

Diagnóstico del nivel de maduración tecnológica de los proyectos realizados en instituciones de investigación y universidades en México para mitigar el problema del sargazo

Fuentes Martínez, Enith Fidelia
Centro de Ingeniería y
Desarrollo Industrial (CIDESI)
México
enith.fuentes@cidesi.edu.mx

Salgado Jiménez, Tomás
Centro de Ingeniería y
Desarrollo Industrial (CIDESI),
México
tsalgado@cidesi.edu.mx

Orea Ortiz, Antonio
Centro de Ingeniería y
Desarrollo Industrial
(CIDESI), México
antonio.orea@cidesi.edu.mx

Ríos Martínez, Edson
University of Twente,
México

Palabras clave: TRL, Niveles de Maduración Tecnológica, Sargazo, I+D+i, inventario de proyectos.

El grupo de investigadores del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), ofrece un agradecimiento especial al “Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales” CONVOCATORIA 2019-01 de la Secretaría de Marina (SEMAR) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo de recursos para el desarrollo del proyecto “Evaluación técnica de equipamiento especializado para la contención, colecta y evaluación de alternativas de procesamiento de algas pelágicas en mares someros” (demanda 1), de donde se desprende el presente trabajo de investigación, como parte de la producción científica.

1. Abstract

En 2010 se reconoció una nueva zona denominado como nuevo mar de los sargazos en la región del Atlántico Sur, frente a las costas de Brasil y África. En el año 2011 se detectaron arribazones significativos de sargazo pelágico o flotante en el mar Caribe mexicano. Bajo esta problemática global creciente y las afectaciones regionales de la flora y fauna marina como del turismo nacional, una importante industria en México, el gobierno a través de esfuerzos dedicados en una “Agenda de ciencia, tecnología e innovación para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo pelágico a México” el cual tiene como objetivo 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 contribuya 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 (CONACYT, SEMAR, INECC, IMTA, & CONABIO, 219).

En concordancia con los objetivos y las líneas estratégicas planteadas en dicha Agenda, se deriva el presente trabajo de investigación sobre la gestión tecnológica aplicada que busca identificar el Nivel de Maduración Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), a través de una “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i” en un proceso de análisis sistemático y estandarizado de los diversos proyectos en México, que puedan ser escalables en el corto plazo para su implementación en el procesamiento sustentable en pro de la mitigación de las problemáticas y las afectaciones por arribazones de Sargazo en costas Mexicanas.

2. Introducción

El sargazo es un conjunto de macroalgas marinas, entre sus características físicas de las especies identificadas en México, son algas pardas y tienen diversas texturas (rizadas, laminadas, en estirpe). Algunas especies de sargazo tienen versículos con gas que les permite mantenerse a flote en el océano y desarrollarse. Las especies más representativas de sargazo que conforman los mantos flotantes son: *Sargassum natans* y *S. fluitans*.

El sargazo en el océano funciona como hábitat, refugio y sitio de alimentación o desove para varias especies marinas que utilizan estas macroalgas como medio de alimentación, protección y transporte (Caballero-Velázquez, Acosta- González, & Hernández-Cepeda, 2020).

En 2010 se reconoció una nueva zona, denominado como nuevo mar de los sargazos en la región del Atlántico Sur, frente a las costas de Brasil y África. En el año 2011 se detectaron arribazones significativos de sargazo pelágico o flotante en el mar Caribe mexicano. Es conocido que el sargazo sigue la corriente marina que circula en las latitudes tropicales desde el continente africano hasta el continente americano. Desde el 2011 y de manera más considerablemente desde el 2015 se han presentado arribazones de sargazo en las playas del Caribe mexicano. Se estimó que en 2018 el peso vivo en el mar de esta alga fue de más de 20 millones de toneladas, distribuidas a lo largo de una extensión de más de 8,850 km entre los continentes africano y americano, este dato proporciona una idea de la magnitud del problema (Caballero-Velázquez, Acosta- González, & Hernández-Cepeda, 2020 y Wang, et al.,2019).

Las afectaciones del sargazo sobre los hábitats regionales son graves, en especial los ecosistemas de arrecifes y los ecosistemas costeros. La enorme cantidad de sargazo que llega a la costa se acumula y se descompone en la playa, por lo que causa alteraciones en la calidad del

ambiente. Los recurrentes eventos de afluencia atípica e incremento de biomasa de sargazo se han relacionado con altas concentraciones de nutrientes en el agua. Asimismo, la descomposición del sargazo en la playa permite la proliferación de bacterias que, como consecuencia, pueden alterar la química del agua, lo que resulta en la muerte de peces, crustáceos, tortugas y tiburones pequeños por la generación de condiciones anóxicas (Caballero-Velázquez, Acosta- González, & Hernández-Cepeda, 2020 y Rodríguez-Martínez, et al., 2020). La descomposición del sargazo en el agua somera genera ácido sulfhídrico, el cual provoca la elevación de la temperatura entre 3°C y 4°C, esto destruye el hábitat de peces, crustáceos y moluscos, además de inducir la pérdida de los arrecifes (Caballero-Velázquez, Acosta- González, & Hernández-Cepeda, 2020 y (Louime, Fortune, & Gervais, 2017).

Otro efecto no menos importantes para México es el efecto en el turismo nacional e internacional, economía muy importante en la región y en nuestro país, por ejemplo en 2018 la mitad de los recursos financieros generados por México en el sector turístico fueron generados en el mar Caribe, con una derrama de 11,500 millones de dólares.

Aunque el fenómeno del incremento del Sargazo aún se estudia y existen diversas teorías, en lo que los científicos sí están de acuerdo es que estos arribazones masivos de sargazo en las costas mexicanas serán persistentes en los siguientes años. Por ello la importancia de tomar acciones concretas y poder enfrentar esta problemática ecológica y económica que afecta a la región. De no tomarse las acciones de mitigación como las que se proponen en este proyecto y darles un seguimiento adecuado para su implementación y operación óptima, se corre el riesgo de un eventual cambio en la ecología de la región marina y costera del Caribe, con afectaciones muy graves ecológicas y económicas.

Bajo esta problemática global creciente, las afectaciones regionales de la flora y fauna marina y el turismo nacional, una importante industria en México, el gobierno mexicano ha dedicado esfuerzos con el objetivo de identificar líneas estratégicas para la creación de capacidades y generación de conocimiento para la atención, adaptación y mitigación del arribo masivo de sargazo pelágico, 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 (CONACYT, SEMAR, INECC, IMTA, & CONABIO, 219), por tal motivo el presente proyecto describe la creación de una “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”, a través de un proceso de análisis sistemático y estandarizado de los diversos proyectos en etapas de desarrollo en México.

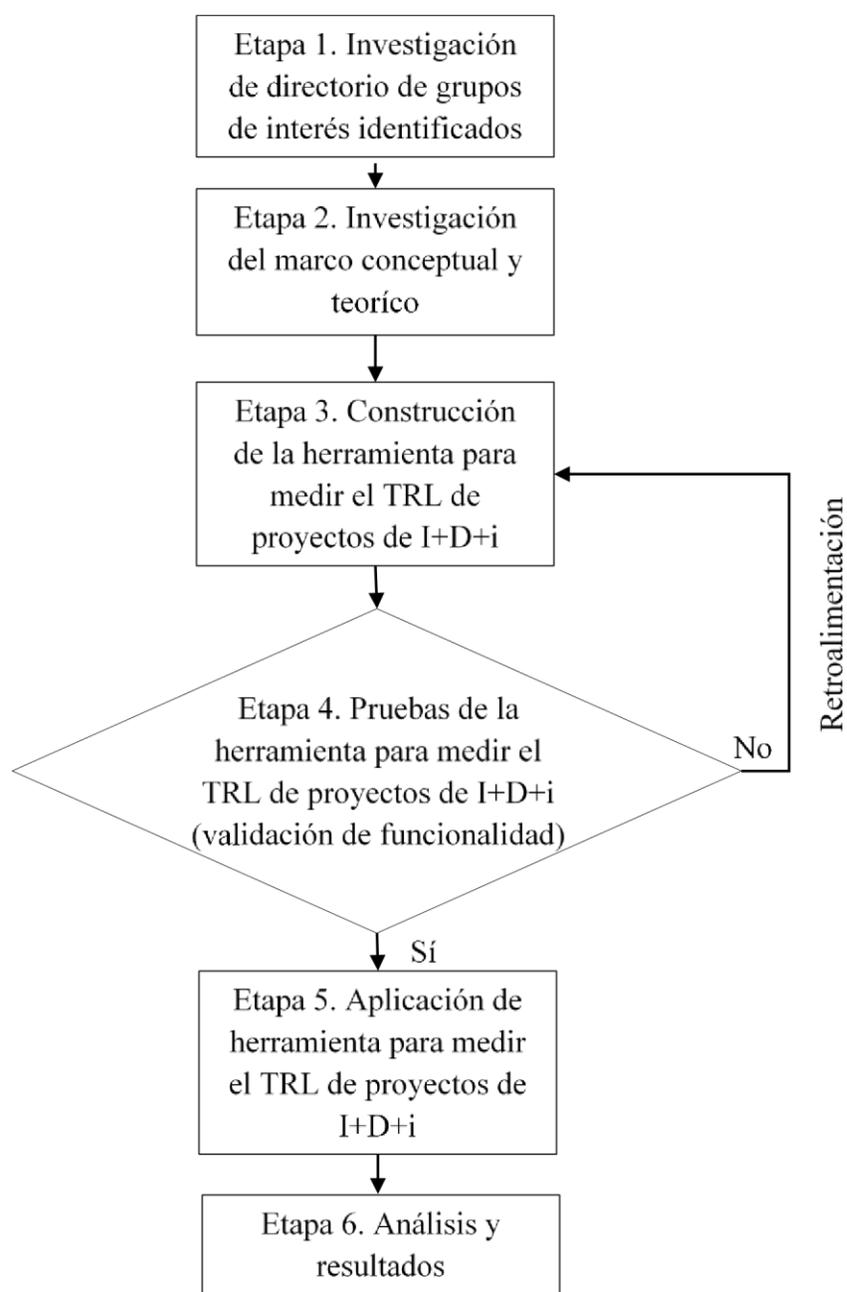
3. Metodología

La metodología a emplear se basa en un análisis cuantitativo y cualitativo, en el cual se desarrolla trabajo de campo mediante el diseño de una encuesta que se realiza a centros de investigación y universidades. Dicha encuesta integra los reactivos que permiten cuantificar el Nivel de Maduración Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), misma que se basa en herramientas publicadas por CONACYT.

Con base al contexto anterior, para identificar el nivel de maduración TRL, se establecieron las siguientes etapas del proceso para el desarrollo y aplicación de una herramienta dominada “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”, aplicada a una matriz de un inventario proyectos tecnológicos.

Figura 2. Proceso para la creación, aplicación y análisis para el diagnóstico del nivel de maduración tecnológica de los proyectos realizados en instituciones de investigación y universidades en México para mitigar el problema del Sargazo en el Caribe Mexicano

Fuente: Elaboración propia (2021).



4. Desarrollo

4.1. Etapa 1. Investigación de directorio de grupos de interés identificados

En esta etapa inicial se exploró e identificaron los esfuerzos de I+D que se están realizando en México para mitigar el problema del Sargazo. Mediante dicha identificación se logró conocer detalles sobre los proyectos y artículos científicos divulgados en fuentes formales disponibles públicamente en la web. De tal modo que se construye un directorio de contactos, tanto de Centros de Investigación como de Universidades.

En ese sentido se realizó un proceso institucional de invitación para que los investigadores identificados participen contestando el cuestionario y con eso conocer el nivel de maduración tecnológica y de viabilidad de sus proyectos.

Se envió la invitación a 40 investigadores de 34 centros de investigación y 31 investigadores de 15 universidades.

4.2. Etapa 2. Investigación del marco conceptual y teórico

El presente análisis se basa en un análisis cuantitativo y cualitativo, que se realiza de manera sistemática y estandarizada para los diversos proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) en México. Para ello, se elaboró una “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”, que se basa en los Niveles de Maduración Tecnológica de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Mexicano. Cabe mencionar que los Niveles de Maduración Tecnológica o también conocidos como TRL en México (por sus siglas en inglés), se fundamentan en los Technology Readiness Level, de la

NASA; los cuales fueron regionalizados por el CONACYT en México para la evaluación y apoyo de proyectos de I+D+i.

Nivel de Maduración Tecnológica (TRL)

Análisis de viabilidad

El análisis de viabilidad debe aplicarse en las fases de planificación del proyecto, de análisis del problema, de análisis de decisión y de diseño físico e integración. Por tanto, el análisis de viabilidad debe llevarse a cabo a lo largo de todo el ciclo de vida del desarrollo del proyecto (Fernández, 2006).

Aunque el análisis de viabilidad en las primeras fases del desarrollo de un sistema no sea muy exacto, proporciona la suficiente información como para poder describir si está justificado estudiar el desarrollo de proyecto para el problema que se quiere solucionar o la oportunidad que se quiere aprovechar.

Viabilidad técnica

En la viabilidad técnica se analiza la capacidad real para que la oferta de productos o servicios que produzca el proyecto satisfaga la demanda, que tipos de recursos se necesitan y si hay posibilidad real de conseguirlos (Munguía & Protti, 2013). La viabilidad técnica está íntimamente relacionada a las capacidades del entorno, mercado y sector para el suministro (González Fernández, 2014). La viabilidad técnica también implica comprobar que haya elementos que aseguren la posibilidad de llevar a cabo la idea de negocio de manera satisfactoria y en condiciones de seguridad con la tecnología disponible, mediante la verificación de diversos factores, como resistencia estructural, durabilidad, operatividad, mecanismos de control, etc.

(Aguilar, 2014). La viabilidad técnica tiene como objetivo estudiar si la organización es capaz de construir el sistema o proyecto propuesto. Por tanto, solo se podrá realizar un estudio de viabilidad técnica cuando se tenga que resolver o evaluar cuestiones técnicas (fases de diseño o implementación) (Fernández, 2006).

Viabilidad de mercado

Se relaciona con comprobar que la oferta del producto o servicio es de alta calidad y que tiene cualidades atractivas para los clientes, mismas que permiten que el producto o servicio tenga oportunidad de competir con productos semejantes y sustitos actuales en el mercado. Además, asegurar que la demanda de clientes reales que desean el producto o servicio es sobresaliente (Aguilar, 2014).

Escalabilidad

La escalabilidad se relaciona con la capacidad de un equipo para enfrentarse a volúmenes de trabajo cada vez más grandes sin dejar de dar un nivel de rendimiento aceptable (Colobran Huguet, Arques Soldevila, & Galindo, 2012). Además, el escalamiento empresarial se define como la manera en que las compañías se organizan para poder crecer en sus diferentes etapas sin perder clientes disminuir la calidad o cambiar la proposición de valor de la organización (CavazosArroyo & Giuliani, 2017). Esto significa que el modelo de negocio ofrece el potencial para el crecimiento económico de la organización (Dennis Mathaisel, 2015).

De acuerdo con los conceptos anteriores, los niveles de maduración tecnológica (TRL) son una herramienta empleada para conocer el estatus presente de un proyecto de I+D+i con el objetivo de identificar las etapas a seguir o faltantes para lograr llevar dichos proyectos a tecnologías viables al mercado.

Tabla 1. Niveles de Maduración Tocológica, CONACYT.

Fuente: Con base a los parámetros de medición de TRL del CONACYT (Anexo 1. Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT, 2021).

Nivel	Nivel relativo de la tecnología.	Definición	Descripción concepto industrial
0	Investigación científica básica.		
1	Investigación aplicada - tecnológica básica.	Observación y reporte de principios básicos.	Este corresponde al nivel más bajo en cuanto al nivel de maduración tecnológica. Comienza la investigación científica básica. Se comienza la transición a investigación aplicada.
2	Validación conceptual.	Concepto de la tecnología o Formulación de la aplicación.	Una vez que los principios básicos se observan, aplicaciones prácticas pueden llegar a una invención. Las aplicaciones son aún especulativas y puede aún

			<p>no haber pruebas o análisis detallados que confirmen dichas suposiciones. Se tienen como evidencia publicaciones que describen una aplicación y que puedan proveer de un análisis para confirmar el concepto. El paso del nivel 1 al 2 consiste en la movilización de las ideas de la ciencia pura a la ciencia aplicada.</p>
3		<p>Prueba de concepto II,</p>	<p>Las actividades que se llevan a cabo son fuertemente de investigación y desarrollo, que incluyen estudios analíticos y estudios a escala laboratorio para validar físicamente las</p>

			<p>predicciones de los elementos separados de la tecnología. Se incluyen pruebas de laboratorio para medir parámetros y comparación con predicciones analíticas de subsistemas críticos. El trabajo ha evolucionado de un artículo científico a trabajo experimental que verifica que el concepto funciona como esperado. Los componentes de la tecnología son validados, pero aún no hay una intención de integrar componentes a un sistema completo. Modelado y simulación pueden ser usados para complementar los experimentos físicos.</p>
--	--	--	--

4	Desarrollo tecnológico.	Validación de componentes o sistema en un ambiente de Laboratorio.	<p>Los componentes básicos están integrados, estableciendo que funcionarán en conjunto. Las etapas del 4 al 6 representan el puente de la investigación científica a la ingeniería. Este nivel es el primero para determinar si los componentes individuales trabajarán juntos como un sistema. Un sistema de laboratorio muy probablemente será una mezcla de equipo manual y componentes que requieran manejo especial, calibración o Alineación para que funcionen en conjunto.</p>
---	-------------------------	--	--

5		Componentes integrados a manera que la	Los componentes tecnológicos básicos son
		configuración del sistema sea similar a su aplicación final. Su operatividad es aún a nivel laboratorio.	integrados a manera de que la configuración del sistema sea similar a una aplicación final en casi todas sus características. Se dan pruebas a escala en laboratorio y un sistema operativo condicionado. La diferencia mayor entre el nivel 4 y 5 es el incremento en la fidelidad del sistema y su ambiente hacia la aplicación final. El sistema probado es casi prototipo.

6	Demostración tecnológica.	Sistema de ingeniería en validación en ambiente en condiciones relevantes a las reales operativas. Aún a nivel prototipo.	Prototipo piloto con ingeniería con condiciones de escalamiento que le permitirán a la tecnología llegar a un sistema operativo. El prototipo debe ser capaz de
			desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo.
7	Comisionamiento de sistemas.	Prototipo completo demostrado en ambiente relevante.	Prototipo final con sistema operativo funcional.
8		Sistema final completo y evaluado a través de pruebas y demostraciones.	La tecnología ha sido probada en su forma final y bajo condiciones supuestas. En muchos casos significa el final del desarrollo del sistema.

9	Operación del sistema.	Operación de Sistemas.	La tecnología se encuentra en su forma final y operable en un sin número de condiciones operativas.
---	------------------------	------------------------	---

4.3. Etapa 3. Construcción de la herramienta para medir el TRL de proyectos de I+D+i

Con base en la Guía de Diagnóstico de Nivel de Maduración Tecnológica, presentada por CONACYT, para el diagnóstico de proyectos que parte del modelo de Niveles de Maduración Tecnológica de la NASA y se complementa con conceptos del Modelo Nacional de Gestión de Tecnología (NMX-GT-004-IMNC-2012); se diseñó el siguiente cuestionario para realizar el diagnóstico de maduración tecnológica de proyectos de I+D+i.

De dicha metodología empleada se obtienen indicadores de ponderación Total de los niveles TRL (1-9) de acuerdo con el tipo de viabilidad identificada en cada nivel; con lo que se establece que 1.- Viabilidad comercial implica una ponderación de 31, 2.- Viabilidad de escalabilidad una ponderación de 46 y 3.- Viabilidad técnica una ponderación de 28.

Del total de indicadores obtenidos para la ponderación final de los TRL (1-9) de acuerdo con el tipo de viabilidad identificada en cada nivel se tiene:

Tabla 2. Ponderación total de indicadores de la “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”.

Fuente: Elaboración propia (2021).

	Viabilidad Comercial	Viabilidad de escalabilidad	Viabilidad Técnica
Ponderación TOTAL de nivel TRL	31	46	28

La estructura de la herramienta se divide además, en cuatro grandes secciones para la identificación del TRL de proyectos en desarrollo:

1. Datos del proyecto de investigación
2. Viabilidad Técnica
3. Viabilidad de escalabilidad
4. Viabilidad de mercado

Se investigaron y concentraron los grupos de interés de acuerdo a la siguiente referencia.

1. Universidad o Centro de investigación
2. Emprendedor independiente
3. Empresa
4. Gobierno

En esta etapa también se realiza la investigación del entorno científico, donde se analizaron diversos subtemas o tópicos de interés para un análisis tipo benchmarking, para la investigación de instituciones con proyectos de I+D+i aplicada al procesamiento del Sargazo, de acuerdo a la cadena de valor identificada, los cuales son: Detección, Contención, Colecta y Procesamiento primario (que se subdivide en tecnologías de prensado, secado, triturado/molienda y centrifugado).

4.4. Etapa 4. Pruebas de la herramienta para medir el TRL de proyectos de I+D+i

Dentro del desarrollo de la construcción, existe una etapa de validación de la comprensión de la herramienta (funcionalidad). Por lo que en esta etapa se realizó una corrida interna del llenado de la “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”, para retroalimentar y mejorar el cuestionario, con la participación de investigadores que trabajan en el desarrollo de diversos proyectos de I+D+i en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI).

Cabe señalar que durante este ejercicio fue posible determinar el tiempo requerido para el llenado de la información. Una vez integradas las mejoras a la herramienta se concluye con el periodo de prueba y se estructura mediante Google Forms el cuestionario en línea, lo que permitirá el fácil alcance de la herramienta para su ejecución.

4.5. Etapa 5. Aplicación de herramienta para medir el TRL de proyectos de I+D+i

En esta etapa del desarrollo del proyecto se lleva a cabo la ejecución de la aplicación de la herramienta, mediante la siguiente estrategia:

- Se gestionaron invitaciones personalizadas para invitar a las instituciones académicas (universidades y centros de investigación), a través de un oficio formal de director a director.
- En respuesta a las confirmaciones de aceptación de la invitación se contactaron a los grupos de investigación de los proyectos identificados.

- Se respondieron algunas dudas en torno al desarrollo del presente proyecto y sobre el llenado de la herramienta.
- Se notificó aviso previo sobre el periodo vigente para el llenado de la herramienta.

5. Resultados (Etapa 6)

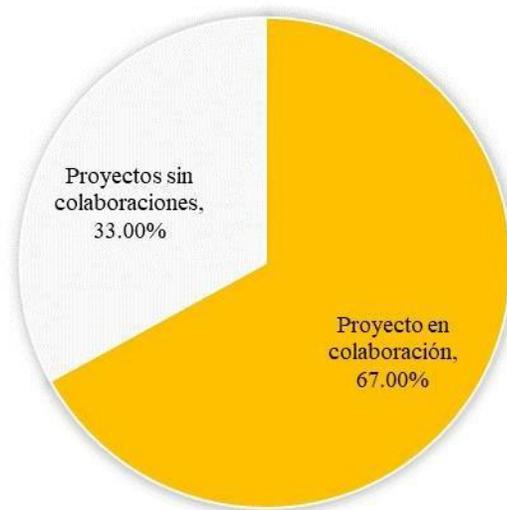
Se registraron 122 proyectos y estudios entre Centros de Investigación Públicos (CIP) e Instituciones de Educación Superior (IES) reportados a través de periódicos, revistas científicas, reportes técnicos, tesis, tesinas entre otros. De estos 122, participaron 71 (58.2%) en el llenado del cuestionario. Se filtraron esta cantidad por cuestiones de logística operativa. Los reportes de periódico, tesis, tesinas, monografías o estudios específicos que no se tomaron en cuenta fue debido a la complejidad de conseguir los contactos de las personas (ex alumnos, ex investigadores etc.). De los 71 proyectos contactados, se obtuvo respuesta del cuestionario de 37 personas (52.11%).

El 67% de los proyectos e investigaciones trabajan en colaboración entre CIP, IES e IESVIP, mientras el 33% son estudios que se desarrollaron de manera interna (dentro de cada institución) (gráfica 1).

También se observó que la mayoría de las colaboraciones entre CIP documentan sus hallazgos mediante artículos científicos mientras que en las IES también hay investigaciones desarrolladas en trabajos para obtención de grado como monografías, tesis o tesinas de alumnos de licenciatura, especialidad o maestría.

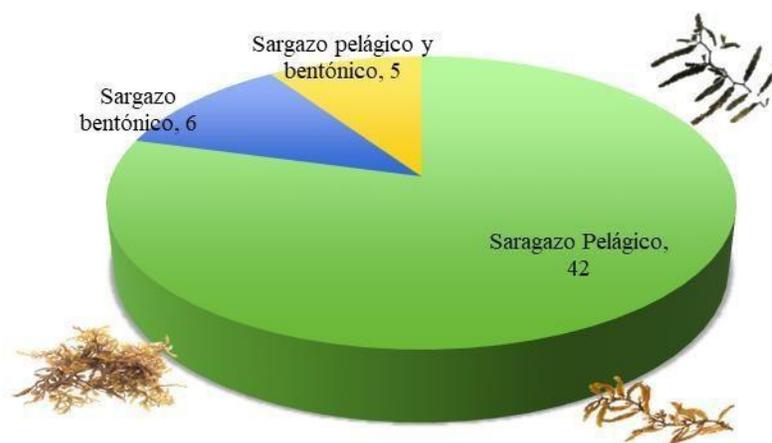
Gráfica 1. Estudios que corresponden a colaboraciones interinstitucionales.

Fuente: Elaboración propia (2021).



Gráfica 2. Instituciones de Educación Superior y Centros Públicos de Investigación por tipo de investigación del Sargazo.

Fuente: Elaboración propia (2021).



Diagnóstico del TRL mediante la herramienta virtual

Al corte del día 19 de julio de 2021 se obtuvieron un total de 37 respuestas de la “Herramienta de diagnóstico para conocer la maduración tecnológica y viabilidad de proyectos de I+D+i”, con lo cual se realiza el siguiente análisis de datos.

Desde una perspectiva general, se identifica que los esfuerzos de I+D en temas relacionados con el sargazo se han enfocado en diversas etapas de maduración TRL, ya que reflejan esfuerzos a lo largo de varios niveles de maduración. Solo un proyecto indicó haber culminado el TRL 1 y solo dos proyectos sobrepasan el 50% del TRL 2, los proyectos se encuentran en niveles promedio cerca del 43% para TRL 1 y 28% para TRL 2. Considerando que los esfuerzos reflejados se han realizado en distintos niveles TRL, incluso en niveles de maduración elevados, es recomendable culminar primero los niveles TRL 1, 2 y 3; ya que dichos niveles son los que dan certeza fundamental sobre la viabilidad técnica, de escalamiento y comercial de los proyectos.

El análisis de viabilidad técnica, de escalabilidad y comercial se debe tener en cuenta a lo largo de las diferentes etapas de maduración de un proyecto de I+D (Fernández, 2006). No obstante, es posible relacionar en mayor medida componentes de cada tipo de viabilidad a niveles TRL particulares. La viabilidad técnica relaciona resultados e indicadores típicamente vinculados con los niveles TRL bajos, como TRL 1 (principios básicos), TRL 2 (Formulación de la aplicación tecnológica) y TRL 3 (Pruebas de concepto mediante simulaciones). Además, los niveles TRL intermedios se relacionan con la viabilidad de escalabilidad, TRL 4 (Validación de componente en laboratorio), TRL 5 (Validación de sistema en entorno relevante) y TRL 6 (Validación de sistema en entorno relevante). Finalmente los niveles TRL avanzados se pueden vincular en mayor medida con aspectos de viabilidad comercial, TRL 7 (Validación de sistema en entorno real), TRL 8 (Validación de sistema para certificación) y TRL 9 (Sistema probado con éxito para su introducción al mercado).

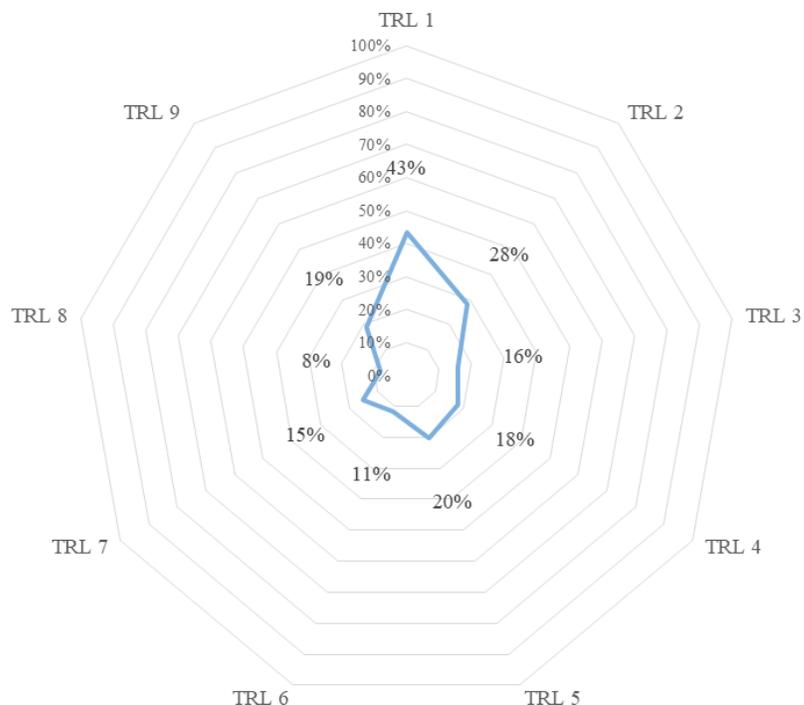
Gráfica 3. Resumen del nivel de maduración tecnológica (TRL) por proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Proyecto	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
1	33%	7%	9%	5%	13%	8%	10%	0%	0%
2	67%	36%	27%	5%	0%	8%	20%	0%	0%
3	67%	14%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
4	33%	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	33%	29%	18%	21%	25%	8%	20%	0%	13%
6	17%	14%	9%	11%	13%	8%	0%	0%	0%
7	33%	14%	18%	16%	13%	17%	10%	5%	13%
8	33%	14%	0%	5%	25%	0%	0%	0%	0%
9	33%	21%	9%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
10	50%	36%	18%	37%	50%	0%	10%	11%	63%
11	67%	21%	9%	21%	25%	0%	0%	0%	13%
12	33%	36%	9%	21%	25%	8%	10%	11%	38%
13	33%	14%	9%	11%	38%	8%	10%	0%	25%
14	17%	21%	18%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
15	50%	43%	64%	53%	63%	75%	80%	26%	63%
16	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
17	67%	50%	45%	53%	50%	33%	40%	37%	50%
18	33%	7%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%
19	33%	29%	18%	26%	50%	25%	20%	0%	13%
20	100%	50%	9%	26%	38%	25%	50%	11%	50%
21	83%	29%	18%	16%	13%	25%	10%	26%	38%
22	67%	57%	27%	32%	63%	17%	60%	26%	50%
23	50%	14%	0%	11%	25%	0%	20%	5%	25%
24	33%	43%	9%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
25	33%	43%	9%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
26	33%	21%	18%	11%	25%	25%	20%	21%	13%
27	33%	29%	0%	16%	25%	8%	10%	5%	0%
28	83%	43%	36%	32%	13%	17%	40%	26%	50%
29	33%	50%	27%	11%	0%	8%	10%	5%	38%
30	33%	50%	36%	37%	38%	42%	50%	21%	50%
31	33%	21%	18%	11%	13%	0%	10%	5%	0%
32	33%	21%	18%	11%	13%	0%	10%	5%	0%
33	33%	29%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
34	83%	57%	45%	47%	50%	33%	30%	37%	63%
35	33%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
36	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
37	33%	50%	27%	21%	50%	25%	10%	11%	38%
Promedio	43%	28%	16%	18%	20%	11%	15%	8%	19%

Gráfica 4. Promedio del nivel de maduración tecnológica (TRL).

Fuente: Elaboración propia (2021).



Los esfuerzos de I+D+i se focalizan en la viabilidad técnica principalmente; no obstante es muy recomendable realizar esfuerzos en los tres tipos de viabilidad conforme el proyecto avanza y se madura. De acuerdo con los niveles promedio de los tipos de viabilidad, la viabilidad técnica tiene un 39%, la viabilidad de escalabilidad 10% y la viabilidad comercial 12%. Esto es una muestra de área de oportunidad para incorporar equipos multidisciplinarios en la realización de proyectos de I+D+i. No obstante; algunos pocos proyectos reflejan niveles balanceados de avance en los tres tipos de viabilidad.

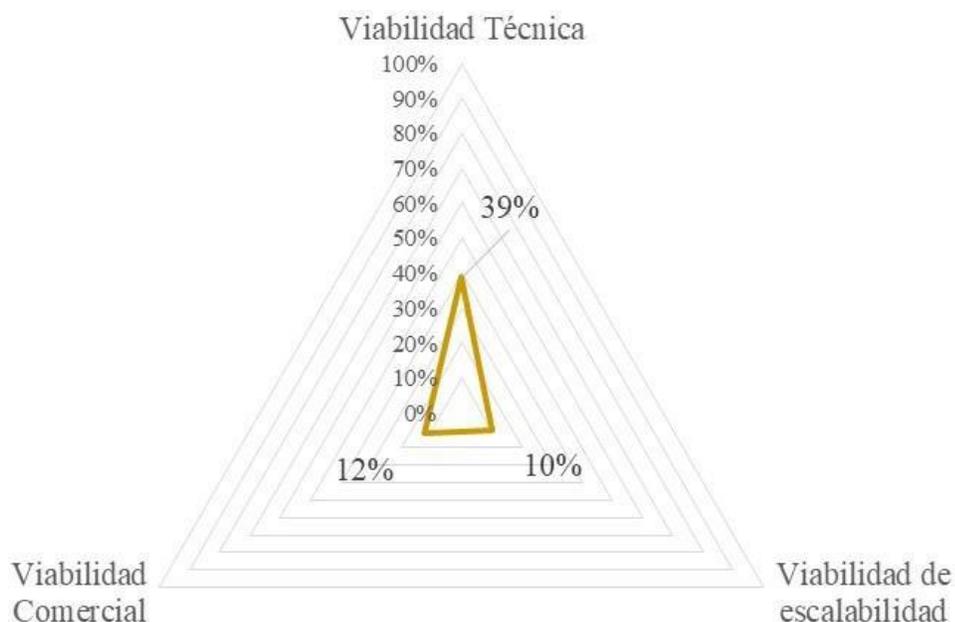
Gráfica 5. Resumen por tipo de viabilidad por proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Proyecto	Viabilidad Técnica	Viabilidad de escalabilidad	Viabilidad Comercial
1	21%	0%	6%
2	36%	0%	19%
3	25%	0%	0%
4	18%	0%	0%
5	50%	0%	13%
6	21%	0%	6%
7	36%	7%	6%
8	25%	0%	0%
9	36%	0%	0%
10	68%	17%	6%
11	46%	0%	6%
12	50%	9%	10%
13	32%	4%	10%
14	36%	0%	0%
15	68%	50%	52%
16	7%	0%	0%
17	75%	33%	42%
18	18%	0%	0%
19	46%	22%	0%
20	68%	20%	26%
21	36%	26%	16%
22	71%	30%	29%
23	25%	7%	13%
24	43%	2%	0%
25	43%	2%	0%
26	36%	13%	16%
27	39%	2%	6%
28	57%	22%	35%
29	25%	11%	26%
30	54%	35%	32%
31	32%	7%	0%
32	32%	7%	0%
33	25%	0%	0%
34	79%	30%	45%
35	11%	0%	0%
36	4%	0%	0%
37	43%	22%	23%
Promedio	39%	10%	12%

Gráfica 6. Promedio por tipo de viabilidad.

Fuente: Elaboración propia (2021).



6. Discusión y análisis

El análisis de los presentes proyectos de I+D+i en instituciones de educación superior y centros de investigación públicos en México, permitirá que el gobierno Mexicano pueda contar con el contexto del entorno científico y tecnológico del país, para la toma de decisiones y acciones que permitan seguir madurando las tecnologías potenciales con el mayor impacto en el corto plazo o de acuerdo con la estrategia definida para el país.

El desarrollo de propuestas que permitan la mitigación y aprovechamiento del Sargazo podrá representar una ventaja competitiva para México en la generación de una nueva industria, la conservación del ecosistema (flora y fauna marina en la Riviera Maya), y la recuperación de la industria del turismo en el país.

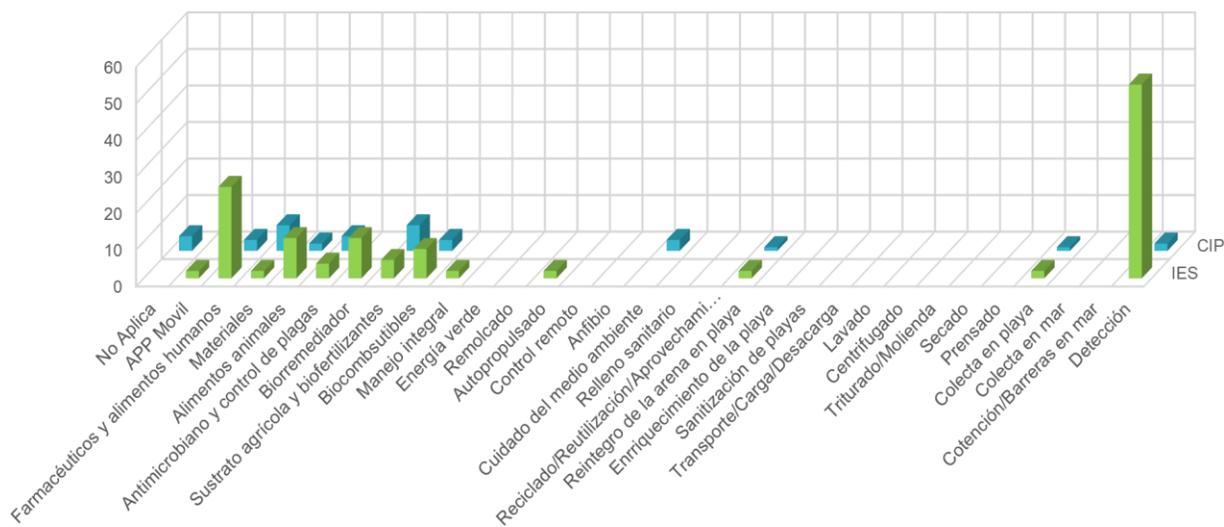
Sin embargo de acuerdo a la exploración del entorno científico y tecnológico entorno a la mitigación del Sargazo en México, como se muestra en la siguiente gráfica, se parecía un déficit

importante en el desarrollo de proyectos de I+D+i en los primeros niveles de maduración tecnológica objeto de ese estudio, lo cual se refiere al desarrollo de tecnologías para la contención, colecta (en mar y playa) y procesamiento primario. Este panorama dará luz para incentivar y encaminar esfuerzos del sector académico en México para el desarrollo de tecnologías propias, para el procesamiento del Sargazo en sus primeros eslabones de la cadena de valor.

Cabe señalar, por otra parte que aunque es sabido que el Sargazo Bentónico no forma parte de este estudio por ser una especie noble y que se encuentra en otras regiones diferentes al Caribe mexicano, se decidió incluir investigaciones que tratan con este Sargazo debido a la siguiente causa, dado que la investigación propuesta en este trabajo trata de estudios de tecnologías relacionadas con la contención, colecta y pre-procesamiento, al abrir el espectro de búsqueda existe la posibilidad de encontrarse tecnologías que también se pueden aplicar al Sargazo Pelágico.

Gráfica 7. Número de proyectos por áreas de conocimiento que se desarrollan en México.

Fuente: Elaboración propia (2021)



7. Conclusión

Se identificó que los CIP e EIS realizan diversas investigaciones respecto al Sargazo, principalmente con herramientas computacionales y métodos de percepción remota, desarrollo de aplicaciones móviles, páginas de internet y demás servidores para monitoreo de las afluencias masivas a las costas del Caribe.

En este mismo sentido, se realizan estudios para entender posibles causas, impactos ambientales, económicos y sociales, así como composición de especies, fauna asociada, etc. que ayuden a comprender los fenómenos desde una perspectiva multidisciplinaria a escala global, regional y local.

Por otro lado, se observaron estudios donde se colecta el sargazo de diversas maneras (fresco, recién arribado, lixiviados, etc.) que se emplea para probar extractos en investigaciones farmacéuticas, medicas, cosmetológicas etc., o donde se emplea la biomasa fresca o seca y se mezcla con otros aditivos químicos para crear fertilizantes, sustratos, alimentos para animales, entre otros subproductos.

Entre las múltiples líneas de investigación de los 33 CIP, solamente se encontró el desarrollo de una pequeña maquinaria (robot autónomo a escala) de alumnos de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) y de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME).

Lo anterior nos indica que la investigación en los CIP está más orientada al entendimiento de este fenómeno y a aplicaciones o aprovechamiento, pero poco se ha estudiado acerca de la colecta en sus diferentes facetas, colecta en playa y colecta en mar, así como la contención y procesamiento primario del Sargazo.

8. Referencias

Aguilar, S. (2014). DE EMPRENDEDOR A EMPRESARIO: Haga que su negocio sea negocio (Patria). Retrieved from https://www.elsotano.com/libro/de-emprendedor-aempresario_10443990

Caballero-Velázquez, J. A., Acosta- González, G., & Hernández-Cepeda, C. (2020). El Sargazo, un fenómeno complejo. *Ciencia*, 14-19.

Cavazos-Arroyo, J., & Giuliani, A. C. (2017). ESCALABILIDAD: CONCEPTO, CARACTERÍSTICAS Y RETOS DESDE EL EMPRENDIMIENTO COMERCIAL Y SOCIAL. *Cuadernos Del CIMBAGE No, 19*, 27–41.

Centros Públicos de Investigación en: (<https://centrosconacyt.mx/> (consultado el 20 de julio del 2021)

Colobran Huguet, M., Arques Soldevila, J. M., & Galindo, E. M. (2012). *Administracion de sistemas operativos en red*. 309. Retrieved from <https://elibro.net/es/lc/unad/titulos/56468>

CONACYT. (2020, 12 29). Convocatoria SEMAR-CONACYT 2019-01. Retrieved from <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultadosconacyt/convocatorias-fondos-sectoriales-constituidos/convocatoria-semarconacyt/convocatorias-abiertas-semar-conacyt/conv-semar-conacyt-2019-01>

CONACYT. (2021, Abril 20). Anexo 1. Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía – CONACYT. Retrieved from https://www.cibnor.gob.mx/images/stories/covisti/ott_cepato/Niveles_de_Maduracion_Tecnologica.pdf

CONACYT, SEMAR, INECC, IMTA, & CONABIO. (2019). AGENDA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA ATENCIÓN, ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL ARRIBO DE SARGAZO. México: CONACYT.

Dennis Mathaisel, B. F. (2015). Is Scalability Necessary for Economic Sustainability? *European Journal of Sustainable Development*, 4(2), 275–282. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2015.v4n2p275>

Fernández, V. (2006). Desarrollo de Sistemas de Información una Metodología Basada en el Modelado - Vicenç Fernández Alarcón - Google Libros. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=Sqm7jNZS_L0C&pg=PA66&dq=viabilidad+tecnica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwja_aLlkOXxAhWzLn0KHyaHCAQQ6AEwAXoECAgQA#v=onepage&q=viabilidad+tecnica&f=false

González Fernández, F. J. (2014). Manual para una eficiente dirección de proyectos y obras : (project & construction management).

García-Sánchez, M., Graham, C., Vera, E., Escalante-Mancera, E., Álvarez-Filip, L., & van Tussenbroek, B. I. (2020). Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic Sargassum species in the Mexican Caribbean. *Aquatic Botany*, 167, 103275.

Louime, C., Fortune, J., & Gervais, G. (2017). Sargassum Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *American Journal of Environmental Sciences*, 58-64.

Munguía, L., & Protti, M. (2013). Investigación de Operaciones - Lipicia Munguía Ulloa, María Auxiliadora Protti Quesada - Google Libros. Retrieved from

[https://books.google.com.mx/books?id=6NHEmmbHGcoC&pg=PA183&dq=viabilidad+tecnica](https://books.google.com.mx/books?id=6NHEmmbHGcoC&pg=PA183&dq=viabilidad+tecnica&hl=es-)

[419&sa=X&ved=2ahUKEwi87J3YkuXxAhU_HjQIHd19C_UQ6AEwAnoECAgQA#v=onepage&q=viabilidad+tecnica&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=6NHEmmbHGcoC&pg=PA183&dq=viabilidad+tecnica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi87J3YkuXxAhU_HjQIHd19C_UQ6AEwAnoECAgQA#v=onepage&q=viabilidad+tecnica&f=false)

Naciones Unidas. (2021, Abril 21). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

NASA. (2021, Abril 01). Technology Readiness Level (TRL). Retrieved from https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level

Rodríguez-Martínez, R., Roy, P., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo Domínguez, S., Collado-Vides, L., Tussenbroek, B. (2020). Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. PeerJ. Life & Environment. Retrieved from <https://peerj.com/articles/8667/#fig-1>

Wang, M., Hu, C., Barnes, B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. Science, 365, 83-37.