como hábitat en mar abierto y su variabilidad temporal.

5.2.2 Conocer la diversidad biológica asociada al sargazo en mar abierto, en la laguna arrecifal y en la playa.

5.2.3 Conocer los flujos y captura de carbono del sargazo en mar abierto, laguna arrecifal y en la playa, y su variabilidad estacional.

5.2.4 Estudiar la variabilidad espacio-temporal en la composición bioquímica del sargazo.

5.2.5 Determinar la estructura trófica asociada al sargazo, e impacto ecológico en la biodiversidad de los ecosistemas a los que arriba.

5.2.6 Evaluar el efecto de desechar el sargazo en comunidades bénticas de mar profundo.

6. IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y AMBIENTALES

La implementación de un sistema de monitoreo integral de largo plazo permite evaluar el impacto socioeconómico y ambiental causado por los arribazones masivos de sargazo. Se requiere analizar el impacto sobre la condición ambiental de los ecosistemas marino-costeros y los cambios espaciales y temporales resultado de los arribazones y la sinergia con otras actividades que degradan a los ecosistemas costeros. Es importante analizar los impactos socioeconómicos de la presencia de sargazo en las costas mexicanas en los sectores turístico, de salud y pesquero, lo que permitirá contar con indicadores precisos acerca de la magnitud de la problemática, así como el establecimiento de una agenda dinámica de atención.

6.1 Impactos socioeconómicos

Es fundamental que se analicen los impactos socioeconómicos de la presencia de sargazo en las costas mexicanas para los sectores turístico, salud y pesquero. Lo anterior proporcionará los indicadores de la magnitud de la problemática, así como las acciones que se tienen que llevar a cabo para priorizar su atención.

6.1.1 Determinar y evaluar los impactos socioeconómicos en los diferentes sectores, incluyendo los costos asociados a la remoción del sargazo para diferentes actores y la tasa de desempleo asociada al arribazón de sargazo.

6.1.2 Determinar el impacto a la salud humana por la descomposición anaerobia del sargazo que se acumula de forma masiva en las playas, las zonas de acopio y desecho.

6.1.3 Diseñar sistemas de monitoreo de la calidad del aire relacionada con la descomposición del sargazo acumulado y evaluar sus efectos en la salud humana.

6.1.4 Evaluar y monitorear el posible impacto del inadecuado manejo del sargazo en los acuíferos de la región, particularmente en términos de disponibilidad y calidad del agua.

6.2 Impactos ambientales

Es importante evaluar el impacto que causa el arribazón de sargazo a los ecosistemas marino-costeros, los cambios espaciales y temporales y la sinergia con otras actividades que degradan a los ecosistemas costeros. Los estudios sobre el tema permitirán diseñar medidas de mitigación y/o restauración; los impactos a evaluar deben considerar las afectaciones a corto, mediano y largo plazo.

6.2.1 Evaluar la salud del ecosistema marino-costero en sus componentes bióticos y su comportamiento multianual:

a. Alteración de la calidad del agua por el arribo y la descomposición del sargazo en zonas marinas y de playa, así como en los mantos freáticos debido a los lixiviados del sargazo generados durante su disposición temporal o definitiva.

b. Identificar los cambios en las propiedades ópticas del agua mar y en la atenuación de luz en la columna de agua en las zonas de acumulación del sargazo.

c. Identificar la posible alteración de la condición del sedimento en la laguna arrecifal y la acumulación de materia orgánica y sedimentos finos por el almacenamiento de sargazo.

d. Evaluar la condición y pérdida de la pradera submarina y de sus comunidades biológicas producto del arribo del sargazo.

e. Evaluar la condición de la comunidad coralina y de sus comunidades biológicas producto del arribo del sargazo.

f. Evaluar el impacto de los arribazones de sargazo sobre la biología y reproducción de las tortugas marinas.

g. Evaluar el impacto del sargazo sobre la composición, estructura y servicios ecosistémicos de los manglares y vegetación costera, así como de la fauna silvestre presente en los ecosistemas costeros terrestres, con énfasis en las especies con alguna categoría de riesgo.

h. Evaluar la erosión en playas y los cambios en la morfología costera por los arribazones de sargazo, aunado al uso de maquinaria en la playa para la recolección, que compacta el suelo arenoso.

i. Conocer los cambios biogeoquímicos y de la microbiota producto de las arribazones de sargazo.

j. Identificar la introducción de especies no nativas asociadas a las masas pelágicas del sargazo.

6.2.2 Evaluar y determinar los riesgos a la salud de los ecosistemas terrestres y marinos provocados por el proceso de descomposición anaerobia del sargazo, haciendo énfasis en las concentraciones de ácido sulfúrico y su impacto en la calidad del aire.

6.2.3 Evaluar las afectaciones a la vida marina, en particular a las especies protegidas, provocadas por los cambios en la calidad y salud del ecosistema marino-costero a causa de los arribazones de sargazo.

6.2.4 Evaluar el impacto de los lixiviados derivados de la acumulación masiva de sargazo en los ecosistemas afectados.

6.2.5 Determinar y evaluar la posible relación y sinergia entre los residuos de la degradación del sargazo con las descargas de aguas negras, residuales, así como otros procesos contaminantes sobre la calidad del agua y ecosistemas costeros.

6.2.6 Determinar y evaluar el impacto del arribazón de sargazo en la geomorfología y sedimentología litoral, particularmente las afectaciones a las playas.

7. APROVECHAMIENTO Y USOS

Se requiere establecer públicamente que el sargazo puede ser sujeto a aprovechamiento sostenible y que debe ser regulado. En la actualidad el sargazo, después de su remoción, se convierte en un recurso biológico susceptible a explotación; por lo tanto, es deseable su aprovechamiento regulado y sustentable como materia prima industrial. En este sentido, se debe incentivar el desarrollo tecnológico asociado al aprovechamiento sustentable del sargazo, tanto para uso local como regional, y así generar cadenas de valor.

Además, se requiere identificar y validar la factibilidad técnica de los usos reales y potenciales del sargazo, así como desarrollar la investigación científica necesaria para descartar, en su caso, la contaminación por metales pesados u otro compuesto que impida su uso. Ambas acciones deben ser el punto de partida para definir las cadenas de valor y determinar la factibilidad económica del procesamiento para su comercialización. Esto permitiría que Estado Mexicano se enfoque en regular y promover la investigación, tanto científica como tecnológica, para el aprovechamiento sostenible del sargazo, con lo que se evitaría el gasto de recursos públicos en su remoción y disposición.

7.1 Aprovechamiento sustentable e innovación

7.1.1 Impulsar el desarrollo de técnicas de pre-procesamiento que faciliten la conservación de sargazo considerando que hay una alta viabilidad interanual en su arribo, la industria requiere de procesos de conservación de la materia prima para mantener su producción.

7.1.2 Evaluar los costos de construcción y funcionamiento de plantas de secado y prensado del sargazo, mediante el análisis de los volúmenes de sargazo que se pueden manejar por día y por planta de tratamiento.

7.1.3 Evaluar las tecnologías disponibles a través de contratos de licenciamiento, asimilación o reproducción de patentes de proceso vigentes o expiradas.

7.1.4 Crear innovación tecnológica de última fase orientada al escalamiento de tecnologías probadas.

7.1.5 Generar prototipos de escala preindustrial, industrial y comercial.

7.1.6 Realizar estudios orientados al establecimiento de normatividad, normalización y métodos de prueba.

7.1.7 Generar estudios de factibilidad técnica económica derivados de las tecnologías asociadas y sistemas de análisis o métodos analíticos innovadores asociados a la evaluación de la inocuidad, riesgo microbiológico, toxicológico y caracterización de composición.

7.1.8 Determinar la composición bromatológica del sargazo y la respuesta a distintas condiciones de manejo para evaluar su potencial para consumo.

7.1.9 Realizar estudios sobre la funcionalidad ecológica, agrícola, ecosistémica, alimentaria, nutricional y mecánica de los productos generados a partir del sargazo.

7.1.10 Realizar estudios sobre el riesgo ecológico, hidrológico, hidrogeológico y de procesos, provocados por la generación de productos a base de sargazo.

7.1.11 Todo estudio que involucre sargazo debe de ir acompañado de su trazabilidad, así como de los factores bióticos y abióticos de cada etapa.

7.1.12 Los estudios de composición química de sargazo deben ir acompañados de su sitio de colecta y de los factores climáticos para poder definir dónde absorbió los elementos presentes.

7.2 Usos industriales potenciales

La recolección de sargazo fresco, ya sea en mar abierto, en barreras de contención o la laguna arrecifal, permite explorar una amplia gama de uso y aprovechamiento que se puede dar al sargazo. Por el contrario, el destino final del sargazo recolectado en playa en proceso de descomposición

podría ser el de generación de energía por medio de metanogénesis, en combinación con otros residuos orgánicos, y también como composta para la fertilización de cultivos agrícolas. En el caso de la colecta de sargazo fresco, es muy importante que se establezcan protocolos para el procesamiento del sargazo en la embarcación, evitar la generación de lixiviados y aumentar el potencial económico. A continuación, se enlistan algunos de los posibles usos industriales del sargazo.

7.2.1 Explorar la generación de bienes agropecuarios a partir de sargazo, enfocados a la conservación y mejora del suelo en zonas degradadas y la producción de otros insumos para la producción agrícola y pecuaria.

7.2.2 Explorar la generación de energía a partir del sargazo por métodos directos o indirectos, privilegiando la bioconversión y procesos de combustión directa en distintas modalidades, ejemplo de lo anterior es:

- a. Digestión anaerobia y metanogénesis.
- b. Quema directa, bioenergía y carbonización hidrotérmica (opción con baja eficiencia).
- c. Biocombustible derivado de fermentación o biotransformación (bioetanol, biodiesel y bioturbosina).
- d. Extracción de aceites biocombustibles de biomasa algal.

7.2.3 Explorar la obtención de alimento animal y humano a base de sargazo, considerando los criterios de inocuidad alimentaria y bioseguridad pertinentes con diferentes grados de procesamiento:

- a. Formulación y mezclado.
- b. Estabilización físico-química.
- c. Análisis de riesgo de preparaciones alimenticias y nutricionales por métodos fisicoquímico, microbiológico, toxicológico. Considerar normatividad asociada (requiere de análisis químico para metales, metales pesados, grasas y aceites, cromatografía de gases y toxicología).
- d. Proceso agro-industrial del sargazo.
- e. Biorefinación y fraccionamiento (sacarificación por hidrólisis química y enzimática de la biomasa).
- f. Separación de metales tóxicos.
- g. Aplicaciones en nutrición avanzada de animales y humanos.
- h. Aprovechamiento para maricultura y acuicultura.

7.2.4 Explorar la generación de bienes especializados derivados del sargazo como especialidades y precursores químicos, compuestos bioactivos de alto valor, para la industria farmacéutica, cosmética, nutricional, entre otras, así como biomateriales para la industria textil, del calzado, de construcción, etc.:

a. Fomentar la generación de industria asociada con empleos de mayor vigencia y nivel de profesionalización.

b. Generar bio-polímeros a partir de procesos de extracción, sacarificación de la biomasa del sargazo y fermentación de los azúcares obtenidos.

En todos los casos es necesario explorar nuevas alternativas de uso, preferentemente orientadas a resolver problemas nacionales o regionales claramente identificados y de manera sostenible.

8. COOPERACIÓN INTERNACIONAL

8.1 Colaboración internacional para la atención del sargazo en el Gran Caribe

Los efectos adversos en materia ecológica y comercial de los arribazones masivos de sargazo en la Cuenca del Caribe, que se han presentado desde 2015, requieren de una estrategia multilateral y dinámica que reúna el conocimiento científico, académico y operativo. Por lo anterior, la colaboración internacional tiene una importancia incuestionable, ya que nos enfrentamos a eventos de escala regional y continental. Es fundamental la conformación de un consorcio de países de la región que promueva el establecimiento de tratados internacionales para la regulación de la contaminación que llega a los mares y que impulsa el incremento masivo del sargazo.

Igualmente, se requiere establecer proyectos de colaboración entre instituciones de los países de la región para generar capacidades locales y regionales, promover la transferencia de tecnología, el intercambio de experiencias y todas aquellas acciones que permitan enfrentar este reto de manera coordinada internacionalmente. De esta manera se fomenta la adaptación a los nuevos paradigmas y condicionantes del cambio climático para la conservación de los ecosistemas marino-costeros, así como la consideración del sargazo como un potencial recurso natural que desarrolle e impulse oportunidades equitativas y sostenibles en la región.

8.1.1 Promover una agenda científica, tecnológica y operativa común en la cuenca del Caribe que atienda con una perspectiva ecológica, social y sostenible los arribazones masivos de sargazo y sus consecuencias.

8.1.2 Generar la colaboración en el Caribe en torno al fenómeno del

crecimiento y arribo masivo de sargazo, privilegiando su uso como mecanismo para la captura de CO₂ y la cosecha de sargazo previo a su arribo a la playa, para que su adecuado manejo mitigue su impacto ecológico.

8.1.3 Promover la cooperación internacional para el aprovechamiento y mitigación de arribazones de sargazo con el fin de:

- a. Generar capacidades locales y regionales.
- b. Transferencia tecnológica.
- c. Intercambio e interoperabilidad de bases de datos.
- d. Intercambio de experiencias.
- e. Verificación de los cumplimientos de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 y las metas de Aichi.
- f. Crear una Plataforma conjunta y distribuida de visualización Web que integre todas las disciplinas en torno a la problemática del sargazo.
- g. La Década de los océanos para el Desarrollo Sostenible 2021-2030.
- h. Evaluar la pertinencia de ratificar el Protocolo de Cartagena.

8.1.4 Promover la creación de un consorcio internacional de instituciones de investigación regional en el Caribe para el estudio interdisciplinario de los procesos oceánicos y costeros, aprovechando las diferentes infraestructuras de investigación y monitoreo existentes, así como aquellas que vayan surgiendo como respuesta a diferentes necesidades de la región, para generar un centro para el seguimiento y la atención al crecimiento explosivo y movimiento de las grandes poblaciones de sargazo pelágico.

8.1.5 Convocar a los organismos internacionales de la salud para generar un documento concluyente para el aprovechamiento del sargazo en diversas industrias. Éste debe de puntualizar los efectos del sargazo en la salud, con la finalidad de generar, a través de la cooperación regional, la regularización y usos múltiples del sargazo.

8.1.6 Promover la cooperación internacional de diversas instituciones para colaborar en el estudio, la mitigación y solución de arribazones de sargazo pelágico al Caribe.

9. RESTAURACIÓN

9.1 Restauración de ecosistemas, rehabilitación y recuperación de la zona costera

Los ecosistemas costeros afectados por los arribazones masivos de sargazo requieren restaurarse para recuperar los servicios ecosistémicos afectados y de los cuales la sociedad se beneficia. Las acciones de restauración necesitan conocimiento científico que permita, además de la restauración en las condiciones actuales, definir

medidas para manejar los ecosistemas sustentablemente para facilitar o inducir su adaptación a las nuevas condiciones, tanto por el cambio climático como por la aparición de fenómenos como el del sargazo.

9.1.1 Definir las acciones necesarias para la restauración y rehabilitación de los ecosistemas a corto, mediano y largo plazo.

9.1.2 Desarrollar estrategias locales de manejo costero integrado con base en la restauración de ecosistemas costeros.

9.1.3 Realizar proyectos que estudien el cambio en los procesos costeros derivados del impacto del sargazo en la costa, su remoción no controlada y zonas donde se perdieron las praderas de los pastos marinos, además de plantear soluciones desde la óptica de la restauración de los ecosistemas característicos del sitio:

- a.** Análisis dinámico de playas.
- b.** Recuperación de la dinámica litoral.
- c.** Extracción de arena de bancos autorizados, transporte y vertido de arena.
- d.** Reforestación de las dunas costeras.
- e.** Restauración de corales.
- f.** Restauración de praderas de pastos marinos.
- g.** Estudios de calidad del agua.
- h.** Estudios de calidad del aire.

Literatura consultada

Aguirre Muñoz, A. (2019), “El sargazo en el Caribe mexicano: de la negación y el voluntarismo a la realidad”, *Sustentabilidad*, Gaceta Digital del Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C, CeIBA, número 2, México, CDMX, 5 de septiembre. <https://www.conacyt.gob.mx/sargazo/images/pdfs/EL_Sargazo_en_el_Caribe_Mexicanopdf.pdf>

Ardalan, Y., M. Jazini y K. Karimi (2018), *Sargassum angustifolium brown macroalga as a high potential substrate for alginate and ethanol production with minimal nutrient requirement*. *Algal research*, 36, 29-36.

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca) (2019), *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2017*, Mazatlán, Sinaloa.

Djakouré, S., M. Araujo, A. Hounsou-Gbo, C. Noriega y B. Bourlès (2017), “On the potential causes of the recent Pelagic Sargassum blooms events in the tropical North Atlantic Ocean”, *Biogeosciences, Manuscript*. 20 p. <<https://doi.org/10.5194/bg-2017-346>>.

Gower, J. y S. King (2019), “Seaweed, seaweed everywhere”, *Science*, 365 (6448), 27-27.

Hu, C., B. Murch, B. Barnes, M. Wang, J.P. Maréchal, J. Franks y A. Siuda (2016), “Sargassum watch warns of incoming seaweed”, *Eos*, 97, 10-15.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018), *Memoria del taller sobre el conocimiento de la arribazón de sargazo a la costa del Caribe mexicano: investigación, manejo y colaboración*. Documento de trabajo.

Jard, G., H. Marfaing, H. Carrère, J.P. Delgenes, J. P. Steyer y C. Dumas (2013), “French Brittany macroalgae screening: composition and methane potential for potential alternative sources of energy and products”, *Bioresource technology*, 144, 492-498.

Li, C., X. Li, L. You, X. Fu, y R.H Liu (2017), “Fractionation, preliminary structural characterization and bioactivities of polysaccharides from *Sargassum pallidum*”, *Carbohydrate polymers*, 155, 261-270.

Louime, C., J. Fortune y G. Gervais (2017), “Sargassum invasion of coastal

environments: a growing concern”, *Am J Environm Sci*, 13(1), 58-64.

Murphy, J. D. (2015), “Biogas from macroalgae. In: State of technology-Algae Bioenergy”. *International Energy Agency*, ISBN: 978-1-910154-30-4.

Putman, N. F., G.J. Goni, L.J. Gramer, C. Hu, E.M. Johns, J. Trinanes y M. Wang (2018), “Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea”, *Progress in Oceanography*, 165, 205-214.

Quijano, G., I. Figueroa-González y G. Buitrón (2018), “Fully aerobic two-step desulfurization process for purification of highly H₂S-laden biogas”, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(12), 3553-3561.

San-Valero, P., J.M. Peña-Roja, F.J. Álvarez-Hornos, G. Buitrón, C. Gabaldón y G. Quijano (2019), “Fully aerobic bioscrubber for the desulfurization of H₂S-rich biogas”, *Fuel*, 241, 884-891.

Tsuchiya, Y. (1979), “Polyhydroxyphenols in some brown algae”, en H.A. Hoppe et al. (eds.). *Marine Algae in Pharmaceutical Science*. Walter de Gruyter, Berlin and New York. pp. 545-550.

University of South Florida Optical Oceanography Lab (2019). *Outlook of 2019 Sargassum blooms in the Caribbean Sea*, junio.

Van Tussenbroek, B. I., H.A.H. Arana, R.E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Avalos, H.M. Canizales-Flores, C.E. González-Godoy y L. Collado-Vides (2017), “Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities”, *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 272-281.

Wang, M., Ch. Hu, B. B. Barnes, G. Mitchum, B. Lapointe y J.P. Montoya (2019). “The great Atlantic Sargassum belt”, *Science* 365: 83-87.

Wang, M. y C. Hu (2017), “Predicting Sargassum blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations”, *Geophysical Research Letters*, 44(7), 3265-3273.

Wen, G., J.J. Schoenau, S.P. Mooleki, S. Inanaga, T. Yamamoto, K. Hamamura, y P. An (2003). “Effectiveness of an elemental sulfur fertilizer in an oilseed-cereal-legume rotation on the Canadian prairies”, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(1), 54-60.