

**Revisión sistemática de literatura sobre tecnologías (patentes) que pueden contribuir con el problema del sargazo en el Caribe Mexicano**

Castillo Velazco, César Ricardo  
Centro de Ingeniería y Desarrollo  
Industrial (CIDESI); México  
[cesar.castillo@cidesi.edu.mx](mailto:cesar.castillo@cidesi.edu.mx)

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

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

Partida Hernández, Erika Deyanira  
Centro de Ingeniería y Desarrollo  
Industrial (CIDESI), México,  
[erika.partida@cidesi.edu.mx](mailto:erika.partida@cidesi.edu.mx)

Ríos Martínez, Edson  
University of Twente, México.

**Palabras clave:** Contención de sargazo, Recolección de sargazo, Tratamiento de sargazo. Patente, Sargazo.

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**

Aproximadamente desde el 2011 se ha detectado el aumento considerable de la llegada masiva del sargazo a costas mexicanas, lo cual ha afectado aspectos no solo humanos (como el turismo), sino de la misma flora y fauna marina como los pastos marinos y especies animales como las tortugas marinas, entre otros.

De acuerdo con Torres-Beristain (2019), el especial caso de las playas mexicanas de Quintana Roo y alrededores se conoce que la afluencia del turismo se da principalmente por su arena y mar limpios, sin embargo, se han visto afectadas por las arribazones de sargazo, tanto que se ha considerado como un caso de emergencia, ya que potencialmente puede afectar otros sectores como a la salud, la pesca, el transporte, etc.

Tanto el Gobierno en sus diferentes niveles, como la iniciativa privada y organizaciones civiles se han ocupado por tratar de minimizar los efectos dañinos del sargazo en las costas mexicanas, haciendo uso de maquinaria, herramientas y procesos manuales para contener, recolectar, tratar y procesar el sargazo, pero son tareas complicadas y costosas que además, deben obedecer a los Lineamientos Generales para la Remoción del Sargazo de las Playas del Caribe Mexicano, el cual regula la protección de las playas, dunas, pastos marinos, arrecifes coralinos y fauna asociada como tortugas y sus zonas de anidación (Torres-Beristain, 2019).

La presente investigación tiene como objetivo la identificación de tecnologías relevantes mediante el uso de un proceso de revisión sistemática de literatura que ayude en las diferentes fases del arribo del sargazo a las costas mexicanas, considerando técnicas de contención, colecta en mar, colecta en playa y procesamiento del sargazo por medio del triturado y secado, mediante la búsqueda y análisis de patentes para delimitar aquellas que puedan considerarse para ser usadas en el Caribe Mexicano.

## **2. Introducción**

De acuerdo con Pérez-Ortega, Toche y Vidal-Valero (2019), en los últimos años, las costas del sureste mexicano se han visto afectadas por la llegada de cantidades inusuales de sargazo. Es tanto el impacto que en mayo de 2019 el Gobierno de Quintana Roo declaró estado de emergencia por las afectaciones que se han dado tanto los ecosistemas costeros, en especial el Sistema Arrecifal Mesoamericano, pastos marinos, manglares y humedales (Aguirre-Muñoz, 2019). En tanto a actividades humanas, los sectores económicos más afectados en ésta zona son la pesca, el transporte y el turismo (por el evidente daño a los cuerpos de agua cristalinos y de tonos turquesa y las playas blancas).

En virtud de la problemática que implica la gestión de residuos de sargazo que llegan al Caribe Mexicano en el presente documento se analiza información tecnológica que puede contribuir a la solución a mediano y largo plazo. En ese sentido se desarrolla un análisis sobre el equipamiento especializado para la contención física, colecta en zonas costeras distantes de playas y en playas, así como equipos para procesamiento primario de algas pelágicas existente en el mercado global, con potencial de aplicación para el manejo de sargazo.

Para tal fin se adopta un enfoque basado la Revisión Sistemática de Literatura (RSL) enfocada al entorno tecnológico (patentes) que tiene influencia sobre la actividad productiva para el aprovechamiento del sargazo en su cadena de valor: 1) contención, 2) recolección en agua, 3) recolección en playa y procesamiento primario posterior ( 4) triturado y 5) secado).

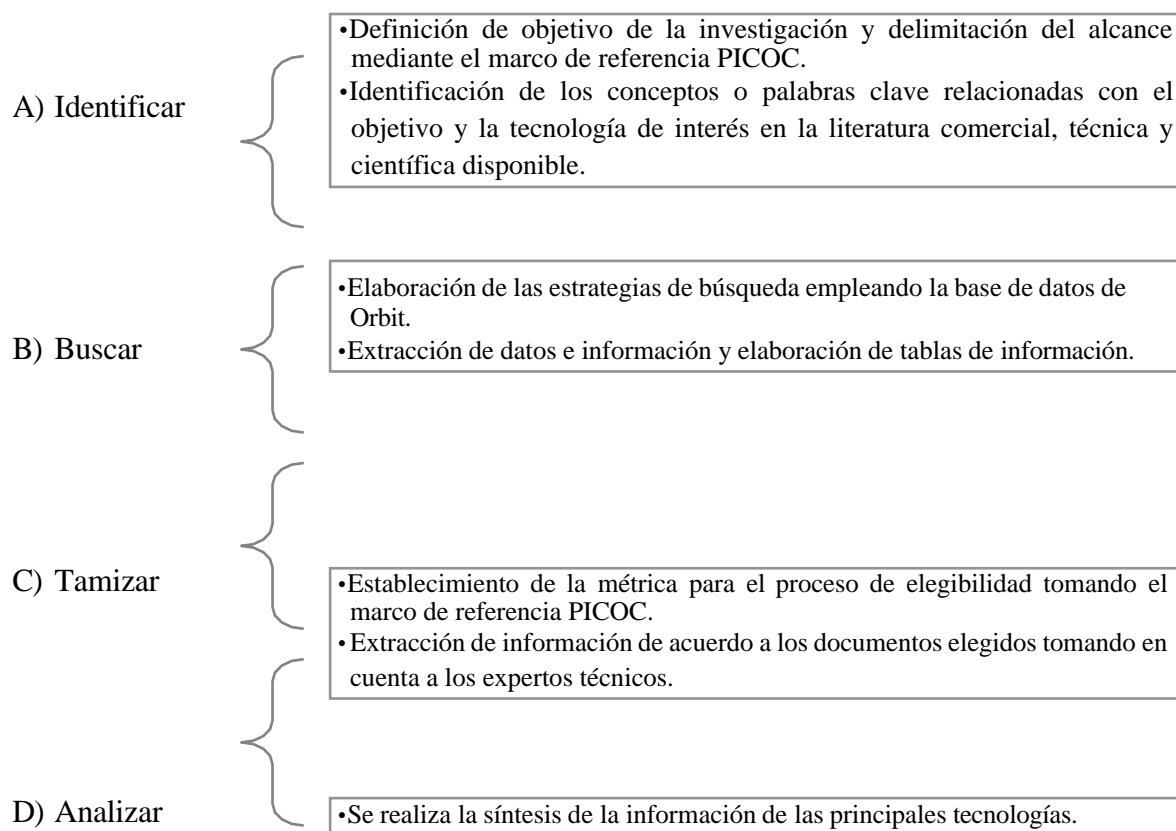
Las patentes, estudiadas en el entorno tecnológico, nos proporcionan información de aquellas tecnologías que se están desarrollando en universidades, centros de investigación y/o empresas con el fin de detectar innovaciones que no precisamente sean explotadas comercialmente por parte de estas entidades. Se identificarán aquellos países con mayor actividad inventiva entorno a las tecnologías planteadas así como aquellos países en donde son protegidas las tecnologías con el fin de generar bloqueos comerciales debido al potencial comercial de las invenciones desarrolladas. De manera análoga se determinarán los subtemas relevantes que son tendencia a partir del resultado de patentes.

### **3. Metodología**

La presente Revisión Sistemática de Literatura (RSL) se compone de cuatro etapas: identificar, buscar, tamizar y analizar, mediante las cuales se desarrollan las actividades que orientan los objetivos de identificar y estudiar las tecnologías de interés. Adicionalmente, se adopta un enfoque sistemático para la revisión de información basado en la metodología de Kitchenham (2004), Booth, Sutton, & Papaioannou (2016) y Kmet Leanne, Lee Robert, & Cook Linda (2004). Adoptar dicho enfoque sistemático proporciona un proceso replicable, científico y transparente; en otras palabras, búsquedas de datos exhaustivas y auditables (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003).

En la figura 1 se describen brevemente las etapas del proceso de la RSL.

*Figura 1. Etapas de análisis de patentes*



Fuente: Elaboración propia

***Exploración de tecnologías de contención, colecta, procesamiento primario de triturado y procesamiento primario de secado***

### Tecnología 1: Contención y desechos contaminantes

Las barreras de contención utilizadas para ayudar a desviar las algas marinas son barreras flotantes temporales como las que se utilizan para contener los derrames de petróleo (Hinds et al., 2016). Las barreras flotantes de contención son un dispositivo fundamental en la lucha contra la contaminación costera, los desechos marinos, la demarcación marina. Por lo tanto, para la protección del ecosistema ya que permiten contener el contaminante antes de su recuperación (Iglesias, Castro, & Fraguera, 2010) (Gapingsi, Korbas, & Santos, 2017). Además, Gapingsi, Korbas, & Santos (2017) indican que otras aplicaciones incluyen contención de algas o de derrames de alcantarillas.

### Tecnología 2: Recolección/limpieza en cuerpo de agua

Es necesaria la recolección mecánica para alzar grandes cantidades de macroalgas silvestres o cultivadas. El tipo de sistemas mecanizados depende principalmente de la forma y características de crecimiento de las macroalgas. Los sistemas más comunes incluyen: laminas giratorias que pueden ser adecuadas para especies que crecen adheridas a estructuras de soporte; y sistemas de succión seguidos de corte que se pueden usar para especies de algas flotantes (Sargassum y Gracilaria) (Wei, Quarterman, & Jin, 2013). Los sistemas de recolección mecanizados requieren embarcaciones flotantes para su funcionamiento. Además, los buques modernos pueden equiparse con bombas para recolectar macroalgas en una red u otras estructuras de contención (Ferrell et al., 2010).

### Tecnología 3: Recolección/limpieza en playa

En la recolección en playa, debido al daño potencial del entorno natural de ésta, especialmente la frágil vegetación y los nidos de tortugas marinas, siempre se debe favorecer el método menos intrusivo. La recolección debe estar bien coordinada y administrada con un conjunto claro de reglas a seguir para minimizar la erosión y la perturbación de la vida marina (Hinds et al., 2016). Donde el volumen de sargazo es relativamente pequeño, es preferible la extracción manual (por ejemplo, rastrillado manual) porque es menos intrusivo y reduce la probabilidad de perturbar los nidos de tortugas marinas y contribuir a la erosión de las playas. En México; por ejemplo, por normativa está prohibido usar máquinas en zonas de anidación de tortugas, y por tanto se debe de coleccionar el sargazo de manera manual. En ese sentido, la limpieza organizada de playas son una buena manera de involucrar a las comunidades en la solución del problema y pueden ayudar a reducir los costos laborales (Hinds et al., 2016).

#### Tecnología 4: Tratamiento mecánico primario de macroalgas (triturado)

Las macroalgas generalmente requieren tratamientos previos para eliminar posibles objetos extraños, como piedras, arena u otros desechos que puedan haber quedado atrapados en la biomasa. Estas operaciones pueden realizarse manualmente o mediante lavado con agua (Rocca et al., 2015) (Ferrell et al., 2010). La molienda se utiliza para reducir el tamaño de las partículas de las algas y aumentar la relación superficie/volumen para una conversión más eficiente, en el caso de biocombustibles (Ferrell et al., 2010). O para la neutralización del alga mezclándola con tierra o arena. Las partículas pequeñas tienen una mayor eficiencia de reacción (por ejemplo, durante una digestión aeróbica para producir biogás, fermentación para producir alcoholes y licuefacción hidrotermal para producir bioaceites) en comparación con las macroalgas sin moler (Roesijadi, Jones, Snowden-Swan, & Zhu, 2010).

### Tecnología 5: Tratamiento mecánico primario de macroalgas (secado).

La deshidratación de algas verdes requiere presionar. Hay numerosas prensas disponibles en el mercado, ya sea que trabajan en lotes o en flujo continuo (Ghadiryfar et al., 2016) (Burton et al., 2009). Para Burton et al. (2009) la mejor opción son los transportadores que usan presión durante la recolección de algas en la costa, ya que esto deja el agua en la orilla y minimiza el transporte de agua. Las macroalgas tienen menos demanda de deshidratación como parte del proceso de pretratamiento. La digestión anaeróbica, la fermentación y la licuefacción hidrotermal tienen una alta tolerancia o necesidad de agua. La deshidratación puede ser más importante como método para aumentar la vida útil y reducir el peso y los costos de transporte asociados si las algas se van a transportar desde los sitios de cosecha a plantas de procesamiento distantes (Burton et al., 2009). Para las especies de algas que llegan al Caribe mexicano se deberá estudiar métodos y porcentajes de deshidratación.

## **4. Desarrollo**

### ***Etapa 1: Identificar***

Se emplea el marco de referencia *PICOC* (Population – Intervention – Comparison – Outcome – Context por sus siglas en inglés) para la delimitación del alcance del objetivo de cada tecnología.

El concentrado de información para *PICOC* se representa en tablas individuales para cada tecnología, con el llenado de los datos de la tabla 1.



*Tabla 1. Datos del marco de referencia PICOC*

<b><i>Población</i></b>	Problema o situación
<b><i>Intervención</i></b>	Técnicas existentes utilizadas para abordar los problemas identificados
<b><i>Comparación</i></b>	El efecto de dos o más intervenciones, comparando sus resultados en términos de lo que ofrecen y/o cuestan
<b><i>Resultados</i></b>	¿Cómo se mide? ¿Cuáles son los resultados y cómo se evalúa?
<b><i>Contexto</i></b>	¿Cuál es el contexto particular de su pregunta? Países, áreas, entornos específicos

Fuente: Elaboración propia

Es importante comenzar con un alcance claramente definido lo cual implica enfocar el objetivo de forma tal que contenga información explícita y específica sobre el tema de interés (Booth et al., 2016). Con base en dicho alcance se exploran los conceptos tecnológicos, científicos y comerciales que hacen referencia a la tecnología de interés para identificar aspectos clave del área de investigación, identificar términos de búsqueda adicionales y aclarar la estructura de revisión de la información (Booth et al., 2016). Esto para abarcar la mayor cantidad de conceptos que describan y sean referentes de la tecnología. Con esta información en la siguiente etapa se elaboran las estrategias de búsqueda y extrae la información.

Se han concentrado estos términos y palabras clave de cada tecnología (tabla 2) clasificándolas en principales, secundarias y terciarias.

*Tabla 2. Clasificación de palabras clave*

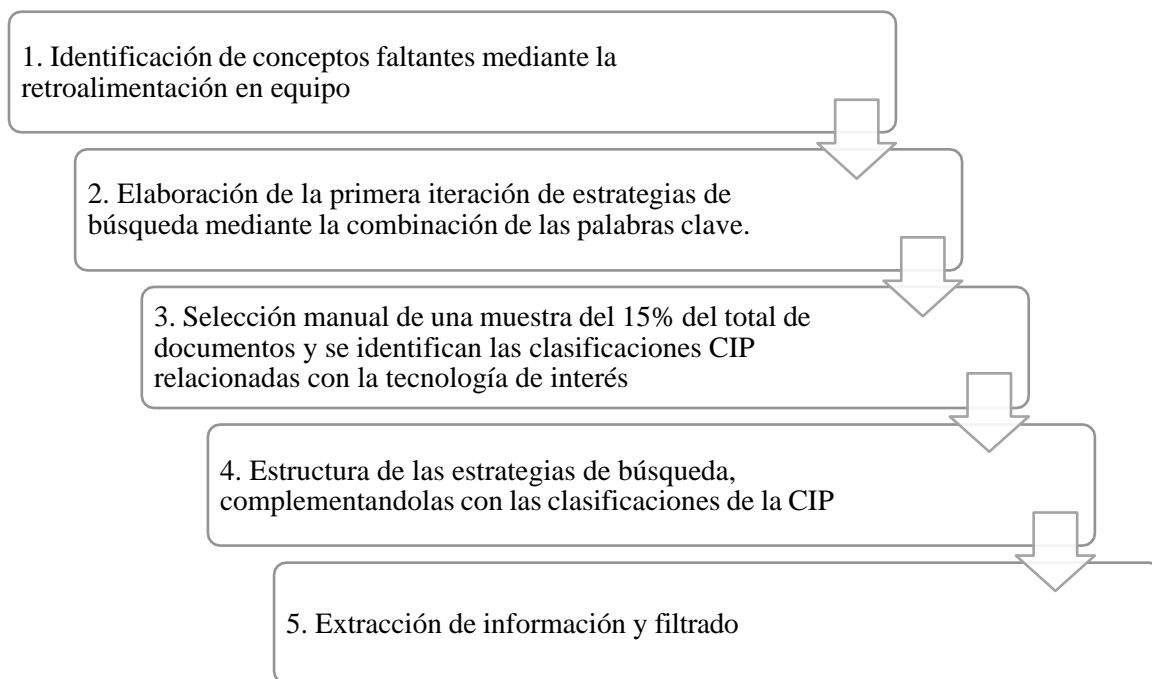
<b>Campo tecnológico</b>	<b>Palabras clave principales</b>	<b>Palabras clave secundarias</b>	<b>Palabras clave terciarias</b>
Contención de desechos y contaminantes en agua	22	16	18
Recolección/limpieza en cuerpo de agua	14	8	15
Recolección/limpieza en playa	10	6	9
Tratamiento mecánico primario de macroalgas	5	5	5
Tratamiento térmico primario de macroalgas	8	4	5

Fuente: Elaboración propia

### ***Etapa 2: Buscar***

En esta etapa, se elaboran estrategias de búsqueda en software especializado para el procesamiento de datos de patentes Orbit, empleando los conceptos y criterios definidos en la etapa de identificación. En dicho sentido se considera la estructura de búsquedas “*population AND*”

Figura 2. Diagrama de Proceso de etapa de búsqueda de patentes



*intervention AND outcome*” relativa al marco de referencia PICOC recomendada en la literatura. Además, se combinan los conceptos mediante la utilización de operadores booleanos y de proximidad (OMPI, 2012). El proceso se describe en la figura 2.

Fuente: Elaboración propia

### ***Etapa 3: Tamizar y elegir***

En la etapa de tamizado y elegibilidad se emplean las Tablas de concentrado de información y se seleccionan sistemáticamente los documentos identificados en la búsqueda de información que son relevantes para el objetivo especificado (PICOC). Para lo cual se establece la métrica para el proceso de tamizado y elegibilidad.

Posteriormente, mediante la participación de expertos técnicos se realiza una evaluación más profunda de la relevancia real de la información (elegibilidad). Para dicho fin se emplea una

métrica basada en la técnica de lista de verificación (Booth et al., 2016). El criterio de elegibilidad, por tanto, se basa en la percepción y experiencia de los expertos técnicos involucrados en el estudio.

Los resultados de las últimas dos etapas se muestran en la tabla 3.

*Tabla 3. Resultados de etapas de búsqueda y tamizado*

Descripción de la tecnología	Resultados de etapa de búsqueda	Resultados de etapa de tamizado
Contención de desechos y contaminantes	5828	1058
Recolección/limpieza en cuerpo de agua	9676	1804
Recolección/limpieza en playa	2636	217
Tratamiento mecánico primario de macroalgas (triturado)	323	169
Tratamiento térmico primario de macroalgas (secado)	1191	319
Potencial valor agregado de sargazos S. Natans I, S. Natans VIII y S. Fluitans III	20	5

Fuente: Elaboración propia

#### ***Etapas 4: Analizar***

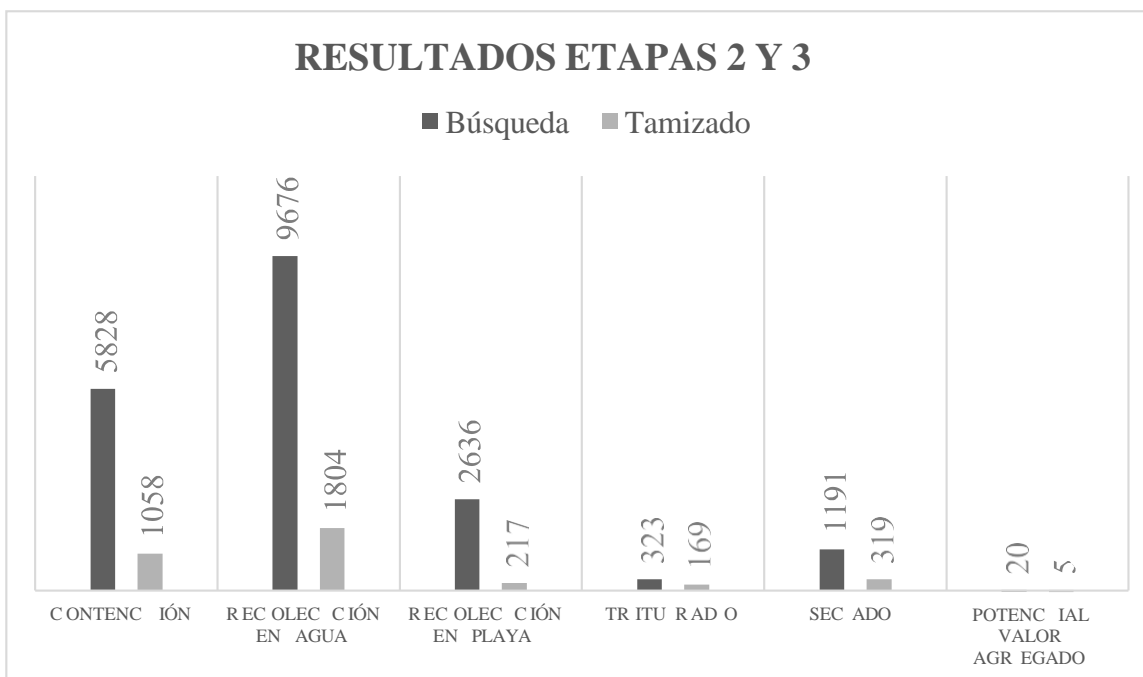
Para la etapa de Análisis se emplean los documentos que pasaron el proceso de tamizado. Se rescatarán datos relevantes de éstos documentos como el año de publicación, país de prioridad, de origen y de publicación, titulares y CIP (Clasificación Internacional de Patentes), los cuales serán relevantes para la obtención de indicadores que permitan identificar:

- Tendencia anual de patentamiento.
- Titulares e inventores principales.
- Países líderes de la tecnología.
- Tecnologías restringidas y de uso libre.

## 5. Resultados y análisis

Después de filtrar y analizar los documentos de patente relevantes para cada una de las tecnologías, se realizó una comparativa entre lo identificado en la etapa 2 y lo resultante de la etapa 3 (figura 3).

Figura 3. Resultados gráficos etapas búsqueda y tamizado



Fuente: Elaboración propia

Después del análisis de información, se detectó información relevante sobre la trayectoria tecnológica para los 5 campos tecnológicos en los cuales se centra ésta investigación, así como los

titulares principales y aquellas tecnologías que son de uso reservado o libre. A efectos del resumen, se muestra la trayectoria tecnológica relevante en la tabla 4.

Países orientales se posicionan como líderes en el desarrollo de tecnología en estos campos tecnológicos de interés.

*Tabla 4. Resultados por tecnología*

<b>Tecnología</b>	<b>Documentos de patente analizados</b>	<b>Hallazgos – patentes y modelos de utilidad</b>
Contención de desechos y contaminantes	1058	Incremento considerable de solicitudes de patente y modelos de utilidad a nivel mundial a partir de 2015.
Recolección/limpieza en cuerpo de agua	1804	Incremento considerable de solicitudes de patente y modelos de utilidad a nivel mundial a partir de 2015.
Recolección/limpieza en playa	217	Incremento considerable de solicitudes de patente en el 2016 y modelos de utilidad a nivel mundial a partir de 2019.
Tratamiento mecánico primario de macroalgas (triturado)	169	Incremento ligero de solicitudes de patente en el 2014 y modelos de utilidad a nivel mundial a partir de 2011.

Tratamiento térmico primario de macroalgas (secado)	319	Incremento considerable de solicitudes de patente en el 2015 y modelos de utilidad a nivel mundial a partir de 2014.
---	-----	--

Fuente: Elaboración propia

## 6. Conclusiones

Fue delimitado un conjunto de 19,674 documentos de PI (patentes y modelos de utilidad) relacionados con las tecnologías sobre contención de desechos y contaminantes, recolección / limpieza en playa y en cuerpos de agua, tratamiento mecánico de macroalgas (triturado) y tratamiento térmico de macroalgas (secado).

Después de la aplicación de la RSL que involucró los procesos de identificación, búsqueda tamizado-elección y análisis, se logró reducir éste conjunto en 3,567 documentos de patente y modelos de utilidad, determinantes y de frontera, relevantes en los cinco campos tecnológicos que se establecieron desde el inicio del estudio.

La presente investigación es de utilidad para la identificación de tendencias tecnológicas para el tratamiento de macroalgas en sus diferentes eslabones de la cadena de suministro, desde la contención como barreras, la cosecha tanto en playa como en agua como maquinaria especializada para su recolección (evitando el mínimo daño a la flora y fauna del ecosistema) hasta el pretratamiento de éste como maquinaria y herramienta adecuada para el secado y/o triturado del sargazo

Se determinó también que los campos tecnológicos de interés en éste estudio tienen un auge comercial con trayectorias tecnológicas cercanas a su madurez y este aspecto es sumamente interesante debido a la necesidad de éste tipo de maquinaria para la remoción y tratamiento del sargazo no solo en el Caribe Mexicano, también en otras costas donde el arribo de ésta macroalga representa un problema latente.

## 7. Referencias

- Aguirre-Muñoz, A. (2019, September). El sargazo en el Caribe Mexicano: De la negación y el voluntarismo a la realidad. *Sustentabilidad, Número 2*.  
[https://www.conacyt.gob.mx/sargazo/images/pdfs/El\\_Sargazo\\_en\\_el\\_Caribe\\_Mexicanopdf.pdf](https://www.conacyt.gob.mx/sargazo/images/pdfs/El_Sargazo_en_el_Caribe_Mexicanopdf.pdf)
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review / SAGE Publications Ltd (Second edition)*. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/systematicapproaches-to-a-successful-literature-review/book244586>
- Burton, T., Lyons, H., Lerat, Y., Stanley, M., & Rasmussen, M. B. (2009). A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland. *In Dublin: Sustainable Energy Ireland - SEI*.
- Ferrell, J., Fishman, D., Majumdar, R., Morello, J., Pate, R., Yang, J., ... Sarisky-Reed, V. (2010). *National Algal Biofuels Technology Roadmap*. Retrieved from <http://biomass.energy.gov>
- Gapingsi, G. E., Korbas, R., & Santos, M. (2017). Modelling and Control of a Flexible Floating Boom: First Approach. *IFAC-PapersOnLine, 50(1)*, 13108–13113.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2163>



Ghadiryafar, M., Rosentrater, K. A., Keyhani, A., & Omid, M. (2016, February 1). A review of macroalgae production, with potential applications in biofuels and bioenergy. *Renewable and Sustainable*

*Energy Reviews*, Vol. 54, pp. 473–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.022>

Hinds, C., Oxenford, H., Cumberbatch, J., Fardin, F., Doyle, E., & Cashman, A. (2016). Golden Tides: Management Best Practices for Influxes of Sargassum in the Caribbean with a focus on clean-up. In *Sargassum Management Brief*.

Iglesias, G., Castro, A., & Fraguera, J. A. (2010). Artificial intelligence applied to floating boom behavior under waves and currents. *Ocean Engineering*, 37(17–18), 1513–1521.

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.09.007>

Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Recuperado de

<https://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>

Kmet Leanne, Lee Robert, & Cook Linda. (2004). *Standard Quality Assessment Criteria for Evaluating*

*Primary Research Papers from a Variety of Fields*. Recuperado de

<https://www.ihe.ca/publications/standard-quality-assessment-criteria-for-evaluating-primaryresearch-papers-from-a-variety-of-fields>

OMPI. (2012). Guía de la OMPI para la utilización de INFORMACIÓN de PATENTES. Retrieved from

<http://www.wipo.int/patentscope>

Pérez-Ortega, R, Toche, N & Vidal-Valero, M. (2019, August). ‘Es un desastre ecológico’: la crisis del sargazo en México. *New York Times*. Retrieved from

<https://www.nytimes.com/es/2019/08/16/espanol/america-latina/sargazo-playas-mexico.html>

Rocca, S., Agostini, A., Giuntoli, J., & Marelli, L. (2015). *Biofuels from algae: technology options, energy balance and GHG emissions*. <https://doi.org/10.2790/125847>

Roesijadi, G., Jones, S. B., Snowden-Swan, L. J., & Zhu, Y. (2010). *Macroalgae as a Biomass Feedstock: A Preliminary Analysis*. <https://doi.org/10.2172/1006310>

Torres-Beristain, B. (2019). *El sargazo en las costas mexicanas*. *La Ciencia y el Hombre*, Vol. XXXII. <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/el-sargazo-en-las-costa-mexicanas/>.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review\* Introduction: the need for an evidence-informed approach. *British Journal of Management*, 14, 207–222.

Wei, N., Quarterman, J., & Jin, Y. S. (2013, February). Marine macroalgae: An untapped resource for producing fuels and chemicals. *Trends in Biotechnology*, Vol. 31, pp. 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.10.009>