



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**El reciente caso de *Oculina patagonica* (Angelis, 1908) en el golfo de México**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

**SALVADOR RODRÍGUEZ MUÑOZ**

**TUTORA PRINCIPAL:**

**Dra. Morelia Camacho Cervantes**

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria)

**COMITÉ TUTOR:**

**Dr. Horacio Pérez España**

(Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana)

**Dr. Enrique Ávila Torres**

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Estación El Carmen)

**CD. MX.**

**19 de agosto de 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**El reciente caso de *Oculina patagonica* (Angelis, 1908) en el golfo de México**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

**SALVADOR RODRÍGUEZ MUÑOZ**

**TUTORA PRINCIPAL:**

**Dra. Morelia Camacho Cervantes**

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria)

**COMITÉ TUTOR:**

**Dr. Horacio Pérez España**

(Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana)

**Dr. Enrique Ávila Torres**

(Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Estación El Carmen)

**MÉXICO, CD. MX.**

**19 de agosto de 2022**

## **Agradecimientos**

Agradezco al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por permitirme realizar mis estudios de maestría en una de las mejores instituciones del país y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido a través de la beca CONACYT (No. CVU: 1081209) para hacerlo posible.

A mi Tutora la Dra. Morelia Camacho Cervantes por recibirme, apoyarme y guiarme a lo largo de estos dos años.

A los miembros de mi jurado el Dr. Enrique Ávila Torres, Dr. Horacio Pérez España, Dr. Francisco A. Solís Marín y la Dra. Arely Anahy Paredes Chi que enriquecieron el trabajo con sus comentarios para guiarme en el escrito de esta tesis.

Al M. C. Vicencio De la cruz Francisco por su apoyo y amistad a lo largo de todo el proceso.

A todos los investigadores que amablemente cooperaron en el trabajo, respondiendo la encuesta y compartiendo material complementario y comentarios.

A mis padres Adriana y Salvador, a mis hermanos Daniel y Lesly por apoyarme durante toda la vida.

A mis compañeros del laboratorio de Ecología de Especies Invasoras y a mis amigos por su amistad, especialmente a Fernanda, Gabriel, Natalia, Vianney, Abigail y Rodrigo que apoyaron en gran medida a esta tesis.

## RESUMEN

Las invasiones biológicas son un reto importante para la biodiversidad. Especialmente la falta de información en nuevos sitios de invasión supone un problema en la creación de gestión e investigación de especies invasoras. Las revisiones bibliográficas se han utilizado para reunir información específica sobre especies potencialmente invasoras. En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica mundial apoyada de una encuesta dirigida a expertos para estudiar su percepción de riesgo y la introducción de *Oculina patagonica* al golfo de México. Esta especie es un coral escleractinio de dudosa procedencia que ha sido tratado como especie exótica, invasora y nativa en el mar Mediterráneo durante más de 40 años. Mundialmente se han publicado al menos 134 documentos de la especie enfocados en diferentes temas, especialmente temas “ecológicos” y “enfermedades coralinas”. Las características de *O. patagonica* como especie oportunista han permitido su expansión en al menos 13 países en el mundo, en los que se han registrado diferentes impactos a la comunidad nativa de ecosistemas naturales y artificiales, pero sin impactos a la economía o salud humana. Este es el primer trabajo descriptivo y exploratorio en el golfo de México. Los resultados sugieren que *O. patagonica* se encuentra establecida y que su distribución está restringida únicamente al estado costero de Veracruz dentro del golfo de México. Actualmente se distribuye en diferentes ecosistemas naturales y artificiales a lo largo de este estado, pero sin un impacto asociado a su introducción como los registrados en el mar Mediterráneo. Además, se realiza el primer análisis de riesgo para México a través de la metodología de evaluación rápida de invasividad (MERI) propuesto por autoridades mexicanas como el primer paso para conocer nuevas especies exóticas para México; dando como resultado un nivel de riesgo inicial muy alto y alto a través de dos modelos para *O. patagonica* en el país. Se recomienda realizar una serie de estudios para esclarecer incógnitas de la especie y establecer el papel ecológico de *O. patagonica* en los ecosistemas del golfo de México. Así como un seguimiento para la implementación de medidas de control y aprovechamiento de esta especie exótica.

## ABSTRACT

Biological invasions pose a significant challenge for the biodiversity, especially due to the lack of information in new invasion sites; for which the bibliographic reviews of already known sites have been used to gather specific information on the invasive species. In the present work, a global bibliographic review was carried out, supported by a survey sent to experts to know their perception of risk and the introduction of *Oculina patagonica* to the Gulf of Mexico. This species is a scleractinian coral of dubious origin that has been treated as an exotic, invasive and native species in the Mediterranean for more than 40 years. Worldwide, at least 134 documents of the species have been published, focused on different topics, especially “ecological” topics and “coral diseases”. The characteristics of *O. patagonica* as an opportunistic species have allowed its expansion to at least 13 countries today, in which different impacts have been recorded on the native community in natural and artificial ecosystems, but without economic or health impacts to humans. This is the first descriptive and exploratory work in the Gulf of Mexico where the results suggest that *O. patagonica* is established and its distribution restricted only to the coastal state of Veracruz within the Gulf of Mexico. It is currently distributed in different natural and artificial ecosystems throughout the state, although there is still no impact associated with its introduction like those recorded in the Mediterranean Sea. In addition, the first risk analysis for Mexico is carried out through the rapid invasiveness assessment methodology (MERI) proposed by Mexican authorities as the first step to discover new exotic species for Mexico; resulting in a very high and high initial risk level in two models for *O. patagonica* in the country. It is recommended to carry out a series of studies to clarify unknowns of the species and establish the ecological role of *O. patagonica* in the ecosystems of the Gulf of Mexico. As well as a follow-up for the implementation of control measures and use of the exotic species.

## ÍNDICE

<b>I. Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1. Problemáticas de la biodiversidad .....	9
1.2. Especies exóticas e invasoras.....	11
<b>II. Antecedentes.....</b>	<b>13</b>
2.1. Corales escleractínios.....	13
2.2. Corales escleractínios invasores.....	14
2.3. El holobionte coralino: <i>Oculina patagonica</i> .....	14
2.3.1. Identificación .....	14
2.3.2. Consorcio coralino .....	17
2.3.3. Expansión .....	19
<b>III. Justificación e importancia .....</b>	<b>21</b>
<b>IV. Pregunta de investigación .....</b>	<b>22</b>
<b>V. Objetivos.....</b>	<b>22</b>
5.1. Objetivo general .....	22
5.2. Objetivos particulares .....	22
<b>VI. Metodología .....</b>	<b>23</b>
6.1. Revisión bibliográfica .....	23
6.2. Opinión de expertos.....	25
6.3. Distribución .....	27
6.4. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) .....	27
<b>VII. Resultados .....</b>	<b>31</b>
7.1. Revisión bibliográfica mundial de <i>Oculina patagonica</i> .....	31
7.2. Rol ecológico de <i>Oculina patagonica</i> .....	35
7.2.1. Tipo de sustrato y ecosistema o estructura artificial .....	35
7.2.2. Interacciones ecológicas .....	37
7.3. Opinión de expertos en el tema.....	42
7.4. <i>Oculina patagonica</i> en el golfo de México.....	44
7.4.1. Descripción morfológica .....	46
7.5. MERI de <i>Oculina patagonica</i> para México.....	50
<b>VIII. Discusión.....</b>	<b>52</b>
8.1. Problemática en la identificación y estatus .....	52

8.2. Expansión e impactos de <i>Oculina patagonica</i> .....	54
8.3. Introducción al golfo de México.....	56
8.4. Recomendaciones .....	59
<b>IX. Conclusiones generales.....</b>	<b>61</b>
<b>X. Bibliografía .....</b>	<b>62</b>
<b>XI. Anexos .....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<b>Figura 1.</b> Mapa de presión antrópica a nivel mundial. Tomada de WWF, 2020. ....	<b>10</b>
<b>Figura 2.</b> Primeros registros de <i>O. patagonica</i> para los países costeros en el mar Mediterráneo.....	<b>20</b>
<b>Figura 3.</b> A) Número de documentos publicados y B) Tipo de documentos publicados ...	<b>31</b>
<b>Figura 4.</b> A) Temas principales y B) tipo de trabajo utilizado en la documentación histórica .....	<b>32</b>
<b>Figura 5.</b> Zonas de distribución de <i>O. patagonica</i> donde los colores muestran el país y estatus de la especie: Verde: nativa; Amarillo: exótica; Roja: invasora; Gris: criptogénica (sin suficiente información). ....	<b>33</b>
<b>Figura 6.</b> Tipo de estatus de <i>O. patagonica</i> en Argentina (Arg.), golfo de México (G.M.), y el mar Mediterráneo basado en Blackburn et al., 2014. donde se considera una especie nativa de la zona (nativa), sin suficiente información para clasificarla (criptogénica), una especie introducida sin impactos asociados (exótica) y una especie introducida con un impacto asociado (invasora).....	<b>34</b>
<b>Figura 7.</b> Tipo de sustrato con presencia de <i>O. patagonica</i> en los países costeros del mar Mediterráneo .....	<b>35</b>
<b>Figura 8.</b> Tipo de ecosistema y estructura artificial con presencia de <i>O. patagonica</i> en los países costeros del mar Mediterráneo. ....	<b>36</b>
<b>Figura 9.</b> A) Total de encuestas enviadas a México y E.U., en azul con respuestas y en café sin respuesta y B) Respuestas positivas (verde) y negativas (rojo) de la presencia de la especie <i>O. patagonica</i> en el golfo de México.....	<b>42</b>
<b>Figura 10.</b> A) Mapa de distribución de <i>O. patagonica</i> en Veracruz, México B) zona norte C) zona centro y D) zona sur del estado. ....	<b>44</b>
<b>Figura 11.</b> Distribución batimétrica de <i>O. patagonica</i> por tipo de sustrato en el golfo de México. ....	<b>46</b>

**Figura 12.** Ejemplares de *O. patagonica* donados por algunos de los expertos encuestados ..... **47**

**Figura 13.** Organismos bentónicos encontrados sobre el esqueleto de la colonia B ..... **48**

## **ÍNDICE DE CUADROS**

**Cuadro 1.** Características morfológicas documentadas para *O. patagonica*. ..... **16**

**Cuadro 2.** Inventario de la comunidad microbiana de *O. patagonica*. Donde se especifica el nivel taxonómico registrado para cada trabajo, la condición del coral examinado (Sano, Blanqueado o en Ambos) y la ubicación de los microorganismos; T: tejido M: moco Na: no aplica. .... **18**

**Cuadro 3.** Interacciones ecológicas registradas de *O. patagonica* con diferentes especies del Mediterráneo..... **38**

**Cuadro 4.** Tipo de sustrato con presencia de *O. patagonica* en el golfo de México. .... **45**

**Cuadro 5.** Características morfológicas de las colonias obtenidas. .... **49**

**Cuadro 6.** Método de evaluación rápida de invasividad para *O. patagonica* en México a través de los modelos PI y BT en los que se muestran los valores ponderados de cada modelo, las respuestas obtenidas con su valor, las incertidumbres y su valor, y los valores del índice de riesgo de cada pregunta y su suma final..... **51**

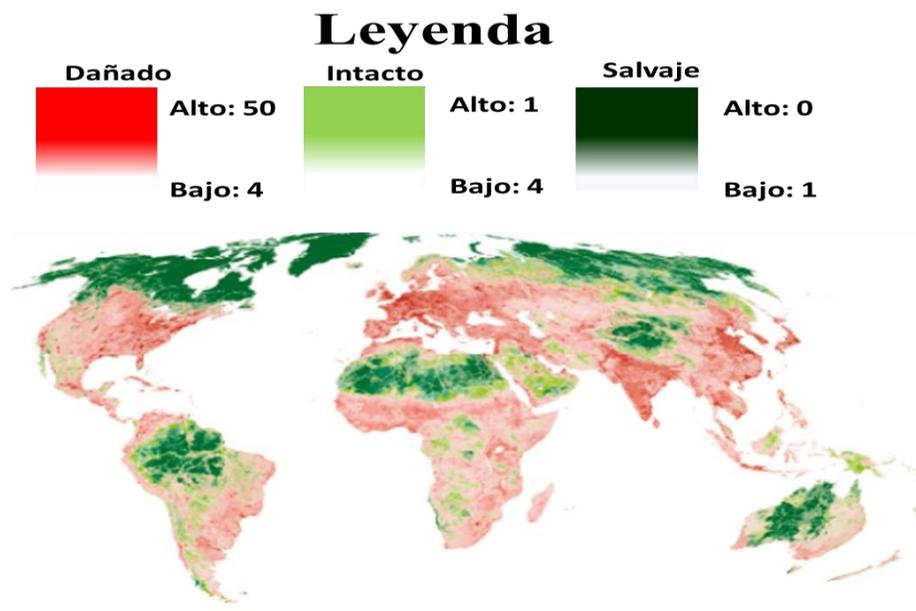
# I. Introducción

## 1.1. Problemáticas de la biodiversidad

Se calcula que la pérdida de biodiversidad a nivel global seguirá en constante ascenso y para 2050 se habrá perdido cerca del 30% de la biodiversidad en las áreas más afectadas (Tilman *et al.*, 2017). Recientemente la World Wildlife Fund (WWF) en el informe “planeta vivo 2020” establece que hasta un 75% de la superficie terrestre no cubierta de hielo ha sido alterada, un 85% de los humedales se han perdido y la contaminación ya ha llegado a niveles preocupantes en la mayoría de los mares. Globalmente, la degradación de flora y fauna se ve especialmente influenciada por cambios antrópicos (Duarte *et al.*, 2006). Aunque gracias al manejo ambiental enfocado a especies, a la restauración, a la protección de ecosistemas, a la educación ambiental y al establecimiento de políticas han obtenido resultados que han favorecido la protección de especies de su extinción (Rodrigues, 2006). La percepción social sobre una crisis ambiental aún se encuentra en amplia discusión, lo que disminuye la priorización y falta de acciones (Rockström *et al.*, 2009).

Entre las principales amenazas antrópicas están: **la expansión humana**, que ha contribuido a la fragmentación y destrucción de hábitats debido a la deforestación, cultivo, minería y ganadería (Badii *et al.*, 2015). La WWF, 2020 reporta que a excepción de la Antártida y pocos países la superficie terrestre se encuentra altamente influenciada por la huella humana (Fig. 1). **La Sobreexplotación** tanto de recursos naturales forestales (Tellería, 2013), sobrepesca en ríos y mares (CEMDA, 2012), explotación de aguas subterráneas (Mayta y Duran, 2015) o especies de valor religioso o exótico (Clarke y A. de By, 2013) han llevado a la desaparición de especies y poblaciones aún más rápido de lo previsto, afectando el equilibrio de los ecosistemas (Cisneros-Mata *et al.*, 2021). **El cambio climático** que afecta al deshielo, al aumento en el nivel del mar y un incremento en catástrofes (Lugo, 2000). Actualmente, el impacto del cambio climático es cada vez más evidente, por ejemplo, en 2016 se declaró formalmente a la rata de cola de mosaico de Bramble Cay (*Melomys rubicola*), un mamífero endémico de un pequeño cayo arrecifal al norte de Australia como el primer registro de extinción directamente consecuente al cambio climático (Fulton, 2017). **La contaminación ambiental** es otro factor que ha ido aumentando con la población a nivel

mundial. Badii y colaboradores (2015) definen la contaminación ambiental como “cualquier producto u acción que intervenga en la dinámica de los ecosistemas con un efecto negativo sobre la biodiversidad”. Daños por hidrocarburos que provocan cambios drásticos en el paisaje y deterioran la fauna y flora (Velásquez-Arias, 2017), contaminación lumínica que afecta a aves marinas (Silva *et al.*, 2020) o daños por envenenamiento de mercurio en peces y humanos (Gracia *et al.*, 2010) son un buen ejemplo de contaminación. Y **las especies invasoras** que son consideradas la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Perrings *et al.*, 2015). Debido a que la presente tesis se enfoca en el estudio de una especie invasora, esta amenaza la estudiamos a mejor detalle en el siguiente apartado.



**Figura 1.** Mapa de presión antrópica a nivel mundial. Tomada de WWF, 2020.

## 1.2. Especies exóticas e invasoras

Una especie exótica es reconocida como: “aquella especie que ha logrado tener presencia fuera de su rango de distribución natural”, y que en presencia de condiciones abióticas favorables y la falta de controladores naturales que eviten su proliferación, pueden prosperar exponencialmente rápido (Pyšek y Richardson, 2010). Cuando una especie exótica se establece con éxito y trae consigo una serie de impactos se convierte en una especie invasora. Entre los impactos conocidos a la biodiversidad están la alteración de la composición y estructura original de las comunidades nativas (Mendoza-Alfaro y Koleff-Osorio, 2014.), la facilitación de nuevos agentes patógenos (Anil y Krishnamurthy, 2018), o cambios por hibridación de especies (McDonald *et al.*, 2008). Sin embargo, los impactos no sólo recalcan en la biodiversidad, también afectan directamente a la salud humana (Pyšek y Richardson, 2010). Tal es el caso, por ejemplo, de la introducción del mosquito tigre asiático (*Aedes albopictus*) originario del sureste asiático que invadió el continente americano a finales del siglo XX, acarreando consigo enfermedades como el dengue, fiebre amarilla o encefalitis (Cursach-Villaronga, 2003); y que actualmente su invasión es beneficiada por el cambio climático y se ha expandido a Europa (Cunze *et al.*, 2016).

Las especies invasoras también pueden provocar impactos económicos que en algunos casos llegan a superar los millones de dólares. En Estados Unidos se estimó que para 2003 existían 50,000 especies no nativas que conllevaron a pérdidas económicas que rondaban los 125 millones de dólares anuales (Allendorf y Lundquist, 2003). La invasión de los matorrales australianos ha llegado a todos los continentes a excepción de la Antártida, y sus costos alcanzan hasta los \$116.4 millones de dólares anuales (Pyšek y Richardson, 2010; Lorenzo y Rodríguez-Echeverría, 2014). A pesar de estos impactos, las especies invasoras y sus efectos muchas veces son poco conocidos y estudiados, lo que supone un reto para la elaboración y aplicación de acciones de gestión, conservación y restauración (Blackburn *et al.*, 2011). Pyšek y Richardson (2010) demostraron al menos teóricamente, que la prevención en la introducción de especies invasoras es la estrategia de gestión más rentable, pero para ello, es necesaria una serie de datos clave para la toma de decisión oportuna (Jeschke y Strayer, 2005).

La investigación sobre las invasiones biológicas se ha apoyado en la recopilación de información básica de las especies a través de revisiones bibliográficas. Estas recopilaciones permiten sintetizar información clave como la presencia y distribución espacial de especies exóticas, vías de introducción, tasas de propagación, historias de vida y rasgos biológicos, ecológicos o sociales (Katsanevakis *et al.*, 2013). Para su realización se han aplicado metodologías estructuradas, que consisten en una recopilación exhaustiva de información con ayuda de buscadores de carácter científico, parámetros bien definidos y una serie de datos a recolectar para el seguimiento de diferentes especies exóticas (e. g. Brown *et al.*, 2011; Creed *et al.*, 2017a). Estas revisiones sirven como base para la creación de nuevas estrategias o herramientas para la toma de decisiones respecto a especies invasoras que van desde la modelación de nicho ecológico real y potencial de especies exóticas (Smith *et al.*, 2012; Martínez-Meyer *et al.*, 2017), planes de manejo de la especie (Valenzuela *et al.*, 2016) o modelos para medir el impacto de las especies invasoras como análisis de riesgos (Blackburn *et al.*, 2011). En México, se ha propuesto la metodología de evaluación rápida de invasividad (MERI) (Golubov *et al.*, 2014) para evaluar de manera sistemática las especies que podrían ser invasoras para el país (González-Martínez *et al.*, 2017). Esta herramienta analiza a través de diez preguntas divididas en tres grandes rubros (estatus, riesgo de invasión e impactos) y de manera cuantitativa (de 0 a 1) el potencial de invasividad de cada especie introducida para México.

Las revisiones bibliográficas también pueden ser complementadas por **el uso del conocimiento experto** definido como “información sustantiva sobre un tema en particular que no es ampliamente conocido por otros” (Martin *et al.*, 2012). Esta información puede ser obtenida mediante una serie de preguntas específicas a expertos que permite conocer información precisa como registros en lugares metodológicamente inaccesibles por falta de recursos como tiempo o dinero (Kuhnert, 2011) o juicios que puedan ayudar en la toma de decisiones en el manejo de la biodiversidad (Martin *et al.*, 2012). Las encuestas que se realizan pueden presentar un sesgo psicosocial y motivacional, pero este sesgo puede ser reducido a través de una metodología bien estructurada al diseñar una buena encuesta y la selección correcta de encuestados para mitigar estos sesgos (e. g. Camacho-Cervantes *et al.*, 2017). Otro complemento que gracias a la continua innovación y la participación social es

recorrir a páginas especializadas en registros fotográficos. Estas páginas pueden arrojar diferentes registros de presencia de las especies en un área determinada. Sin embargo, es importante reconocer que es necesario manejar los datos con precaución y seguir un criterio sistemático adecuado para usar esta información.

## **II. Antecedentes**

### **2.1. Corales escleractínios**

Los corales escleractínios llamados también corales pétreos o corales verdaderos, son organismos pertenecientes al orden Scleractinia (Pyllum: Cnidaria). Estos corales poseen un esqueleto de carbonato de calcio y son considerados un conjunto de organismos de origen animal, vegetal y microscópico que dan lugar a lo que hoy en día conocemos como el holobionte coralino. Existen múltiples asociaciones en donde destacan las algas unicelulares (zooxantelas) y múltiples microorganismos (bacterias u hongos) que habitan sobre y dentro del anfitrión (Knowlton y Rohwer, 2003). Para ayudar a distinguir a los corales pétreos se han clasificado según su tasa de contribución a la formación de arrecifes coralinos entre aquellos organismos formadores de arrecifes (hermatípicos) y aquellos no formadores (ahermatípicos).

En los corales hermatípicos existen pocos de tipo solitario mientras la mayoría de ellos son organismos coloniales, formados por la interconexión de múltiples pólipos que comparten una serie de canales y un sistema gastrovascular que permite el intercambio de nutrientes captados por una serie de tentáculos que conforman al pólipo (Rubio-Portillo *et al.*, 2016). El aporte de nutrientes permite al organismo expandirse de manera más rápida y eficiente que es obtenido por dos vías principales, la alimentación heterótrofa que cubre del 15% al 35% de los requerimientos alimenticios de un coral sano (Houlbrècque y Ferrier-Pagès, 2009) y a las zooxantelas que transfieren hasta el 95% de los compuestos orgánicos obtenidos a través de la fotosíntesis (Muscatine, 1981; Gordon *et al.*, 2013).

Las zooxantelas son microalgas que se posicionan en la capa gastrodérmica dentro de vacuolas recibiendo protección y una serie de compuestos inorgánicos y dando a cambio nutrientes al anfitrión (Yelloweels *et al.*, 2008), creando así una simbiosis obligada que puede ser fácilmente afectada por cambios ambientales que pueden desencadenar el fenómeno de blanqueamiento que consiste en la pérdida o expulsión del endosimbionte (zooxantela) y que generalmente produce la muerte del hospedador al no satisfacer las necesidades nutricionales (Goldberg, 2018). Aunque existen algunas especies denominadas corales zooxantelados facultativos que pueden llegar a sobrevivir después del blanqueamiento como especies del género *Oculina* (Fine *et al.*, 2001).

## **2.2. Corales escleractínios invasores**

Actualmente la Global Invasive Species Database (ISSG) tiene registro de tres especies invasoras del phylum Cnidaria (<http://www.iucngisd.org/gisd/search.php>). Y únicamente un registro corresponde al orden Scleractinia (*Tubastraea coccinea*), esto a pesar de que tan solo del género *Tubastraea* se han identificado al menos otras dos especies alóctonas a nivel mundial *T. tagusensis* y *T. Micranthus*. Estas tres especies han demostrado ser invasores altamente eficientes gracias a su reproducción sexual y asexual, la dispersión de sus larvas y el reclutamiento, que le permiten competir por el espacio y se han establecido en cuatro regiones del planeta provocando problemas ambientales, económicos y sociales (Creed *et al.*, 2017a). En México, el Diario Oficial de la federación (DOF) registró para 2017 seis especies exóticas de Cnidarios. Sin embargo, ninguna de ellas es de algún coral escleractínio a pesar de que existen registros de los invasores *T. coccinea* (Fenner, 2001), *T. tagusensis* (Figueroa *et al.*, 2019) y *O. patagonica* (González-Gándara *et al.*, 2015). Además, Figueroa y colaboradores (2019) encontraron evidencia que sugiere la presencia de una especie alóctona híbrida entre *T. coccinea* y *T. tagusensis* en el golfo de México.

## **2.3. El holobionte coralino: *Oculina patagonica***

### **2.3.1. Identificación**

*Oculina patagonica*, en un principio fue catalogada como una subespecie de *Oculina mississippiensis* var. *patagonica* en 1908 por Angelis a través de fósiles y subfósiles del holoceno y plioceno de la Patagonia, Argentina (Angelis, 1908; Zibrowius y Ramos, 1983). Hasta 1963 cuando Squires, mediante el análisis de las características morfológicas de muestras fósiles propuso la separación de la especie, primeramente, como *Astrangia patagonica* que a la postre es reconocida como especie sinónima de *O. patagonica* a partir del trabajo de Angelis (1908). Fue en el año 1966 cuando se descubrió la primera colonia viva en el mundo en las costas del Mediterráneo (Zibrowius, 1974).

La apariencia *in situ* de las colonias puede variar según las condiciones ambientales a las que se enfrenta y que pueden determinar su estado de salud. Una colonia sana presentará una pigmentación marrón, amarillento o levemente rosado. Mientras que una pigmentación blanca o transparente muestra señal de estrés o enfermedad en la colonia a distintos niveles según el nivel de daño en los tejidos y la pérdida de zooxantelas simbiotas (Shenkar *et al.*, 2005; 2006). *Oculina patagonica* presenta 24 tentáculos de color azul-grisáceo que generalmente son cortos y anchos con múltiples manchas blancas (Zibrowius, 1974) y que son utilizados en el consumo heterótrofo del holobionte cuando están extendidos.

En cuanto a la forma de la colonia se ha registrado una morfología típicamente con crecimiento plocóide de tipo incrustante que puede o no tener pequeñas protuberancias gruesas, pero se han llegado a documentar colonias semiesféricas. Las características que se han utilizado para la identificación de la especie son las medidas de los cálices que van desde 1 mm a 3.5 mm de diámetro, una altura de 1 a 3 mm y una distancia promedio entre cálices de 2 a 3 mm. Otras características que son típicamente usadas son la presencia de 24 septos, 12 de ellos fusionados al centro y el coenosteum con nervaduras suaves o finamente granuladas. Y finalmente, solo la descripción de Zibrowius (1974) toma en cuenta la forma de la columela y Gravili y Rossi (2021) la distancia entre coralita (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características morfológicas documentadas para *O. patagonica*.

Referencia	Forma de la colonia	Columela	Cálices	Distancia entre coralita	Coenosteum	Septos	Tentáculos
Zibrowius 1974	Incrustante. Semiesférica	No bien individualizada	Altamente variables; alargados, redondos o vagamente poligonales de <b>D:</b> 2.5mm <b>Al:</b> de 1 a 2mm	-	Con nervaduras suaves o finamente granulado	24 septos: 12 fusionados al centro	24 dispuestos en 2 círculos alrededor del peristoma
Çinar, 2006	-	-	<b>D:</b> 2.5mm	-	Con nervaduras suaves o finamente granulado	-	-
Hoeksema y Ocana-Vicente, 2014	-	-	-	.-	Con nervaduras suaves o finamente granulado	-	-
Brito <i>et al.</i> , 2017	Incrustante	-	<b>D:</b> Max. 3.5mm	-	-	-	-
Mariani <i>et al.</i> , 2018	Semiesférica	-	De redondo a elíptico en el contorno: <b>Al:</b> 2 a 3 mm <b>D:</b> 1- 3mm	-	-	24 septos	-
Colín-García <i>et al.</i> , 2018	Incrustante	-	Redondeados <b>D:</b> 2 a 3 mm	-	Con nervaduras suaves o finamente granulado	24 septos: 12 fusionados al centro	-
López <i>et al.</i> , 2019	-	-	<b>D:</b> Max. 3.5mm	-	-	-	-
Martinez <i>et al.</i> , 2021	-	-	Cálices pequeños pólipos con crecimiento plocóide: <b>D:</b> <3m	-	-	-	-
Gravili y Rossi, 2021	-	-	<b>D:</b> <3mm	Entre 3 y 4 mm en promedio	-	24 septos con un ancho medio poco debajo de 2 mm	-

*Oculina patagonica* ha demostrado tener amplias capacidades para adaptarse a ecosistemas artificiales expuestos a la contaminación doméstica e industrial (Zibrowius, 1974; Fine *et al.*, 2001). Así como a cambios de factores abióticos como temperatura (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2014<sup>a</sup>; b), pH (Fine y Tchernov, 2007) o luz (Rubio-Portillo *et al.*, 2014<sup>a</sup>). Su tasa de crecimiento es variable ya que puede llegar hasta 1 cm +/- al año en condiciones óptimas (Rubio-Portillo *et al.*, 2014c). Sin embargo, las condiciones ambientales y la pérdida de zooxantelas pueden reducir esta tasa (Movilla *et al.*, 2012). *Oculina patagonica* al ser un coral zooxantelado facultativo, tiene la posibilidad de resistir escenarios adversos como la pérdida parcial o total de zooxantelas e inclusivamente puede llegar a recuperarse de dichos escenarios (Zibrowius y Ramos, 1983; Rubio-Portillo *et al.*, 2014d). En cuanto a su reproducción, es una especie gonocórica desovadora que usualmente puede empezar la producción de gametos cuando el tamaño de la colonia consta de 10 a 25 pólipos (1-2 años aproximadamente) (Fine *et al.*, 2001). Además, se puede reproducir de manera asexual por gemación intratentacular (Hoeksema y Ocaña-Vicente, 2014) y a través de la expulsión de pólipos (Kramarsky-Winter *et al.*, 1997). Todos estos factores hacen que *O. patagonica* sea considerada una especie oportunista y ampliamente resistente.

### **2.3.2. Consorcio coralino**

Una parte fundamental del holobionte coralino es la comunidad microbiana que vive asociada al coral hospedador. En *O. patagonica* se ha reportado la presencia de al menos 34 *taxa* de microorganismos de los cuales 12 se han registrado exclusivamente en el tejido (Cuadro 2). En este caso, las zooxantelas (género *Symbiodinium* clado B) están entre los simbioses más importantes. Se ha documentado que estos microorganismos pueden tener concentraciones de hasta el 68% de la abundancia relativa del microbioma (Martínez *et al.*, 2021) llegando a proporcionar hasta el 43% de los recursos energéticos de la colonia (Grupstra *et al.*, 2017) y que dependiendo de la zona geográfica en la que se encuentre la colonia pueden pertenecer a diferentes genotipos (Leydet y Hellberg, 2016).

En cuanto a otros microorganismos (Cuadro 2), se ha determinado la presencia de diferentes *Vibrios* (*V. coralliilyticus* y *V. mediterranei*) tanto en colonias saludables como blanqueadas

que han sido identificados como los causantes del blanqueamiento bacteriano en *O. patagonica* (Toren *et al.*, 1998; Banin *et al.*, 2000; Rubio-Portillo *et al.*, 2020) o el género *Pseudovibrio* que inhibe el crecimiento de patógenos y su abundancia puede ser utilizada como indicador de salud en el huésped coralino (Rubio-Portillo *et al.*, 2021).

**Cuadro 2.** Inventario de la comunidad microbiana de *O. patagonica*. Donde se especifica el nivel taxonómico registrado para cada trabajo, la condición del coral examinado (Sano, Blanqueado o en Ambos) y la ubicación de los microorganismos; T: tejido M: moco Na: no aplica.

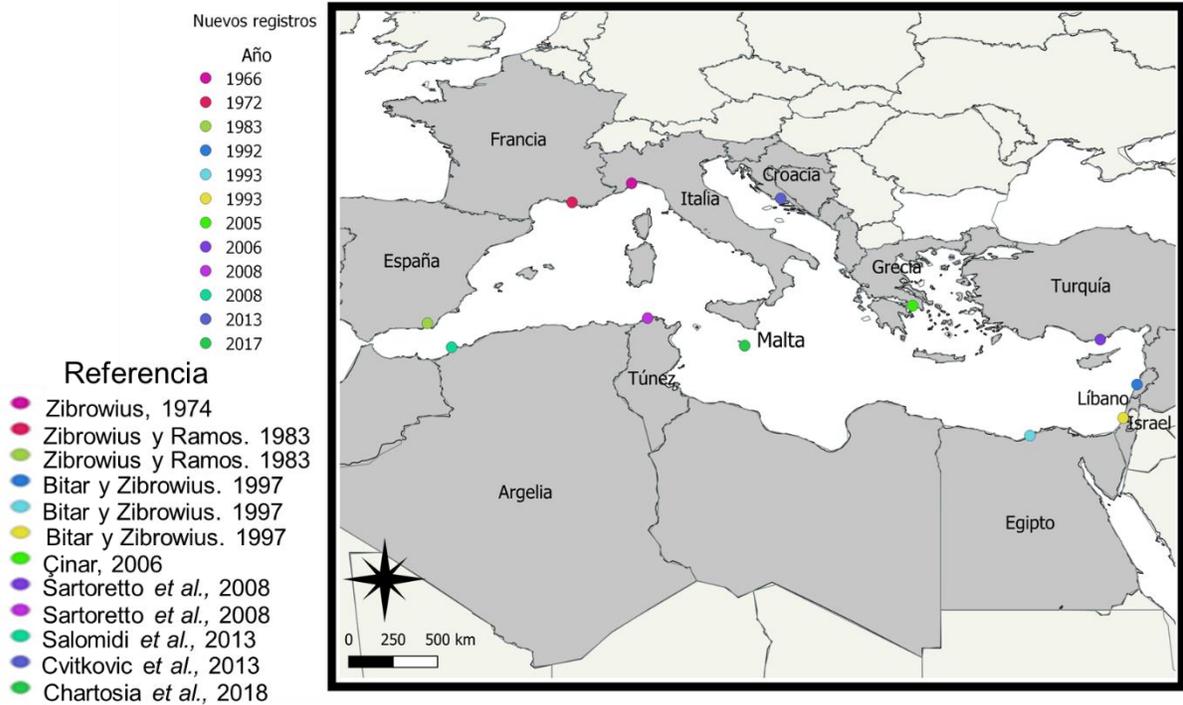
Taxa	Organismo	Condición del coral	Condición del coral			Referencia
			T	M	Na	
Clado B2	<i>Symbiodinium psymophilum</i>	Sano	X			Rodolfo-Meltapa <i>et al.</i> , 2014; Leydet y Hellberg, 2016; Grupstra <i>et al.</i> , 2017; Martínez <i>et al.</i> , 2021
Clase	<i>Paramaledivibacter</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Phormidium</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Pseudovibrio</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Ruegeria</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Synechococcus</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Vibrio</i>	Ambos	X	X		Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	Clado BO 1-7		Ambos	X		Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Rubritalea</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
	<i>Endozoicomonas</i>	Blanqueado	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2021
Especie	<i>Vibrio mediterranei</i>	Ambos	X			Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014c; 2016; 2020
	<i>Vibrio coralliilyticus</i>	Ambos	X			Leydet y Hellberg, 2016; Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014c; 2016; 2020
Género	<i>Cyanophyceae</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Chlorobia</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Alphaproteobacteria</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Deltaproteobacteria</i>	Sano	X			Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Gammaproteobacteria</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Epsilonproteobacteria</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Betaproteobacteria</i>	Sano	X	X		Bednarz <i>et al.</i> , 2019
	<i>Vibrio splendidus</i> — <i>Vibrio gigantis</i> — <i>Vibrio atlanticus</i> — <i>Vibrio pomeroyi</i>	Ambos			X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
Filotipos del Género Vibrio	<i>Vibrio fortis</i>	Ambos			X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
	<i>Vibrio hepatarius</i> — <i>Vibrio tubiashii</i>	Ambos			X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d

<i>Vibrio xuii</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio maritimus</i>	Ambos	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio ponticus</i>	Ambos	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio harveyi</i> – <i>Vibrio rotiferianus</i>	Ambos	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio natriegens</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio communis</i> – <i>Vibrio owensii</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio agarivorans</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Vibrio comitans</i> – <i>Vibrio rarus</i> – <i>Virbio breoganii</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Photobacterium rosenbergii</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Photobacterium swingsii</i>	Blanqueado	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Agarivorans albus</i>	Sano	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Shewanella fidelis</i>	Ambos	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d
<i>Shewanella waksmanii</i>	Ambos	X	Rubio-Portillo <i>et al.</i> , 2014d

### 2.3.3. Expansión

A partir del primer registro formal de un ejemplar vivo de la especie en Italia en 1966 gracias a un buzo que hizo llegar una muestra para su identificación. La especie exhibió una rápida expansión a partir de su descubrimiento. En 1972 se realizó un experimento de trasplante de las primeras colonias a la zona de Marsella, Francia en donde lograron adaptarse y a la postre expandirse en el país. Para España se reportó en 1983 donde se localizaron colonias ampliamente distribuidas y de un tamaño considerable, por lo que este país es considerado por algunos autores como el punto de introducción al Mediterráneo.

El registro exacto para las costas de Israel es impreciso, ya que se reporta en 1993 cuando se suscitó el primer caso de blanqueamiento registrado en *O. patagonica* ya existían colonias bien establecidas en el país (Kushmaro *et al.*, 1996; Bitar y Zibrowius, 1997). Sin embargo, se sabe que se expandía hacia los países aledaños en esos años (Líbano en 1992 y Egipto en 1993). Posteriormente, se reportó su expansión hacia Grecia, Turquía y Túnez para 2008, y a comienzos de la década del 2010 hizo su primera aparición en el mar Adriático (Croacia, 2011) y en Malta para finales de la década (Fig. 2).



**Figura 2.** Primeros registros de *O. patagonica* para los países costeros en el mar Mediterráneo.

En el mar Mediterráneo se ha propuesto al transporte marítimo (bioincrustación y agua de lastre) como el vector inicial (Zibrowius, 1974). Este mismo vector ha sido identificado como el principal vector regional entre los países costeros de dicho mar, aunque se sabe que la especie es capaz de dispersarse por deriva con ayuda de los diferentes sustratos artificiales (Serrano *et al.*, 2013) o por transporte de naufragios a vertederos (Zibrowius y Ramos, 1983). Localmente, el transporte marítimo a través de pequeñas embarcaciones es la vía encargada de dispersar a la especie, aunque el principal vector local es la dispersión larvaria (Fine *et al.*, 2001; Terrón-Sigler *et al.*, 2016).

En el golfo de México, con el registro de *O. patagonica* aumenta a seis el número de especies del género *Oculina* que han sido registradas (Cairns *et al.*, 2009; González-Gándara *et al.*, 2015; Pérez-España *et al.*, 2015; GulfBase, 2022). *Oculina patagonica* se registró por primera vez en Veracruz, México dentro de dos arrecifes del Sistema Arrecifal Tuxtlas (SAT)

(González-Gándara *et al.*, 2015). En 2017, De la Cruz-Francisco y colaboradores registraron organismos con las características morfológicas de *O. patagonica* en el intermareal rocoso “El Pulpo”. Sin embargo, son Colín-García y colaboradores (2018) quienes confirman la identificación y presencia mediante análisis genéticos y morfológicos en la zona centro del estado dentro de los arrecifes costeros “Ingenieros” y “Gallega”, pertenecientes al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). De los tres sitios donde se ha encontrado esta especie, dos presentan alguna categoría de conservación (Área Natural Protegida y sitio Ramsar) y conforman alguna estrategia de conservación (Corredor Arrecifal Veracruzano) para la biodiversidad (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

### **III. Justificación e importancia**

Las invasiones biológicas suponen un reto importante para la conservación de la biodiversidad siendo el desconocimiento de especies marinas exóticas especialmente marcado. Además, la falta de comunicación entre científicos, así como un inexistente acuerdo en la identificación de especies exóticas, sus impactos y su distribución lleva a un sinnúmero de problemas al estudiar especies exóticas e invasoras. *Oculina patagonica* presenta múltiples retos relacionados desde su descubrimiento fósil en el norte de la Patagonia, transitando por su estatus en el mar Mediterráneo, hasta el nuevo registro de presencia en el golfo de México. Por ello, una recopilación exhaustiva sobre *la especie* a nivel mundial puede ser una estrategia eficaz para encontrar brechas de información de la especie y conocer su posible expansión e impactos en una nueva área. Además, complementar el trabajo con una metodología que incluye la opinión de expertos permitirá conocer de manera descriptiva y exploratoria la distribución de *O. patagonica* a lo largo del golfo de México, que metodológicamente sería imposible realizar en el marco de un proyecto de maestría debido al costo económico y al tiempo que se requiere, además en los últimos dos años la pandemia a nivel mundial (COVID-19) ha complicado significativamente las salidas a campo.

Esta investigación es el primer trabajo exploratorio y descriptivo de *O. patagonica* en el golfo de México por lo que es un primer paso para plantear futuras investigaciones de campo y

laboratorio, investigar su proceso de invasión, impactos, distribución y abundancia en ecosistemas costeros del golfo. Así mismo, los resultados de esta tesis generan información que puede ser usada para la creación de nuevos planes de manejo de control, contención y aprovechamiento de la especie para México.

#### **IV. Pregunta de investigación**

¿Cuál es el conocimiento actual de *O. patagonica* y qué riesgo representa su introducción al golfo de México?

#### **V. Objetivos**

##### **5.1. Objetivo general**

Investigar la presencia de *O. patagonica* en México y la percepción de riesgo a los ecosistemas nativos que identifican los investigadores del golfo de México.

##### **5.2. Objetivos particulares**

- Analizar el conocimiento adquirido en *O. patagonica* a nivel mundial a través de una revisión bibliográfica.
- Conocer la percepción de riesgo que implica la introducción de *O. patagonica* en la zona en el golfo de México de acuerdo con expertos en arrecifes y corales.
- Describir la distribución, el estado y la morfología de las colonias de *O. patagonica* en el golfo de México.

- Establecer el nivel de invasividad de *O. patagonica* para México usando el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

## **VI. Metodología**

### **6.1. Revisión bibliográfica**

Se realizó una búsqueda bibliográfica desde 1908 (año de la descripción de la especie) hasta septiembre 2021, para ello se recolectaron documentos a nivel mundial a través de distintos buscadores científicos: a) Web of Science, b) Google Scholar, c) bidiUNAM en los cuales se utilizó el nombre científico “*Oculina patagonica*” como palabra clave. Los resultados fueron filtrados en orden cronológico (antiguo a reciente) y se revisaron año por año para asegurarse que no se omitiera algún documento o eliminar réplicas y finalmente durante la revisión de los documentos se repasaron las listas de referencias bibliográficas de cada uno para encontrar documentos que no hubieran sido identificados a través de los buscadores científicos.

Los documentos fueron analizados y se recolectaron los siguientes datos:

#### **Identificación del documento:**

- Clave de identificación única para cada documento en orden cronológico
- Año de publicación del documento
- Revista de publicación del documento
- Título del documento
- Autor principal del documento
- DOI

### **Características del documento:**

- Tipo de documento (revisión, artículo, informe, reporte etc.)
- Tema principal del documento
- País (donde se llevó a cabo el documento o estudio)
- Sitio de estudio
- Tipo de trabajo (experimental, campo o ambos)

### **Ecológicos:**

- Ecosistema con presencia de la especie en el documento o extracción del ejemplar experimental
- Tipo de formación del ecosistema (natural o artificial)
- Coordenadas geográficas
- Criterio de invasión basado en la clasificación de Blackburn *et al.*, 2014 en la que se considera la especie 1) exótica: cuando no presenta algún impacto asociado, pero se le considera una especie no-nativa de la zona, 2) invasora: cuando se asocia algún impacto desde su introducción a la zona, 3) criptogénica: cuando se considera que la información es insuficiente para clasificarla y 4) nativa: cuando se propone como una especie nativa de la zona
- Tipo de interacción e impacto asociado a su introducción
- Vector de introducción al país de estudio
- Características morfológicas de la identificación de la especie
- Microorganismos asociados a la especie

Para el análisis de los documentos se realizó una base de datos en el programa Excel. En caso de que el documento no presentara algún dato en particular se le asignó un valor de “0” o “sin criterio” y fueron excluidos para una mejor visualización de los resultados referentes a dicho dato únicamente. Ocho documentos no pudieron ser obtenidos, por lo que únicamente se tomaron los datos de identificación del documento y fueron tomados en cuenta para el primer apartado de revisión histórica pero excluidos para la revisión y análisis posteriores. Para la representación de los resultados se realizaron inventarios biológicos ordenados taxonómicamente siguiendo los registros de bases de datos especializadas en organismos marinos como el World Register of Marine Species (WoRMS;

<https://www.marinespecies.org/index.php>), algaeBase (<https://www.algaebase.org/>) y Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org/>). Los histogramas y gráficos fueron realizados a través de los programas Excel y Past 4.03. Los mapas fueron realizados a través del programa QGIS 3.

## 6.2. Opinión de expertos

Para conocer la opinión de expertos y registros de distribución no indexados de *O. patagonica* en el golfo de México se realizó una búsqueda esquemática de los investigadores especialistas en bentos marino (cnidarios) de la zona costera, ecólogos marinos que estudian la zona, autores que reportan a *O. patagonica* en la zona y aquellos investigadores con artículos enfocados en la zona de estudio y sobre el tema de interés en los últimos cinco años. Para localizar a estos autores se utilizaron 1) los datos de los artículos encontrados en la revisión bibliográfica. 2) Una búsqueda exhaustiva a través de los directorios web de universidades, institutos de investigación, asociaciones científicas y proyectos que tuvieran inferencia o estuvieran presentes en los estados que colindan con el golfo de México. Se creó una base de datos en Excel que consistió en el nombre del investigador, línea de investigación y correo electrónico. Posteriormente se les envió una encuesta personalizada en español o inglés (Anexo 1) con seis preguntas solicitando su colaboración, las respuestas se compilaron en la base de datos de Excel para su interpretación y como resultado de las encuestas enviadas se logró obtener una serie de material complementario (esqueletos de colonias, fotografías y coordenadas de presencia de la especie en la zona) el cual fue procesado de la siguiente manera:

### Colonias

Se recibieron cinco colonias del coral *O. patagonica* de las cuales tres contaban con fotografías *in situ* con coordenadas, y dos fueron encontradas a lo largo de la línea de costa, estas colonias fueron recibidas a través de servicio de paquetería para ser procesadas en el Laboratorio de Ecología de Especies Invasoras del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Para la confirmación de la especie se siguió la metodología propuesta por Menezes *et al.*, (2014) para conocer datos morfológicos del esqueleto coralino el cual consiste en tomar fotografías individuales de tres zonas distintas definidas por su posición en la colonia: **superior**: la zona más alejada del sustrato, **media**: la zona entre el límite superior e inferior, e **inferior**: la zona en la que los coralitos entran en contacto con el sustrato. En el caso de que la colonia fuese completamente incrustante se refirieron a estas mismas zonas desde el centro de la colonia (superior) hasta las periferias (inferior).

La toma de los datos morfológicos (diámetro máximo del coralito, diámetro mínimo del coralito, septos y columela) se realizó a través del programa ImageJ (Rasband, 2012), se midieron 15 coralitos por zona en colonias con diámetro >5 cm y cinco coralitos por zona para las colonias menores a dicho diámetro como indica Menezes *et al.*, (2014). Las fotografías se tomaron con una regla u hoja milimétrica como escala en un estereoscopio OLYMPUS ZS-ST y una cámara NIKON COOLPIX.

## **Fotografías**

Se obtuvieron 31 fotografías de *O. patagonica* con sus datos del proyecto JF124 (Gándara *et al.*, 2015) disponibles en la plataforma de la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos2.cgi?Letras=JFyNumero=124>), cuatro fotografías procedentes de las encuestas y cuatro de la plataforma naturalista. Sin embargo, debido a que las fotografías no contaban con una escala para hacer mediciones, únicamente fueron utilizadas las coordenadas geográficas de las fotos, así como la profundidad (que venía incluida como metadato en los registros y también nos fue proporcionada por los expertos en el caso de sus observaciones) y el tipo de ecosistema de la foto.

## **Coordenadas de distribución**

Las coordenadas obtenidas a través de la encuesta fueron utilizadas para representar la distribución en el golfo de México que se explica en el siguiente apartado.

### **6.3. Distribución**

Para conocer la distribución actual en el golfo de México se creó una base de datos con registros de presencia que consistió en 54 coordenadas, 11 resultado de las encuestas y 43 de la revisión bibliográfica. Adicionalmente se registraron cuatro coordenadas procedentes de la revisión de fotografías de la página de registro de especies a través de la plataforma Naturalista. Estas coordenadas fueron estandarizadas a latitud y longitud para ser representadas con ayuda del programa QGIS3, en el cual se utilizaron diferentes capas procedentes de INEGI y EUROSTAT.

### **6.4. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI)**

Para evaluar el nivel de invasividad de *O. patagonica* se utilizó el MERI (Golubov *et al.*, 2014), método propuesto por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en México como el primer paso para evaluar de manera rápida especies exóticas e invasoras cuando no se tienen datos de campo. Para la aplicación de esta herramienta, primero es necesario contestar dos preguntas generales. La primera respecto a la existencia de un análisis de riesgo para la especie en México y la segunda enfocada en la compatibilidad climática y probabilidad de establecimiento de la especie en México. Posteriormente es necesario contestar diez preguntas agrupadas en tres grandes rubros que especifican Barrios-Caballero y colaboradores (2014) de la siguiente forma:

#### **A) Estatus**

**1. Reporte de invasora:** se refiere a la existencia de análisis de riesgo, a reportes o listados que señalen a la especie como invasora en otras partes del planeta.

**2. Relación con taxones invasores:** evalúa si la especie está relacionada taxonómicamente con otras especies que ya hayan sido clasificadas como invasoras.

**3. Vector de otras especies invasoras:** examina si la especie tiene el potencial de transportar otras especies invasoras, incluyendo patógenos y parásitos de importancia para la vida silvestre, el hombre o actividades productivas.

## **B) Riesgo de invasión**

**4. Riesgo de introducción:** se refiere a la probabilidad de que la especie entre al país o de que se introduzca nueva o repetidamente, en caso de que ya haya sido introducida. Destaca la importancia de la vía o el número de vías de introducción por las que entra la especie. Interviene también el número de individuos y la frecuencia de introducción de los organismos (o propágulos).

**5. Riesgo de establecimiento:** se evalúa la probabilidad que tiene la especie de reproducirse y fundar poblaciones viables en una región fuera de su área de distribución natural (actual en el caso de nativas con potencial invasor o exóticas ya establecidas en México).

**6. Riesgo de dispersión:** es la probabilidad que tiene la especie de expandir su rango geográfico cuando se establece en una región de la que no es nativa.

## **C) Impactos**

**7. Impactos sanitarios:** son aquellos impactos a la salud humana, animal o vegetal; por ejemplo, especies venenosas, tóxicas, causantes de alergias, epidemias, especies parasitoides, que la especie misma sea una enfermedad (ej., dengue, cólera, etc.).

**8. Impactos económicos y sociales:** se evalúan los impactos a la economía y al tejido social. Puede incluir incremento de costos de actividades productivas, daños a la infraestructura, pérdidas económicas por daños o compensación de éstos, pérdida de usos y costumbres, desintegración social, etcétera.

**9. Impactos ambientales:** se citan cambios físicos y químicos en agua, suelo, aire y luz.

**10. Impactos ecológicos:** se evalúan los impactos a otras especies, los ecosistemas y las comunidades (por ejemplo, mediante herbivoría, competencia, depredación e hibridación).

A cada pregunta se le asigna un valor de intensidad/respuesta (muy alto (1), alto (0.75), medio (0.5), bajo (0.25), no/nulo (0) y se desconoce) y un valor de incertidumbre de la información según las fuentes (mínima (1), baja (0.75), media (0.5), alta (0.25) y máxima (0)) (Ver Cuadro 6 en Golubov *et al.*, 2014).

Estos valores combinados obtienen un valor ponderado según el modelo a utilizar; en el caso del MERI se realizaron dos modelos para determinar el índice de riesgo (IR).

$$\text{Índice de riesgo (IR)} = \alpha (\text{peso estatus}) + \beta (\text{peso invasividad}) + \delta (\text{peso impactos})$$

El primer modelo PI referente al proceso de invasión, da un mayor peso a las características de invasividad:

$$\text{Modelo PI: } \alpha = 0.25, \beta = 0.5 \text{ y } \delta = 0.25$$

El segundo modelo BT da un mayor peso a reportes previos y la cercanía taxonómica con otras especies invasoras:

Modelo BT:  $\alpha= 0.5$ ,  $\beta= 0.25$  y  $\delta = 0.25$

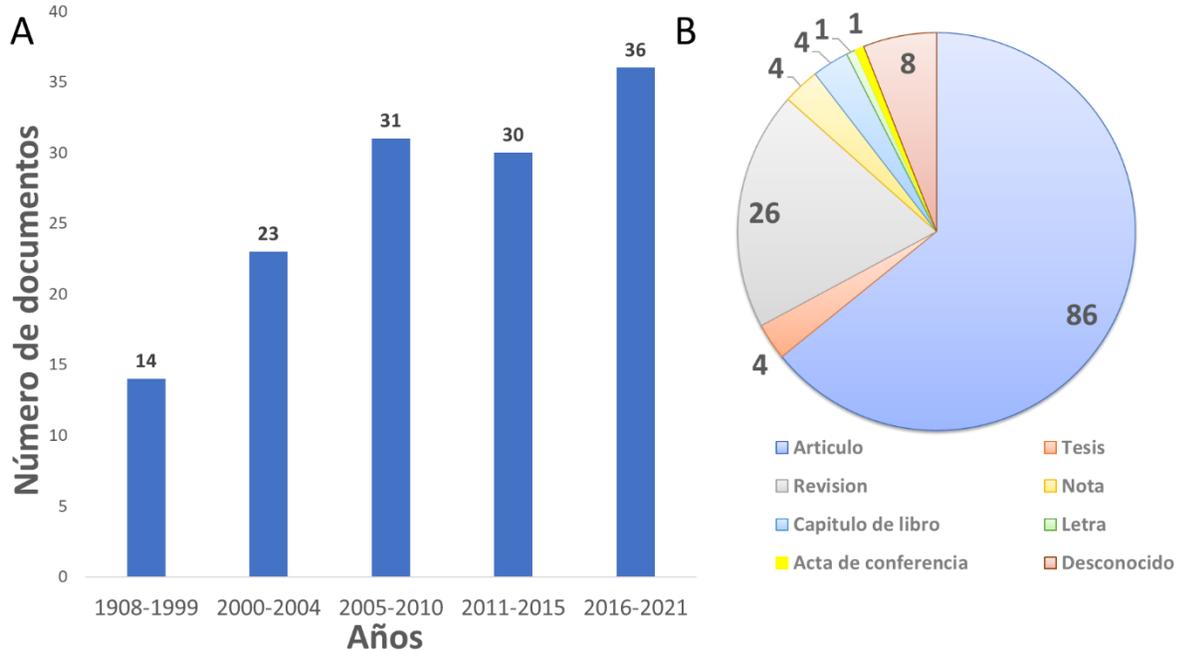
Los pesos ponderados de las preguntas de cada modelo (Ver Cuadro 4 en Golubov *et al.*, 2014) se utilizan para obtener las siguientes categorías de riesgo inicial: riesgo muy alto (RMA) con valor de IR  $> 0.5$ ; riesgo alto (RA) con valor de IR  $> 0.25$  y  $\leq 0.5$ ; riesgo medio (RM) con valor IR  $> 0.125$  y  $\leq 0.25$ ; riesgo bajo con valor de IR  $< 0.125$ .

Para contestar estas preguntas se utilizó la información recabada de la revisión bibliográfica a nivel mundial para *O. patagonica* realizada en este trabajo y el instructivo MERI (CONABIO, 2015) para determinar el nivel de intensidad correspondiente a cada pregunta.

## VII. Resultados

### 7.1. Revisión bibliográfica mundial de *Oculina patagonica*

Se han publicado 134 documentos enfocados total o parcialmente en *O. patagonica* desde 1908 (descripción original) hasta 2021. La investigación se presentó esporádicamente hasta el año 2000 donde empezó un incremento en la publicación de documentos. Desde 2006, se han publicado al menos 29 documentos por cada lustro (Fig. 3A). De los 134 documentos encontrados 86 fueron artículos científicos (64%), 26 revisiones bibliográficas (19%), cuatro capítulos de libros (3%), cuatro notas científicas (3%), cuatro tesis de grado (3%), un acta de conferencia (1%) y una letra (1%), este último es un tipo de documento corto parecido a una monografía (Fig. 3B).

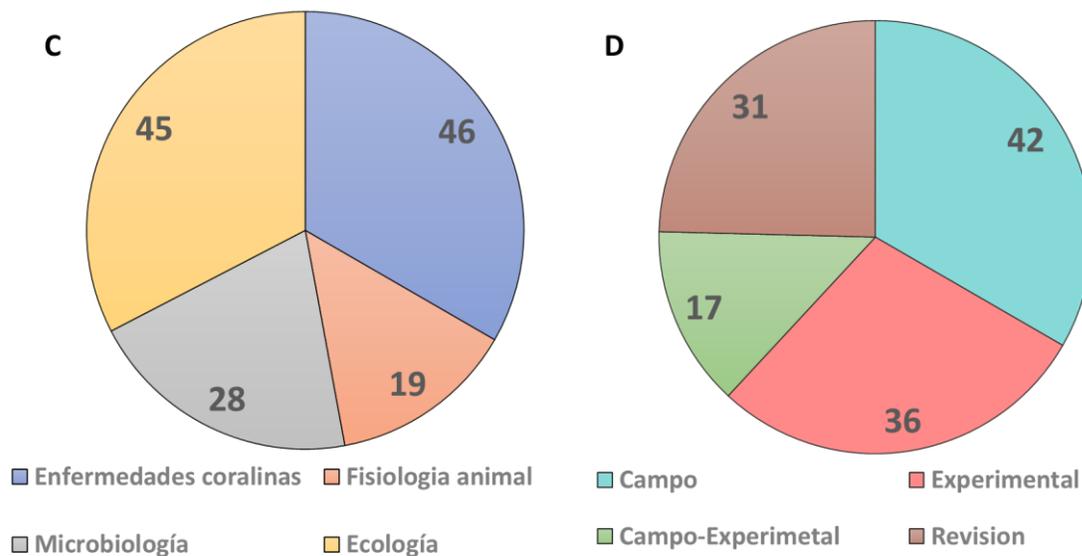


**Figura 3.** A) Número de documentos publicados y B) Tipo de documentos publicados.

Enfermedades coralinas y ecología general fueron los dos temas más estudiados con 46 y 45 documentos respectivamente (Fig. 4A). En cuanto a las enfermedades coralinas, se han estudiado desde 1993 cuando se dio a conocer el primer registro del blanqueamiento bacteriano encontrado en la especie (Kushmaro *et al.*, 1996). En este tema, la especie ha sido objeto de discusión con múltiples trabajos, enfocados en la identificación del agente causal

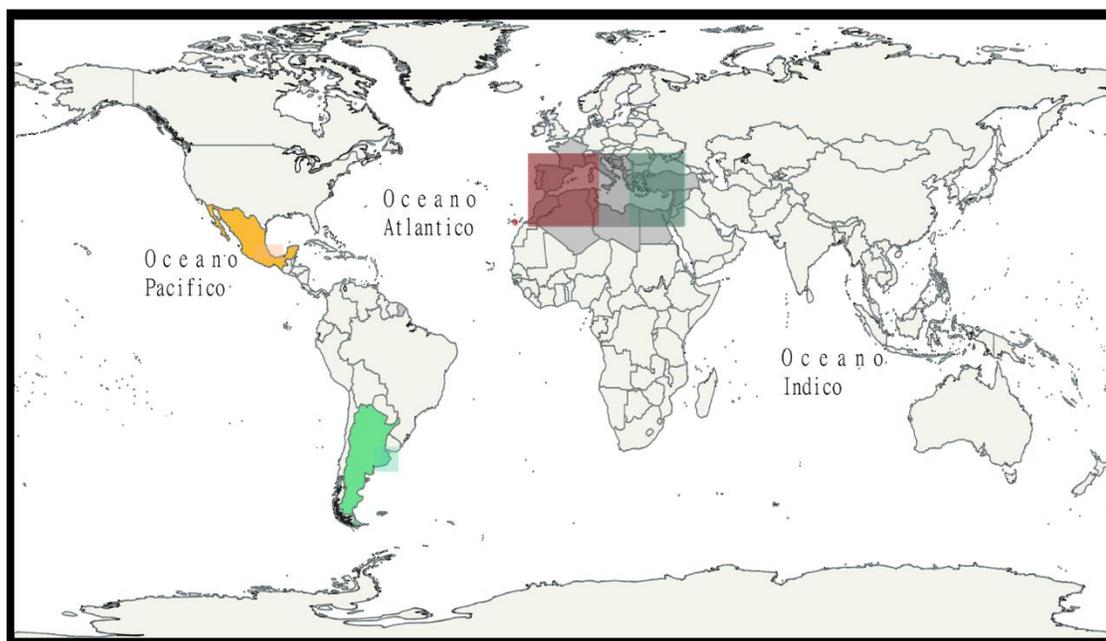
de las enfermedades (e. g. Kushmaro *et al.*, 1998; Mills *et al.*, 2013), efectos (e. g. Rubio-Portillo *et al.*, 2018), y en la recuperación en la especie (e. g. Fine *et al.*, 2002). Mientras que los estudios enfocados en la ecología general de *O. patagonica* han sido principalmente enfocados en el estudio de la distribución y expansión como especie invasora (e. g. Bitar y Zibrowius, 1997), su impacto (e. g. Serrano *et al.*, 2012) e interacciones (e. g. Sartoretto *et al.*, 2008; Coma *et al.*, 2011).

*Oculina patagonica* también ha destacado como un modelo de estudio gracias a su resistencia en la manipulación tanto en trabajos experimentales como de campo (Fig. 4B). Experimentalmente, se ha utilizado principalmente como base en el estudio del blanqueamiento coralino a causa de especies de bacterias del género *Vibrio* y/o estrés ambiental, así como en campo se ha enfocado en su expansión, distribución y adaptación a lo largo de los diferentes ecosistemas costeros del Mediterráneo. Sus características únicas han permitido realizar trasplantes a laboratorios o experimentos en campo como el realizado por Zibrowius en 1972 quien trasladó colonias de Italia a Francia (8 hrs), o como Serrano y colaboradores (2007) quienes realizaron con éxito un experimento de trasplante vertical de una zona artificial y superficial a un ecosistema natural y a 5 m de profundidad.



**Figura 4.** A) Temas principales y B) tipo de trabajo utilizado en la documentación histórica.

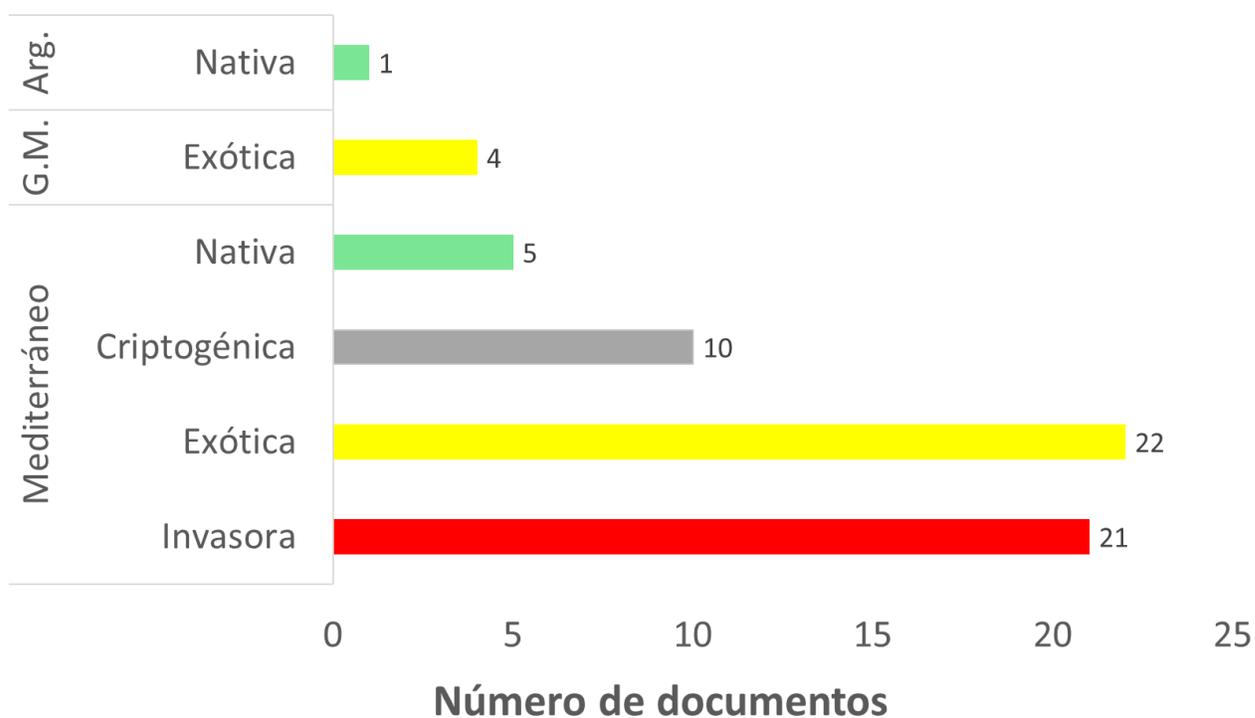
*Oculina patagonica* ha demostrado ser una especie de amplio interés principalmente en tres grandes zonas (Fig. 5). **La Patagonia, Argentina** de donde se conoce un solo documento enfocado en la descripción original de la especie (Angelis, 1908) y que no presenta registro de algún ejemplar vivo. **El mar Mediterráneo** que a partir de 1966 con el descubrimiento del primer ejemplar vivo se han publicado 129 documentos, y finalmente **el golfo de México** donde la especie fue recientemente registrada y únicamente se cuentan con cuatro trabajos de presencia e identificación.



**Figura 5.** Zonas de distribución de *O. patagonica* donde los colores muestran el país y estatus de la especie: Verde: nativa; Amarillo: exótica; Roja: invasora; Gris: criptogénica (sin suficiente información).

El estatus de *O. patagonica* no ha sido considerado en múltiples trabajos, en las tres zonas de interés 63 documentos tomaron en consideración el estatus que presenta la especie, en Argentina (1) es clasificada como especie “Nativa” (sin distribución actual) y; en el golfo de México (4) se le considera como una especie exótica. Mientras en el mar Mediterráneo de

los 58 documentos que toman en consideración este rubro, 22 han indicado que se trata de una especie no nativa pero no registran impactos asociados a su introducción, 21 documentos han registrado algún impacto de su invasión (especie invasora), 10 publicaciones la han considerado que la información es insuficiente para clasificarla (criptogénica) y 5 documentos la consideran como especie nativa del Mediterráneo (Fig. 6).

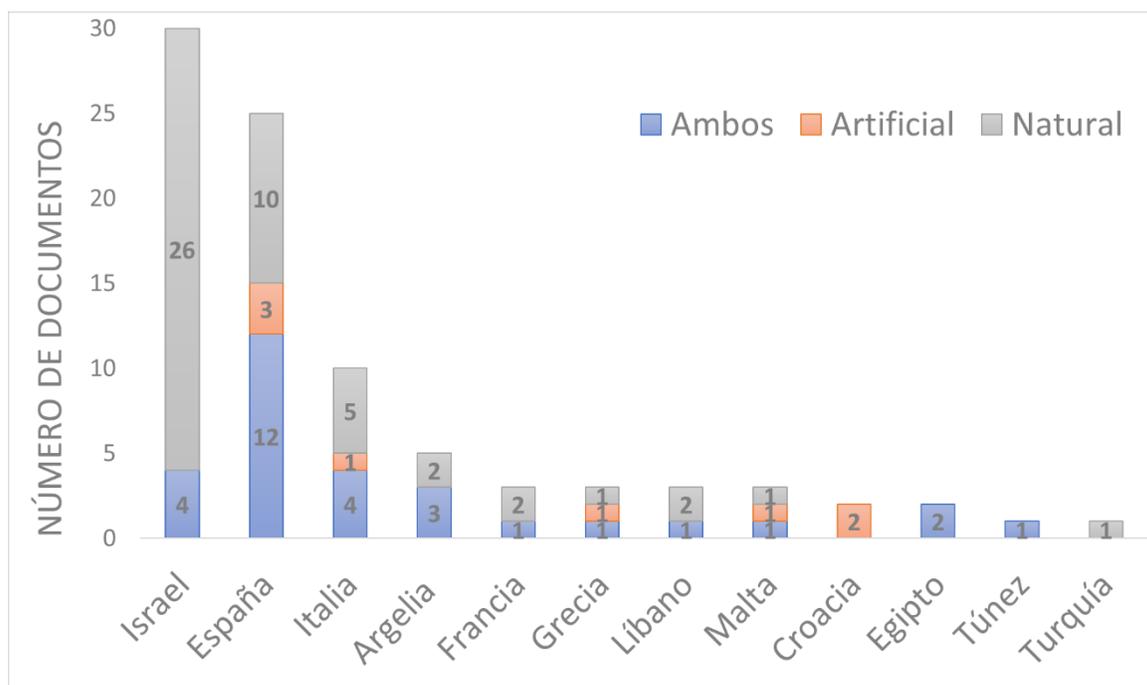


**Figura 6.** Tipo de estatus de *O. patagonica* en Argentina (Arg.), golfo de México (G.M.), y el mar Mediterráneo basado en Blackburn *et al.*, 2014, donde se considera una especie nativa de la zona (nativa), sin suficiente información para clasificarla (criptogénica), una especie introducida sin impactos asociados (exótica) y una especie introducida con un impacto asociado (invasora).

## 7.2. Rol ecológico de *Oculina patagonica*

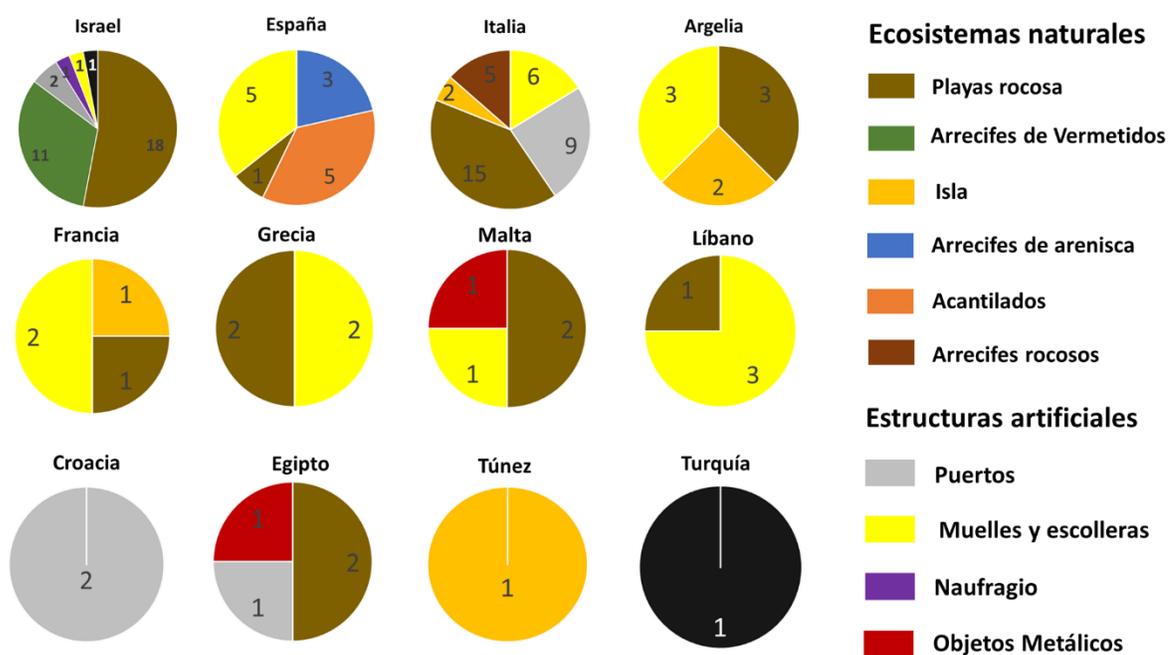
### 7.2.1. Tipo de sustrato y ecosistema o estructura artificial

En cuanto al tipo de sustrato donde podemos encontrar a *O. patagonica*, en el Mediterráneo 88 de los documentos revisados han registrado su presencia en sustratos naturales, artificiales o en ambos. Entre los países costeros del Mediterráneo, Israel es el principal sitio de estudio en sustratos naturales (30 documentos), mientras España es el país con mayor número de trabajos enfocados tanto en sustratos naturales como artificiales en un mismo documento (12 documentos). En cuanto a otros países, solamente en Croacia, la especie ha sido registrada exclusivamente en sustratos artificiales mientras Turquía y Egipto en ecosistemas naturales (Fig. 7).



**Figura 7.** Tipo de sustrato con presencia de *O. patagonica* en los países costeros del mar Mediterráneo.

*Oculina patagonica* se ha establecido en múltiples ecosistemas a lo largo de los países de las costas del mar Mediterráneo. En cuanto ecosistemas naturales destaca la presencia sobre playas rocosas en nueve de los 12 países y diferentes tipos de arrecifes a lo largo de tres países, además se ha detectado su presencia en islas, acantilados y cuevas submarinas. Mientras en estructuras artificiales su presencia está registrada en puertos, escolleras, muelles, faros o rocas artificiales sobre la costa en siete países, además de naufragios y objetos metálicos (Fig.8).



**Figura 8.** Tipo de ecosistema y estructura artificial con presencia de *O. patagonica* en los países costeros del mar Mediterráneo.

### 7.2.2. Interacciones ecológicas

La presencia de la especie a lo largo del mar Mediterráneo ha acarreado una serie de interacciones biológicas en las que se sabe de al menos 41 interacciones. Dos positivas, 14 neutras y 25 negativas (Cuadro 3). Las relaciones positivas se dieron con organismos que favorecen la expansión de la especie como erizos (comensalismo), o con microalgas que juegan un papel importante durante el blanqueamiento coralino a cambio de protección al pastoreo (mutualismo), mientras, entre las interacciones negativas, destaca la competencia con especies sésiles que pueden llegar a ser mortales, e inclusive llegar a un estado de cambio de fase, al desplazar y cambiar completamente la comunidad bentónica nativa del ecosistema. El único depredador registrado de la especie es el gusano de fuego *Hermodice carunculata* y que se ha registrado que durante el proceso de alimentación puede ser un vector potencial de especies del género *Vibrio* causantes del blanqueamiento del coral por acción bacteriana infectando otras colonias de la especie *O. patagonica* u otros corales.

**Cuadro 3.** Interacciones ecológicas registradas de *O. patagonica* con diferentes especies del Mediterráneo.

Taxa	Familia	Especie	Tipo de interacción	Interacción registrada	Referencia	
<b>Reino: Chromista</b>						
Phylum: Ochrophyta	Cladostephaceae	<i>Cladostephus</i> spp	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
	Dictyotaceae	<i>Dictyota fasciola</i> (J.V. Lamouroux, 1809)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
		<i>Dictyota spiralis</i> (Montagne, 1846)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
		<i>Dictyota</i> spp	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
		<i>Padina pavonica</i> (Thivy, 1960)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
	Stypocaulaceae	<i>Halopteris scoparia</i> (Sauvageau, 1904)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
<b>Reino: Plantae</b>						
Phylum: Rhodophyta	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis armata</i> (Harvey, 1855)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
		<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Trevisan de Saint-Léon, 1845)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
	Sphaerococcaceae	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i> (Stackhouse, 1797)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
Phylum: Chlorophyta	Codiaceae	<i>Codium fragile</i> (Hariot, 1889)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
	Halimedaceae	<i>Flabellia</i> spp	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008	
		Ostreobiaceae	<i>Ostreobium</i> spp	Positiva	Mutualismo: durante el blanqueamiento el alga ayuda a la supervivencia de <i>O. patagonica</i> y este le proporciona un sustrato y protección	Fine y Loya, 2002, Fine <i>et al.</i> , 2004, Bednarz <i>et al.</i> , 2019
		Peyssonneliaceae	<i>Peyssonnelia</i> spp	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008
		Polyphysaceae	<i>Acetabularia acetabulum</i> (P.C. Silva, 1952)	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008
		Valoniaceae	<i>Valonia</i> spp	Neutra	Coexistían	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008
			Macroalgas		Neutra	Comensalismo: <i>O. patagonica</i> protege

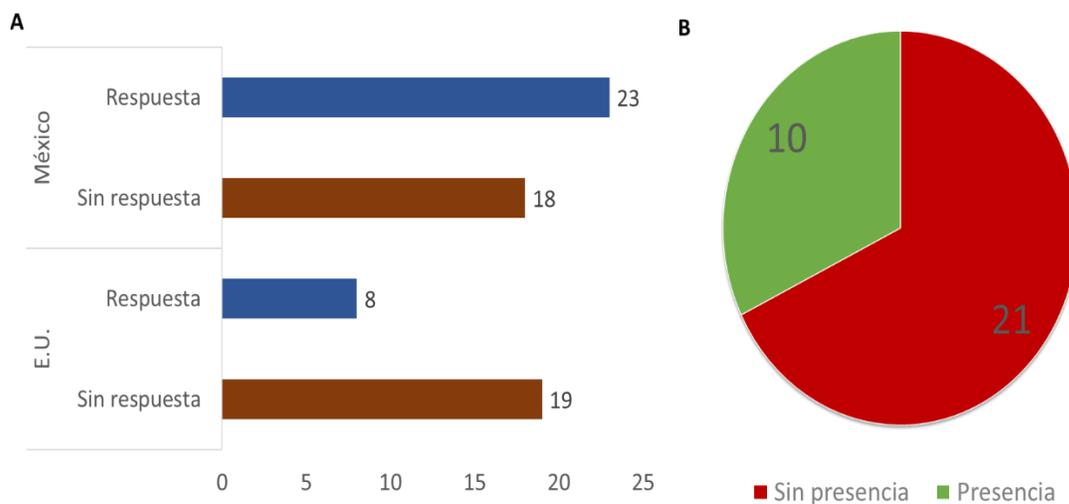
				algas del intenso pastoreo	
		Algas	Negativa	Competencia: competencia por sustrato que puede ser mortal de ambos lados	Rubio-Portillo et al, 2014b, Fine <i>et al.</i> , 2001
		Algas filamentosas	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Zibrowius, 1974
Phylum: Tracheophyta	Posidoniaceae	<i>Posidonia oceanica</i> (Delile, 1813)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Bitar y Zibrowius, 1997
<b>Reino: Anamalia</b>					
Phylum: Porifera	Clionaidae	<i>Cliona</i> ssp	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Rubio-Portillo Portillo <i>et al.</i> , 2014
	Chondrosiidae	<i>Chondrosia reniformis</i> (Nardo, 1847)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008
	Crambeidae	<i>Crambre crambre</i> (Schmidt, 1862)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Izquierdo <i>et al.</i> , 2007
	Hymedesmiidae	<i>Hamigera hamigera</i> (Schmidt, 1862)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Sartoretto <i>et al.</i> , 2008
	Phloeodictyidae	<i>Siphonodictyon coralliphagum</i> (Rützler, 1971)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Rubio-Portillo Portillo <i>et al.</i> , 2014 <sup>a</sup>
Phylum: Cnidaria	Caryophylliidae	<i>Phyllangia americana mouchezii</i> (Lacaze-Duthiers, 1897)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Rubio-Portillo Portillo <i>et al.</i> , 2014 <sup>a</sup> Zibrowius, 1974,
	Scleractinia	<i>Cladocora caespitosa</i> (Linnaeus, 1767)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Zibrowius y Ramos, 1983, Rodolfo-Metalpa <i>et al.</i> , 2006b

Phylum: Briozoa			Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Fine y Loya 2003
	Watersiporidae	<i>Watersipora</i> spp	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Fine y Loya 2003
Phylum:Sipuncula	Aspidosiphonidae	<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) misakiensis</i> (Ikeda, 1904)	Negativa	Competencia: Contribuye a la bio-erosión del esqueleto	Ferrero-Vicente <i>et al.</i> , 2016
	Golfingiidae	<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris vulgaris</i> (de Blainville, 1827)	Negativa	Competencia: Contribuye a la bio-erosión del esqueleto	Ferrero-Vicente <i>et al.</i> , 2016
	Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma (Phascolosoma) granulatum</i> (Leuckart, 1828)	Negativa	Competencia: Contribuye a la bio-erosión del esqueleto	Ferrero-Vicente <i>et al.</i> , 2016
		<i>Phascolosoma (Phascolosoma) stephensoni</i> (Stephen, 1942)	Negativa	Competencia: Contribuye a la bio-erosión del esqueleto	Ferrero-Vicente <i>et al.</i> , 2016
Phylum: Annelida	Amphinomidae	<i>Hermodice carunculata</i> (Pallas, 1766)	Negativa	Depredación e infección (Vector): Se alimenta de <i>O. patagonica</i> , infección por Vibrio	Bitar y Zibrowius, 1997, Sussman <i>et al.</i> , 2003, Coma <i>et al.</i> , 2011
Phylum: Mollusca	Calyptraeidae	<i>Botrycapulus aculeatus</i> (Gmelin, 1791)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Izquierdo <i>et al.</i> , 2007
		<i>Credipula calyptraeiformes</i>	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Fine <i>et al.</i> , 2001
Phylum: Arthropoda	Balanidae	<i>Balanus trigonus</i> (Darwin, 1854)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Bitar y Zibrowius, 1997

		<i>Perforatus perforatus</i> (Bruguière, 1789)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Bitar y Zibrowius, 1997
	Pollicipedidae	Percebes	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Zibrowius, 1974
	Pyrgomatidae	<i>Adna anglica</i> (Sowerby, 1823)	Negativa	Competencia: competencia por sustrato	Rubio-Portillo Portillo <i>et al.</i> , 2014 <sup>a</sup>
Phylum: Echinodermatha	Clase: Echinoidea		Positiva	Comensalismo: facilitación de expansión por oquedades, facilitación de sustrato por depredación de algas	Coma <i>et al.</i> , 2011, Serrano <i>et al.</i> , 2013, Gravili y Rossi, 2021
Phylum: Chordata	Subfilo:Urochordata		Negativa	Competencia: El coral los mata completamente	Zibrowius, 1974

### 7.3. Opinión de expertos en el tema

Se encontraron 68 expertos de dos países, 41 de México y 27 de Estados Unidos, pertenecientes a 13 diferentes estados o distritos y a 27 sedes e institutos. Se recibieron respuesta de 23 (56%) encuestas de expertos en México y ocho (29%) de E.U. (Fig. 9A). De las 31 (45%) encuestas recibidas diez reportaron haber visto la especie *O. patagonica* (Fig. 9B).



**Figura 9.** A) Total de encuestas enviadas a México y E.U., en azul con respuestas y en café sin respuesta y B) Respuestas positivas (verde) y negativas (rojo) de la presencia de la especie *O. patagonica* en el golfo de México.

Se recibieron respuestas de los estados de Tabasco, Veracruz, Tamaulipas, Yucatán y Campeche en México, y de los distritos de Texas, Luisiana, Alabama y Florida en E.U. Entre las respuestas negativas a la observación de *O. patagonica* resaltan una encuesta del estado de Campeche en el que se explica que se realizó un muestreo de exóticos en marinas y puertos de Campeche y donde compartieron una fotografía, pero no de *O. patagonica*. Además, una encuesta procedente de Tamaulipas destaca que no lo han observado al menos hasta 2019 ya que debido a la pandemia COVID-19 no había oportunidad de salir al campo en 2020-21, además comparte que en esta zona no existen arrecifes superficiales, por lo que solo podría establecerse en zonas profundas o en estructuras artificiales. Las diez observaciones recibidas de la especie se concentraron a lo largo de la zona costera de Veracruz, México. Nueve

investigadores reportaron observar a la especie en algún tipo ecosistema natural como arrecifes coralinos del SAV (Rincón, Gallega, Punta gorda, Hornos, Punta Mocambo) y el SAT; y en dos intermareales rocosos (El Pulpo y Punta delgada). Tres investigadores reportaron avistamientos en estructuras artificiales al norte (escolleras de Tuxpan) y al centro (escolleras del puerto de Veracruz) del estado.

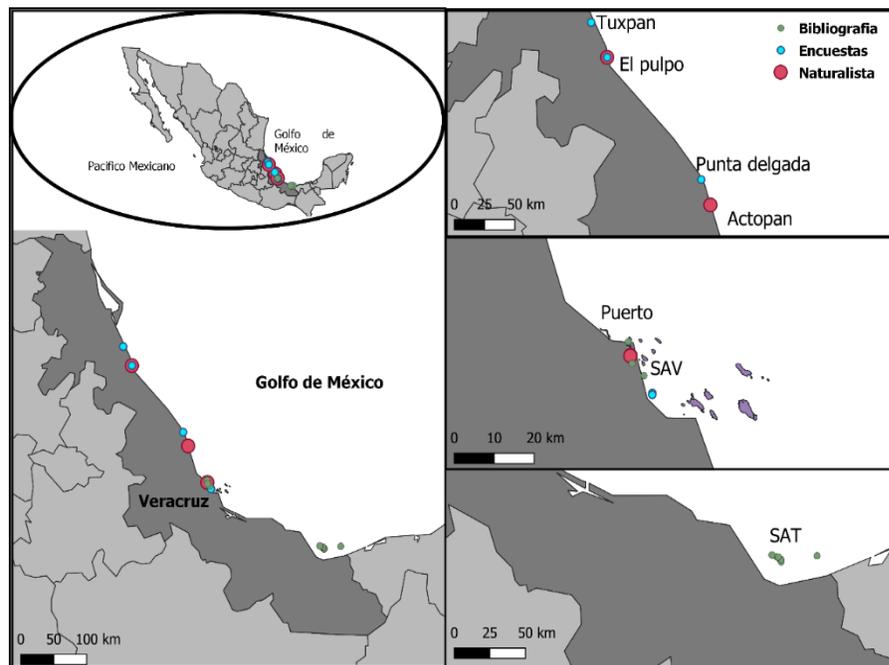
El 100% de investigadores que observaron a *O. patagonica* en ecosistemas naturales reportaron una población localizada poco abundante de colonias aisladas y pequeñas. Mientras que en ecosistemas artificiales se han observado múltiples colonias extendidas a lo largo de las estructuras artificiales. Respecto a los impactos o cambios, ningún investigador afirmó conocer alguna alteración actualmente en consecuencia de la introducción de *O. patagonica*. Sin embargo, cinco investigadores mencionaron una posible competencia con especies nativas y posibles cambios leves en la composición de la fauna nativa menos resistente a los cambios ambientales, especialmente en ecosistemas perturbados. También un investigador expresa que no sería perjudicial en ecosistemas arrecifales: “no creo que pueda desplazar a las especies nativas, al menos no en el ecosistema arrecifal. *O. patagonica*, al parecer es una especie competitiva en aguas templadas y ambientes rocosos”.

En cuanto a las impresiones personales se hizo énfasis en la falta de investigación actual respecto a la especie. También se recibió una encuesta en la que se afirmó haber encontrado muestras desde el año 1993 en arribazones en la playa frente al arrecife Gallega (Veracruz) y que por ende la especie ha estado establecida en el golfo por lo menos desde esos años, pero no se ha expandido o causado conflictos con la dinámica de los ecosistemas actualmente: “También lo encontré en muestras de arribazones de la playa del arrecife la Gallega que fueron recolectados en 1993, por lo que su aparición fue antes de la publicación de Colín-García, *et al.* 2018. El coral está desde 1993 y hasta la fecha no se ha extendido, se mantiene en poca cobertura y abundancia”. Otros investigadores consideran desde su perspectiva que, *O. patagonica* siempre ha estado presente en el golfo de México y consideran que, en el caso de tratarse de una especie introducida, el área geográfica del golfo (zona tropical) impediría su proliferación acelerada y no tendría un impacto en los ecosistemas. Mientras otros investigadores consideran que la introducción podría ser benéfica en los arrecifes del sur de Veracruz debido a que podrían incrementar la baja

cobertura coralina de estos sitios, aunque podría competir con otros organismos como algas y esponjas. A pesar de las diferentes opiniones personales, todos los investigadores consideran que es necesario realizar un seguimiento a la especie para conocer su ecología en el golfo de México. Estos investigadores también contribuyeron compartiendo material complementario de algunos artículos que mencionan a *O. patagonica* en el golfo de México, fotografías, coordenadas y colonias para su identificación.

#### 7.4. *Oculina patagonica* en el golfo de México

Con base en las coordenadas obtenidas se localizó a *O. patagonica* en siete sitios diferentes dentro del estado costero de Veracruz, México (Fig. 10). La especie estuvo presente desde las escolleras de Tuxpan de Rodríguez Cano (Lat.: 20.7413, Long.: -97.1945), en el norte del estado, hasta los arrecifes Zapotitlán (Lat.: 18.3057 Long.: -94.4713), La Perla (Lat.: 18.3351 Long.: -94.5237) y Tripie (Lat.: 18.1066 Long.: -94.2240) en el Sistema Arrecifal de los Tuxtlas (SAT) en el sur del estado (Fig. 10).



**Figura 10.** A) Mapa de distribución de *O. patagonica* en Veracruz, México B) zona norte C) zona centro y D) zona sur del estado.

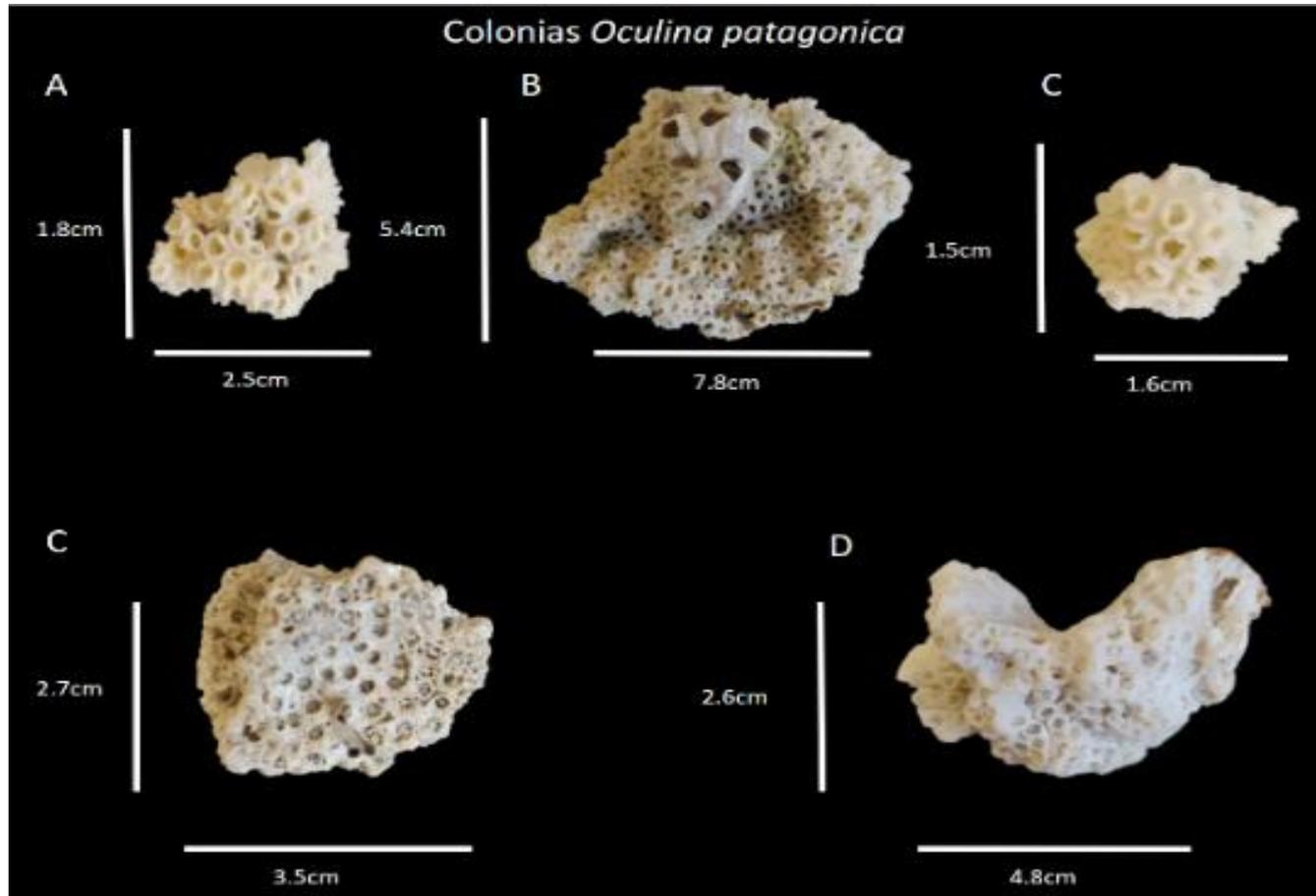
De las siete ubicaciones donde se tiene registro de *O. patagonica* solamente en Actopan no se pudo conocer el tipo de ecosistema donde se asentó la especie. Tuxpan y el puerto de Veracruz fueron los sitios donde se registró en sustratos artificiales mientras que, en El Pulpo, Punta delgada, el SAV y el SAT se registró en sustratos naturales (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Tipo de sustrato con presencia de *O. patagonica* en el golfo de México.

Sito	Zona	Ecosistema	Sustrato	Referencia
Tuxpan	Norte	Escolleras	Artificial	Encuesta
El Pulpo	Norte	Intermareal Rocoso	Natural	De la cruz-Francisco <i>et al.</i> , 2017; encuesta, naturalista
Punta Delgada	Centro	Intermareal Rocoso	Natural	Encuesta
Actopan	Centro	-	-	Sitio web Naturalista
Puerto de Veracruz	Centro	Escolleras	Artificial	Encuesta, naturalista
SAV	Centro	Arrecifes Coralinos	Natural	Colín-García <i>et al.</i> , 2018, encuesta
SAT	Sur	Arrecifes coralinos	Natural	González-Gándara <i>et al.</i> , 2015

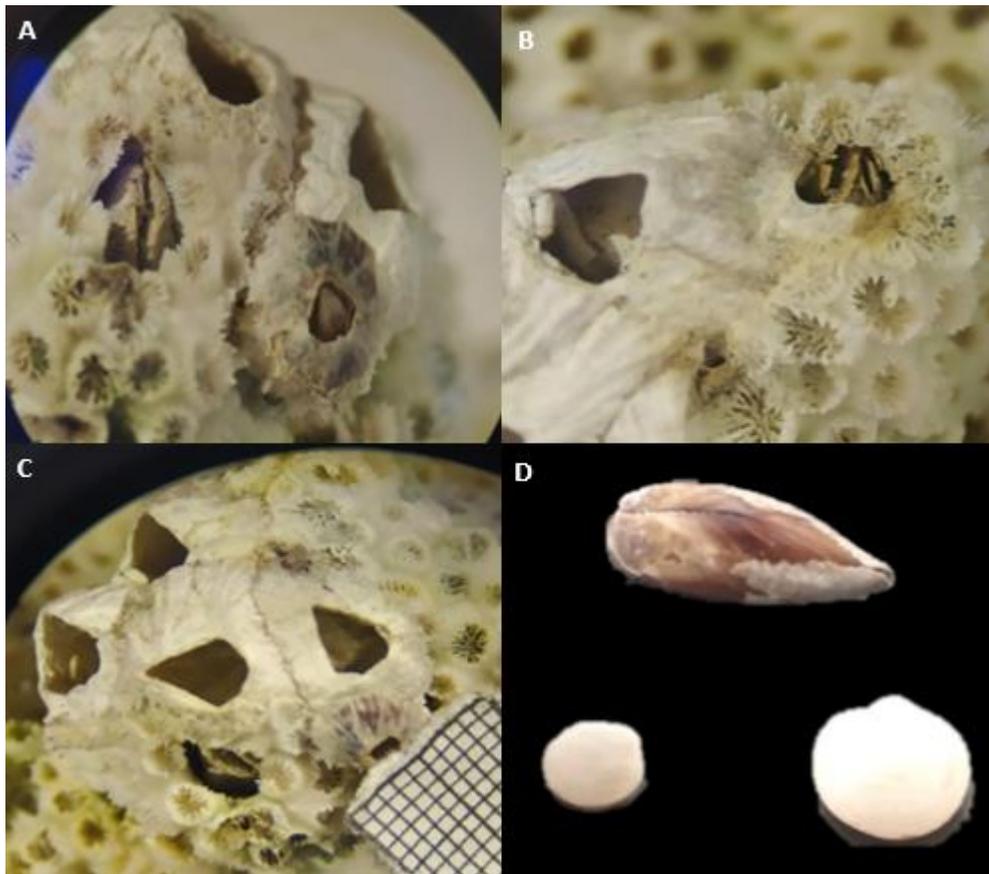
Respecto a su distribución batimétrica, en Veracruz se registraron organismos entre los 0.5 y 1.5 m en sustratos artificiales, mientras que en sustratos naturales se han observado colonias a 0.5 m en la zona de intermareales rocosos y entre los 2 a los 12 m en arrecifes de coral (Fig. 11).





**Figura 12.** Ejemplares de *O. patagonica* donados por algunos de los expertos encuestados.

En el ejemplar B (Fig. 12) se encontraron organismos endolíticos en contacto directo con la colonia como es el caso de balanos y moluscos (Fig. 13). Entre los moluscos encontrados en la parte inferior de la colonia se encontraron dos individuos del género *Litophaga* con solo una pequeña fracción expuesta y cuatro pequeños moluscos de color blanco, que no pudieron ser identificados a especie debajo de la colonia (Fig. 13D). Se encontraron balanos (*Balanus* sp.) sobre la colonia que probablemente se encontraban compitiendo directamente por sustrato o llegaron a colonizar el esqueleto coralino (Fig. 13<sup>a</sup>-C).



**Figura 13.** Organismos bentónicos encontrados sobre el esqueleto de la colonia B

En cuanto a las medidas morfológicas tomadas de las colonias, los diámetros máximos promedio (D.max) variaron entre 2.14 y 2.86 mm, y los mínimos promedio (D. min) entre 1.69 y 2.25 mm, dando un promedio del tamaño de cálices cercano a 2.50 mm en tres de las cinco muestras, siendo la colonia B donde se obtuvo el promedio más bajo con 1.92 mm. Todas las colonias presentaron 24 septos y las colonias A-C presentaron un coenosteum con nervaduras suaves o finamente granulado que no pudo ser identificado en las colonias D-E debido a la degradación que presentan (Cuadro 5). Por lo tanto, comparando la morfología registrada históricamente para la especie (Cuadro 1) y la morfología de las colonias obtenidas en este trabajo (Cuadro 5), la forma, medida de coralito y coenosteum son similares entre sí, lo que confirma la correcta identificación de la especie.

**Cuadro 5.** Características morfológicas de las colonias obtenidas.

Fragmento	Diámetro promedio de cálices			Número de Septos	Tipo de Coenosteum
	D. máx.	D. min.	D. promedio		
<b>A</b>	2.86	2.14	2.50	24 septos	Con nervaduras suaves o finamente granulado
<b>B</b>	2.14	1.69	1.92	24 septos	Con nervaduras suaves o finamente granulado
<b>C</b>	2.75	2.12	2.44	24 septos	Con nervaduras suaves o finamente granulado
<b>D</b>	2.35	2.05	2.20	24 septos	-
<b>E</b>	2.59	2.25	2.42	24 septos	-

### **7.5. MERI de *Oculina patagonica* para México**

Debido a que actualmente no existe algún análisis de riesgo enfocado en *O. patagonica* para México y existe una introducción de la especie en el golfo de México (ver apartado 7.4) se procedió a realizar el MERI.

En cuanto las respuestas de las diez preguntas (anexo 2). En el rubro de estatus se obtuvieron respuestas de nivel medio y no. En el rubro de invasividad, dos preguntas obtuvieron el valor de muy alto y una de valor medio, mientras en el tercer rubro tres respuestas obtuvieron un valor de no y una de valor alto. A todas las respuestas se les asignó un valor de incertidumbre de la información mínima debido a que toda la información fue obtenida de los documentos recabados en los apartados anteriores de este mismo trabajo (Cuadro 6).

En cuanto los modelos; el modelo PI obtuvo un valor de 0.547 el cual ubica *O. patagonica* como una especie de riesgo muy alto (RMA), mientras que con el modelo BT obtuvo un valor de 0.447 que la ubica como una especie de riesgo alto (RA) para México (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Método de evaluación rápida de invasividad para *O. patagonica* en México a través de los modelos PI y BT en los que se muestran los valores ponderados de cada modelo, las respuestas obtenidas con su valor, las incertidumbres y su valor, y los valores del índice de riesgo de cada pregunta y su suma final.

Pregunta	Valor ponderado del modelo PI	Valor ponderado del modelo BT	Respuesta	Valor de respuesta	Incertidumbre	Valor de Incertidumbre	Valor IR del modelo PI	Valor IR del modelo BT
<b>Estatus</b>								
1. Reporte	0.125	0.25	Medio	0.5	Mínima	1	0.063	0.125
2. Afinidad taxonómica	0.05	0.1	No	0	Mínima	1	0	0
3. Vector	0.075	0.15	Medio	0.5	Mínima	1	0.037	0.075
<b>Invasividad</b>								
4. Introducción	0.2	0.1	Medio	0.5	Mínima	1	0.100	0.050
5. Establecimiento	0.2	0.1	Muy Alto	1	Mínima	1	0.200	0.100
6. Dispersión	0.1	0.05	Muy Alto	1	Mínima	1	0.100	0.050
<b>Impactos</b>								
7. Salud	0.0625	0.0625	No	0	Mínima	1	0	0
8. Económico/Social	0.0625	0.0625	No	0	Mínima	1	0	0
9. Ambiental	0.0625	0.0625	No	0	Mínima	1	0	0
10. Ecológico	0.0625	0.0625	Alto	0.75	Mínima	1	0.047	0.047
<b>Suma</b>	<b>1</b>	<b>1</b>					<b>0.547</b>	<b>0.447</b>

## VIII. Discusión

Las revisiones bibliográficas permiten compilar, conocer y analizar información de especies invasoras en sitios donde ya se han estudiado para lograr un panorama más amplio en nuevos sitios de introducción. Ante la falta de información actual en el golfo de México (cuatro publicaciones), se utilizó el conocimiento adquirido sobre *O. patagonica* durante más de 40 años en el mar Mediterráneo (1974-2021) para entender mejor el papel ecológico, social y económico que puede representar la introducción de la especie exótica *O. patagonica* en el golfo de México. Este tipo de trabajos se han aplicado a otras especies de corales invasores como las del género *Tubastraea* en el Atlántico Sur (Creed *et al.*, 2017<sup>a</sup>). Además, en este estudio se utilizó la opinión de expertos para complementar la información a través de una encuesta. Este tipo de estrategias de investigación ha resultado eficiente en la toma de decisiones de otras especies exóticas (Kuhnert, 2011) ya que permite conocer de manera exploratoria nueva información no disponible en publicaciones o de reciente interés. En este trabajo la opinión de expertos resultó importante para entender el caso de *O. patagonica* en el golfo de México; se obtuvo una buena respuesta por parte de los expertos de ambos países encuestados (45%) en especial de expertos de México donde el 56% respondieron a la encuesta enviada. Como punto de comparación, Camacho-Cervantes y colaboradores (2017) obtuvieron una participación del 15.6% en un estudio similar para otra especie invasora. La colaboración de los expertos en este trabajo se vio reflejada con dos ubicaciones registradas exclusivamente a través de este método, además de muestras y fotografías recibidas como material complementario. En cuanto a la opinión de los expertos al riesgo, a excepción de un experto, identifican a *O. patagonica* como una especie exótica con un impacto potencialmente moderado en las comunidades bentónicas del golfo de México. Tomando en cuenta las opiniones, así como la información de la revisión mundial se identificaron una serie de cuestionamientos sobre la especie y sus impactos en los ecosistemas del golfo que se discuten a continuación.

### 8.1. Problemática en la identificación y estatus

Históricamente la identificación de especies de corales se ha apoyado del análisis de los esqueletos calcáreos debido a su resistencia y practicidad para conservarlos, lo que ha permitido la comparación entre muestras fósiles y actuales (Hoeksema y Ocana-Vicente, 2014). Sin embargo, actualmente se han detectado múltiples problemas asociados a la identificación a través del esqueleto calcáreo. Por ejemplo, la alta variación que existe en especies debido a la plasticidad fenotípica que permite modificar características específicas para adaptarse a diferentes ambientes (Foster, 1979). También, en el caso del dimorfismo sexual en especies gonocóricas, como *Porites panamensis* establecen un reto particular en la identificación de las especies de corales escleractínios (González-Espinosa *et al.*, 2015). Por ello, se han implementado múltiples técnicas moleculares que comparan diferentes marcadores genéticos para la distinción de especies y que han servido para evaluar la diversidad genética (Waits y Paetkau, 2005). Sin embargo, en corales se ha demostrado que el ADN mitocondrial evoluciona lentamente, lo que complica la delimitación de especies estrechamente relacionadas (Eytan *et al.*, 2009). En especial, el género *Oculina* ha sido identificado como un género genéticamente cercano, lo cual hace difícil la implementación de métodos moleculares (Todd, 2008).

Entre las seis especies del género *Oculina* conocidas en el golfo de México solamente *O. patagonica* presenta una morfología incrustante. Mientras *O. varicosa*, *O. tenella*, *O. diffusa*, *O. robusta* y *O. valenciennesi* presentan una serie de ramificaciones de diferente largo y grosor según la especie. Aunque se ha observado que *O. diffusa* puede presentar una morfología incrustante durante sus primeros años de vida (Dr. Horacio Pérez-España; Comunicación personal) esta especie presenta un cáliz más grande (diámetro de entre 3 y 4 mm, Sterrer *et al.*, 1986) a comparación de *O. patagonica* (Cuadro 1 y 5). Genéticamente Colín-García y colaboradores (2018) utilizaron el COI mitocondrial (número de acceso de GenBank: MH475366), Cytb (KY002687.1) y  $\beta$  tubulina (MH475367) para comparar muestras de *O. patagonica* con muestras de *O. diffusa*, *O. robusta* y *O. varicosa* en el golfo de México en donde, *O. diffusa* resultó ser la especie más cercana genéticamente a *O. patagonica* con un 100% de similitud en el COI mitocondrial, 99 % para Cytb y 98,7 % para  $\beta$  tubulina. Mientras en el Mediterráneo, Leydet y colaboradores (2015) compararon genéticamente muestras de diferentes poblaciones *O. patagonica* del Mediterráneo contra un

conjunto de diferentes poblaciones de *Oculina* spp. del Atlántico norte proponiendo que la introducción de la especie al Mediterráneo se dio hace 5.4 +/- 2.0 millones de años.

Estas dificultades en la identificación han derivado en un problema en la clasificación y el estatus que se les asigna a las especies del género *Oculina*. En especial *O. patagonica* ha presentado este conflicto históricamente. En el Mediterráneo *O. patagonica* ha transitado por múltiples estatus, primeramente, se catalogaba como una especie exótica que llegó a través del transporte marino (Zibrowius, 1974). Posteriormente el comportamiento oportunista, la expansión y los impactos asociados a la introducción de *O. patagonica* dieron pauta para que algunos autores la sigan catalogando actualmente como una especie invasora (e.g. Bartolo *et al.*, 2021; Gravili y Rossi, 2021) y que otros autores la cataloguen como especie nativa (e.g. Leydet *et al.*, 2015). Estos problemas se deben principalmente a tres factores: 1) la descripción original que fue realizada a través de fósiles del holoceno y plioceno en donde se identificó primeramente como una variedad de *O. mississippitensis* y posteriormente como una especie del género *Astrangia*, 2) la falta de evidencia actual de una población de origen en el sureste del océano Atlántico y 3) la inexactitud de diferencias genéticas entre especies al clasificar al género *Oculina* (e.g. Eytan *et al.*, 2009). Recientemente en el golfo de México *O. patagonica* ha sido aceptada como una especie exótica como proponen Colín-García y colaboradores (2018). En este trabajo identificamos que *O. patagonica* es una especie exótica debido a que no existen evidencias sólidas de que la especie *O. patagonica* sea nativa del golfo de México; ya que, hasta antes del 2013 *O. patagonica* no había sido reportada en listados de corales escleractínios en la costa de Veracruz donde actualmente se encuentra presente (Beltrán-Torres y Carricart-Ganivet, 1999; Cairns *et al.*, 2009; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; González-Gándara *et al.*, 2015; Pérez-España *et al.*, 2015; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2017).

## **8.2. Expansión e impactos de *Oculina patagonica***

A partir del descubrimiento de *O. patagonica* en 1966 su expansión ha alcanzado al menos 13 países actualmente. La rápida expansión de la especie se le suele atribuir a características como la capacidad de resistir a la pérdida de sus zooxantelas simbiotes por una infección bacteriana o por estrés ambiental; resistir el aumento de pH en el agua hasta la pérdida

completa de su esqueleto coralino y poder recuperarse (Fine y Tchernov, 2007), y sus capacidades reproductivas sexuales y asexuales a temprana edad que la hacen ser una especie oportunista. Además, el microbioma de *O. patagonica* le confiere diferentes ventajas, aunque su composición tiende a ser diferente para cada población ya que depende de las condiciones ambientales a las que este sometida la colonia y el área geográfica (Serrano *et al.*, 2018). En el Mediterráneo, el microbioma central se encuentra dominado por *Symbiodinium* clado B2 que le confiere a la colonia una alta tolerancia a aguas frías (Rubio-Portillo *et al.*, 2014). Mientras que se ha comprobado que las poblaciones de *Oculina* en el norte del océano Atlántico poseen mayor diversidad de simbiontes siendo su clado dominante el A (Leydet y Hellberg, 2016).

La distribución de *O. patagonica* registrada en el Mediterráneo oscila entre < 1 y 30 m, aunque la mayoría de las poblaciones suelen establecerse antes de los 12 m de profundidad con una preferencia a cuevas o grietas en el sustrato evitando la luz directa del sol. Una reciente publicación de Martínez *et al.* (2021) reportan el primer hallazgo de colonias de *O. patagonica* a más de 15 m de profundidad, ya que encontraron colonias a los 30 m. Sin embargo, en la presente revisión pudimos encontrar registro de colonias establecidas a los 28 m en España desde el año 2013 (Serrano *et al.*, 2013), por lo que es posible que esta amplia distribución batimétrica suceda desde hace años. Las especies del género *Oculina* son especies de corales zooxantelados facultativos que tienden a tener una amplia distribución vertical. Por ejemplo, *O. tenella* se ha registrado en una profundidad desde los 25 a los 159 m y *O. robusta* de los 10 a los 30 m (Cairns *et al.*, 2009). Mientras para las costas de Veracruz, Beltrán-Torres y Carricart-Ganivet (1999) reportan una distribución de los 4 a los 18 m y de los 7 a los 21 m para *O. valenciennesi* y *O. diffusa*.

En cuanto a los impactos a consecuencia de *O. patagonica* solamente se han registrado daños a la comunidad biológica, no existen registros de daños a la salud humana o daños económicos. Entre los impactos a la biodiversidad en el Mediterráneo destaca la posible transmisión de patógenos de especies de *Vibrio* a otras especies de corales, para lo que se han establecido dos posibles vectores. El primer vector es el anélido *H. carunculata*, un depredador conocido de corales en el mundo, y que en los arrecifes veracruzanos se ha

documentado como depredador del coral cuerno de alce (*Acropora palmata*) (Larson *et al.*, 2014) que se encuentra en la lista de especies en peligro de extinción NOM-059. Experimentalmente se ha comprobado que *H. carunculata* puede adquirir los patógenos responsables del blanqueamiento bacteriano (*Vibrio shiloi*) a través de la depredación del coral *O. patagonica* y transmitir la enfermedad a otras colonias de las que se alimentan posteriormente (Sussman *et al.*, 2003) y una segunda propuesta por Rubio-Portillo y colaboradores (2018) que abordan la posibilidad de que la especie *O. patagonica* puede ser un vector horizontal de *V. shiloi* para otros corales en la competencia por espacio a través del contacto directo. Por lo que, *O. patagonica* puede ser un hospedador y vector de *Vibrio* sp. en las comunidades arrecifales. Por ejemplo, en el SAV Castañeda-Chávez *et al.* (2015) encontraron múltiples patógenos causantes de enfermedades coralinas, entre ellos, un complejo de *Vibrio* sp. que incluían las especies *V. shiloi* (Sinonimia de *V. mediterranei*) y *V. coralliilyticus* que posiblemente afectan a otras especies de corales nativas de la zona.

Otros impactos registrados en la comunidad bentónica son los cambios por interacciones de competencia con organismos nativos en el Mediterráneo (Cuadro 3). Una de las competencias mejor registradas es la que sostiene *O. patagonica* con el coral endémico del Mediterráneo *Cladocora caespitosa*, al cual puede llegar a desplazar y matar bajo condiciones favorables o cuando ambas especies se encuentran en condiciones adversas (Zibrowius y Ramos, 1983) pero ante un evento de blanqueamiento de *O. patagonica* puede llegar a ser desplazado por *C. caespitosa* (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2006b). En España este tipo de interacciones significó un cambio de fase completo de macroalgas a coral ya que la dominancia de *O. patagonica* llegó al 100% del sustrato disponible en una pared vertical siendo el impacto más grande asociado a la especie (Serrano y Coma, 2012). La introducción de *O. patagonica* puede acarrear diferentes impactos como los registrados en el mar Mediterráneo, además en este trabajo se muestran los primeros signos de posibles interacciones con especies nativas en el golfo de México.

### **8.3. Introducción al golfo de México**

El primer registro formal de *O. patagonica* en el golfo de México data del año 2013 en los arrecifes del SAT (Cuadro 4; Fig. 10) (González-Gándara *et al.*, 2015). Las colonias

encontradas durante ese estudio rondaban entre los 8 a 14 cm de largo, con pigmentaciones saludables y sin blanqueamiento visible, sexualmente maduras y estaban bien establecidas en estos ecosistemas en esos años (comunicación personal: De la Cruz-Francisco). Por lo que su introducción podría datar de al menos el año 2005 tomando en cuenta la tasa de calcificación promedio de la especie (1 cm/año). Una encuesta recibida sugiere que la introducción pudo suceder antes del año 2000, aunque no existen evidencias sólidas hasta el momento. En cuanto al vector de introducción al golfo de México, se ha propuesto el transporte marítimo (bioincrustación) procedente del Mediterráneo como el más probable (González-Gándara *et al.*, 2015; Colín-García *et al.*, 2018). Aunque, hasta el momento no se ha identificado el lugar de su introducción. En Veracruz existen tres puertos internacionales ubicados en Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos, siendo Veracruz el lugar más probable de introducción debido a la presencia de rutas que conectan a distintos puntos en el Mediterráneo semanal y mensualmente (<https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/acerca-del-puerto/rutas-navieras/>).

En cuanto a su distribución, los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que *O. patagonica* es una especie exótica establecida pero restringida hasta el momento a las costas de Veracruz, México. Sin embargo, al ser una especie críptica que prefiere oquedades de erizos, pequeñas cuevas o cavernas y sustratos artificiales puede pasar fácilmente desapercibida. Esta especie se está expandiendo rápidamente a lo largo de Veracruz. En el presente documento se registra la presencia de *O. patagonica* en ecosistemas artificiales (escolleras) por primera vez en el golfo de México. Este tipo de estructuras permiten a la especie expandirse de manera rápida y eficiente (Salomidi *et al.*, 2013). En las escolleras de Tuxpan, al norte del estado, se encuentran múltiples colonias, que pueden llegar a tapizar lados completos de piedras de alrededor de 25 cm. En esta área se pueden observar colonias con diferentes tonos de pigmentación que van desde marrón hasta blanco incluso en una misma colonia (observación personal; anexo 3), lo que podría indicar que se encuentran sometidas a un estrés ambiental. Mientras en las escolleras en el centro del estado (puerto de Veracruz) parecen ser colonias pequeñas y aisladas hasta el momento (encuesta). Las dos áreas con presencia de la especie en estructuras artificiales (Tuxpan y puerto de Veracruz) se encuentran bajo una serie de condiciones adversas. Benítez y colaboradores (2014)

identificaron al estado de Veracruz como el estado costero con mayor contaminación de desechos en la zona costera mexicana del golfo de México y el Caribe.

En ecosistemas naturales, *O. patagonica* ya se ha registrado en dos de los tres sistemas arrecifales que existen en las costas de Veracruz (Cuadro 4). Aunque se desconoce en cuántos arrecifes está presente actualmente. En intermareales rocosos se tiene registro de *O. patagonica* desde el año 2017 en barra de Cazonas “El Pulpo” al norte del estado (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2017), actualmente en este ecosistema existen colonias pequeñas no mayores a 15 cm de longitud, aisladas principalmente en pozas de marea y en pequeñas oquedades de erizos del género *Echinometra* (Observación personal), lo que podría indicar una facilitación por erizos como se ha observado en el Mediterráneo. Mientras en Punta Delgada en el centro del estado parece haber colonias pequeñas y aisladas (encuesta). Esta amplia distribución a lo largo del estado probablemente se ha visto beneficiada por las embarcaciones locales. Además, se sabe que las corrientes superficiales de la costa veracruzana permiten una dispersión de larvas desde el PNSAV hacia el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) cuando hay vientos predominantes del sur (suradas) y una conexión entre el SALT, PNSAV y el SAT durante los vientos predominantes del norte (nortes) (Salas-Monreal *et al.*, 2018). También es importante recalcar que, debido al giro de Campeche, se favorece la conexión de larvas entre el SAT, el banco de Campeche y el mar Caribe durante suradas (Salas-Pérez *et al.*, 2012; Salas-Monreal *et al.*, 2018), por lo que esto podría facilitar la expansión de *O. patagonica* hacia esa dirección de norte a sur. Este tipo de propagación se ha reportado para el pez exótico Damisela Real (*Neopomacentrus cyanomos*), también reportado por primera vez en los arrecifes los Tuxtlas (González-Gándara y De la Cruz-Francisco, 2014) y que actualmente se ha extendido a lo largo del golfo de México (Robertson *et al.*, 2018; Bennett, *et al.*, 2019; Tremblay *et al.*, 2020).

Se ha mencionado que las especies con morfologías incrustantes dan una baja aportación al crecimiento y mantenimiento de los arrecifes coralinos por lo que no son las especies idóneas para los arrecifes coralinos (González-Barrios *et al.*, 2020), sin embargo, las capacidades de *O. patagonica* como especie oportunista puede representar una ventaja en los arrecifes coralinos de Veracruz (Colin-García *et al.*, 2018). En el SAV la cobertura coralina ha ido

disminuyendo continuamente debido a factores naturales y antropogénicos, en especial, los arrecifes pegados a la costa, pero como “Ingenieros” presentan menor cobertura coralina debido a factores estresantes (Pérez-España *et al.*, 2015).

En este trabajo también se realiza el primer análisis de riesgo de *O. patagonica* en el golfo de México, donde obtuvo valores entre alto y muy alto impacto (Cuadro 6) para México a través del método MERI. Este método se ha utilizado para estudiar al menos 520 especies introducidas en el país entre las que destacan el pez león (*Pterois volitans*), el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) o el guppy (*Poecilia reticulata*) con valores de IR de 0.89, 0.97 y 0.51 respectivamente (Golubov *et al.*, 2014; González-Martínez *et al.*, 2017). Sin embargo, es importante recalcar que este método es el primer paso para reconocer el riesgo que las especies exóticas representan para los ecosistemas donde son introducidas, es importante complementar este método con datos cuantitativos obtenidos mediante trabajo de campo para que se robustezca. En especies marinas se ha utilizado la metodología de Blackburn *et al.* (2011) como base para la creación de análisis de riesgo, en corales se ha utilizado la metodología de Delaney *et al.* (2008) para el estudio de *Tubastraea* en Brasil y para *O. patagonica* en el mar Mediterráneo se ha utilizado el modelo CIPAL (Bartolo *et al.*, 2021) clasificando a la especie de riesgo alto debido a las interacciones negativas que causa a la diversidad nativa y su rápida proliferación. Por lo que es recomendable realizar una serie de trabajos enfocados en *O. patagonica* como los que se discuten a continuación.

#### **8.4. Recomendaciones**

Debido a las complicaciones mencionadas en los apartados anteriores se recomienda realizar una serie de estudios específicos en la especie. Por ejemplo, ya que posiblemente la alta plasticidad morfológica del género *Oculina*, así como su identidad como especies gonocóricas pueden llegar a causar una variación morfológica, se recomienda realizar un estudio en el que se realicen comparaciones morfológicas tomando en cuenta el dimorfismo sexual y el uso de técnicas moleculares entre las seis especies conocidas del género *Oculina* en el golfo de México. Este estudio puede ayudar para conocer aquellos caracteres diferenciales en la especie y facilitar la identificación y el estatus que se le asigna a las especies de este género. También, como se ha visto en esta tesis, *O. patagonica* se ha

establecido en múltiples ecosistemas tanto artificiales como naturales en el golfo de México, pero se desconoce su abundancia y distribución ya que por su naturaleza criptica puede pasar fácilmente desapercibida. Por lo que es necesario realizar un monitoreo constante de las poblaciones identificadas en este trabajo ya que, se sabe que es necesario programas de monitoreo apropiados para tener buenos resultados en el estudio y control de invasiones marinas (Wasson *et al.*, 2002; Crooks y Rilov 2009). Por ejemplo, para mitigar el impacto en *Tubastraea* sp. en Brasil, se ha propuesto el The Sun-Coral Project (PCS) un proyecto social, económico y ambiental para el estudio, control y aprovechamiento de las especies del género *Tubastraea*. Basado principalmente en la ayuda de la participación social en la remoción de colonias de *Tubastraea* para sustituir la extracción de corales nativos que son utilizados para el comercio ilegal, medidas de control para frenar la propagación y recuperación de áreas sensibles como áreas marinas protegidas (Creed *et al.*, 2017b).

El PCS puede ser utilizado como referencia para la creación de un plan de seguimiento de *O. patagonica* y estrategias de control en México. Para el monitoreo, el PCS propone el uso del método DAFOR (Kershaw, 1985) para conocer la expansión del rango y la descripción de la abundancia espacial y temporal con bajos costos y alta eficiencia (Creed *et al.*, 2017b). Para la remoción de ejemplares se realiza con ayuda de un mazo y cincel para quitar colonias mayores a 1 cm que son sacrificados sumergiéndola en agua dulce por 2 hrs o por asfixia con bolsas de plástico (Creed *et al.*, 2017b). Estos dos procesos (monitoreo y extracción) han sido apoyados por la participación social de comunidades locales que han sido entrenados mediante talleres ambientales y que han demostrado ser altamente eficaces y económicamente redituables. Además, otros estudios se han apoyado de la ciencia ciudadana con estudiantes de pregrado para el monitoreo y expansión de especies invasoras con buenos resultados (Delaney *et al.*, 2008). Por ello este tipo de estrategias junto con diferentes estudios de campo pueden servir para conocer la expansión, distribución, abundancia, condición e interacciones ecológicas de *O. patagonica* en los ecosistemas costeros del golfo de México. Además, gracias a la amplia resistencia de *O. patagonica* es posible no solo aprovechar los esqueletos coralinos como en el PCS si no, también aprovechar la remoción de organismos vivos para ser utilizado como modelo en la enseñanza e investigación de una serie de trabajos

experimentales enfocados en el microbioma, el blanqueamiento bacteriano o blanqueamiento coralino en *O. patagonica* en el golfo de México.

## **IX. Conclusiones generales**

Se han publicado al menos 134 documentos referentes a la especie desde su descubrimiento, siendo el mar Mediterráneo el sitio con mayor producción de publicaciones en el mundo.

Los resultados de este estudio sugieren presencia de *O. patagonica* únicamente en Veracruz hasta el momento dentro del golfo de México. Además, las encuestas recibidas indican que su distribución a lo largo del litoral veracruzano ha ido en aumento en los últimos 15 años, estableciéndose en diferentes sustratos artificiales y en ecosistemas naturales. Sin embargo se desconoce el papel ecológico que presenta la especie en estos sitios. Por ello, en este trabajo se clasifica a *O. patagonica* como especie exótica establecida en el golfo de México.

El análisis de riesgo inicial (MERI) clasifica a *O. patagonica* con valores de riesgo muy alto y alto a través de sus dos modelos para México. Sin embargo, la falta de trabajo de campo es la mayor limitante para establecer medidas de manejo en el golfo de México.

## X. Bibliografía

- Allendorf, F. W., y Lundquist, L. L. (2003). Introduction: Population Biology, Evolution, and Control of Invasive Species. *Conservation Biology*, 17(1), 24–30.  
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.02365.x>
- Anil, A. C., y Krishnamurthy, V. (2018). Ship-mediated Marine Bioinvasions: Need for a Comprehensive Global Action Plan. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 35(1–2), 17–24. <https://doi.org/10.29037/ajstd.468>
- Badii M. H., Guillen A., Rodríguez C. E., Lugo O., Aguilar J. y Acuña M. 2015. Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 10(2)156-174.
- Banin, E., Israely, T., Kushmaro, A., Loya, Y., Orr, E., y Rosenberg, E. (2000). Penetration of the Coral-Bleaching Bacterium *Vibrio shiloi* into *Oculina patagonica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(7), 3031–3036. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.7.3031-3036.2000>
- Bartolo, A. G., Tsiamis, K., y Küpper, F. C. (2021). Identifying hotspots of non-indigenous species' high impact in the Maltese islands (Central Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112016>
- Bednarz, V. N., van de Water, J. A. J. M., Rabouille, S., Maguer, J.-F., Grover, R., y Ferrier-Pagès, C. (2019). Diazotrophic community and associated dinitrogen fixation within the temperate coral *Oculina patagonica*: N<sub>2</sub> fixation in *Oculina patagonica*. *Environmental Microbiology*, 21(1), 480–495. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14480>.

- Beltrán-Torres, A. U., y Carricart-Ganivet, J. P. (2015). Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Milleporina; Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 813–829. <https://doi.org/10.15517/rbt.v47i4.19259>
- Benítez, J. A., R. M. Cerón-Bretón, J. G. Cerón-Bretón, A. Roé-Sosa, B. Girón, y J. Rendón Von-Osten. (2014). Impacto ambiental causado por el crecimiento poblacional y actividades económicas en el Golfo de México: uso del suelo y generación de desechos. p. 747-762. En: A. V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC, UNAM-ICMyL, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p.
- Bennett, C., Robertson A. y Patterson W. F. (2019). First record of the non-indigenous Indo-Pacific damselfish, *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856) in the northern Gulf of Mexico. *BioInvasions Records*, 8(1), 154–166. <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.1.17>
- Bitar, G., y Zibrowius, H. (1997). *Scleractinian corals from Lebanon, Eastern Mediterranean, including a non-lessepsian invading species (Cnidaria: Scleractinia)*. 6.
- Blackburn, T. M., Essl, F., Evans, T., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Kühn, I., Kumschick, S., Marková, Z., Mrugała, A., Nentwig, W., Pergl, J., Pyšek, P., Rabitsch, W., Ricciardi, A., Richardson, D. M., Sendek, A., Vilà, M., Wilson, J. R. U., Winter, M., Bacher, S. (2014). A Unified Classification of Alien Species Based on the Magnitude of their Environmental Impacts. *PLoS Biology*, 12(5), e1001850.
- Blackburn, T. M., P. Pyšek, S. Bacher, J. T. Carlton, R. P. Duncan, V. Jarosík, J. R. U. Wilson, y D. M. Richardson. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 26:333–339

Brown, P. M. J., Thomas, C. E., Lombaert, E., Jeffries, D. L., Estoup, A., y Lawson Handley, L.-J. (2011). The global spread of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): distribution, dispersal and routes of invasion. *BioControl*, 56(4), 623–641.

<https://doi.org/10.1007/s10526-011-9379-1>

Brito, A., C. López, O. Ocaña, R. Herrera, L. Moro, O. Monterroso, A. Rodríguez, S. Clemente y J.J. Sánchez. (2017). Colonization and expansion of two potentially invasive coral species in the Canary Islands introduced through oil platforms. *VIERAEA* 45: 65-82.

<https://doi.org/10.31939/vieraea.2017.45.04>

Camacho-Cervantes, M., Ortega-Iturriaga, A., y del-Val, E. (2017). From effective biocontrol agent to successful invader: The harlequin ladybird ( *Harmonia axyridis* ) as an example of good ideas that could go wrong. *PeerJ*, 5, e3296. <https://doi.org/10.7717/peerj.3296>.

Castañeda-Chávez, .M.R., F.R. Lango, I.V. Galaviz and J.L.F. García. 2015. *Vibrio* spp. en corales del Sistema Arrecifal Veracruzano. p. 267-280. En: Granados-Barba, A., L. OrtizLozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, 366 pp

Cairns, S. D., Jaap, W. C., y Lang, J. C. (2009). *Scleractinia* (Cnidaria) of the Gulf of Mexico. 16.

CEMDA 2012 [http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/PNSAV.Final\\_.pdf](http://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/PNSAV.Final_.pdf)

Chartosia, N., Anastasiadis, D., Bazairi, H., Crocetta, F., Deidun, A., Despalatović, M., Di Martino, V., Dimitriou, N., Dragičević, B., Dulčić, J., Durucan, F., Hasbek, D., Ketsilis-Rinis, V., Kleitou, P., Lipej, L., Macali, A., Marchini, A., Ousselam, M., Piraino, S., y Yapici, S. (2018). New Mediterranean Biodiversity Records (July 2018). *Mediterranean Marine Science*, 19(2), 398. <https://doi.org/10.12681/mms.18099>

- Çinar, M. (2006). New records of alien species on the Levantine coast of Turkey. *Aquatic Invasions*, 1(2), 84–90. <https://doi.org/10.3391/ai.2006.1.2.6>
- Cisneros-Mata, M. A., Delgado, J. A., y Rodríguez-Félix, D. (2021). Viability of the vaquita, *Phocoena sinus* (Cetacea: Phocoenidae) population, threatened by poaching of Totoaba macdonaldi (Perciformes: Sciaenidae). *Revista de Biología Tropical*, 69, 13.
- Clarke, R. V., y de By, R. A. (2013). Poaching, habitat loss and the decline of neotropical parrots: A comparative spatial analysis. *Journal of Experimental Criminology*, 9(3), 333-353. <https://doi.org/10.1007/s11292-013-9177-0>
- Colín García, N. A., Campos, J. E., Tello Musí, J. L., Perez-España, H., y Carrara, X. C. (2018). First record of the invasive coral *Oculina patagonica* de Angelis, 1908 (Cnidaria, Scleractinia) in the Gulf of Mexico. *Check List*, 14(4), 613–617. <https://doi.org/10.15560/14.4.613>
- Coma, R., Serrano, E., Linares, C., Ribes, M., Díaz, D., y Ballesteros, E. (2011). Sea Urchins Predation Facilitates Coral Invasion in a Marine Reserve. *PLoS ONE*, 6(7), e22017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022017>
- CONABIO, 2015. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. México DF.
- CONABIO. 2020. Sistema de Información sobre especies Invasoras <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras>. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd de México. México. Visitada el 26 de agosto de 2021
- Creed, J. C., Fenner, D., Sammarco, P., Cairns, S., Capel, K., Junqueira, A. O. R., Cruz, I., Miranda, R. J., Carlos-Junior, L., Mantelatto, M. C., y Oigman-Pszczol, S. (2017<sup>a</sup>). The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastraea* (Scleractinia: Dendrophylliidae)

throughout the world: history, pathways and vectors. *Biological Invasions*, 19(1), 283–305.

<https://doi.org/10.1007/s10530-016-1279-y>

Creed, J., Junqueira, A., Fleury, B., Mantelatto, M., y Oigman-Pszczol, S. (2017b). The Sun-Coral Project: The first social-environmental initiative to manage the biological invasion of *Tubastraea* spp. in Brazil. *Management of Biological Invasions*, 8(2), 181–195.

<https://doi.org/10.3391/mbi.2017.8.2.06>

Cunze, S., Kochmann, J., Koch, L. K., y Klimpel, S. (2016). *Aedes albopictus* and Its Environmental Limits in Europe. *PLOS ONE*, 11(9), e0162116.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162116>

Cursach Villaronga B. (2003). Una amenaza para la biodiversidad: Especies exóticas invasoras. *Ambienta. La revista del Ministerio de Medio Ambiente*. 23:58-65.

Cvitković, I., Despalatović, M., Nikolić, V., y Žuljević, A. (2013). The first record of *Oculina patagonica* (Cnidaria, Scleractinia) in the Adriatic Sea. 7.

Delaney, D. G., Sperling, C. D., Adams, C. S., y Leung, B. (2008). Marine invasive species: Validation of citizen science and implications for national monitoring networks. *Biological Invasions*, 10(1), 117–128. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9114-0>

De La Cruz Francisco, V., Orduña -Medrano, R. E., Paredes -Flores, J. E., Vásquez-Estrada, R. I., Marlene González-González, M., y Liliana Flores-Galicia, L. (2017). Una Aproximación A La Florística Y Faunística De La Costa Rocosa El Pulpo, Cazones, Veracruz, México. *CICIMAR Oceanides*, 32(1), 39. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v32i1.195>

- Duarte, C. M., y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Spain) (Eds.). (2006). Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*.
- Eytan R. I., Hayes M., Arbour-Reily P., Miller M., y Hellberg M. E. (2009). Nuclear sequences reveal mid-range isolation of an imperilled deep-water coral population. *Mol Ecol*. 2009;18:2375–89.
- Fenner, D. (2001). Biogeography Of Three Caribbean Corals (Scleractinia) And The Invasion Of Tubastraea Coccinea Into The Gulf Of Mexico. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*, 69(3), 16.
- Ferrero-Vicente, L., Rubio-Portillo, E., y Ramos-Esplá, A. (2016). Sipuncula inhabiting the coral *Oculina patagonica* in the western Mediterranean Sea. *Marine Biodiversity Records*, 9(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41200-016-0003-z>
- Figueroa, D. F., McClure, A., Figueroa, N. J., y Hicks, D. W. (2019). Hiding in plain sight: Invasive coral *Tubastraea tagusensis* (Scleractinia:Hexacorallia) in the Gulf of Mexico. *Coral Reefs*, 38(3), 395–403. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01807-7>
- Fine, M., y Loya, Y. (2002). Endolithic algae: An alternative source of photoassimilates during coral bleaching. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1497), 1205–1210. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.1983>
- Fine, M., y Loya, Y. (2003). Alternate coral–bryozoan competitive superiority during coral bleaching. *Marine Biology*, 142(5), 989–996. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0982-7>
- Fine, M., y Loya, Y. (2004). Coral Bleaching in a Temperate Sea: From Colony Physiology to Population Ecology. En E. Rosenberg y Y. Loya (Eds.), *Coral Health and Disease* (pp. 143–156). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-06414-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-06414-6_6)

- Fine, M., y Tchernov, D. (2007). Scleractinian Coral Species Survive and Recover from Decalcification. *Science*, 315(5820), 1811-1811. <https://doi.org/10.1126/science.1137094>
- Fine, M., Oren, U., y Loya, Y. (2002). Bleaching effect on regeneration and resource translocation in the coral *Oculina patagonica*. *Marine Ecology Progress Series*, 234, 119–125. <https://doi.org/10.3354/meps234119>
- Fine, M., Zibrowius, H., y Loya, Y. (2001). *Oculina patagonica*: a non-lessepsian scleractinian coral invading the Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 138 (6), 1195-12.
- Foster A. B. (1979). Phenotypic Plasticity In The Reef Corals *Montastraea Annularis* (Ellis y Solander) And *Siderastrea Siderea* (Ellis y Solander). *J. Exp. mar. Biol. Ecol.*, 1979, Vol. 39. pp. 25 54
- Fulton, G. R. (2017). The Bramble Cay melomys: The first mammalian extinction due to human-induced climate change. *Pacific Conservation Biology*, 23(1), 1. [https://doi.org/10.1071/PCv23n1\\_ED](https://doi.org/10.1071/PCv23n1_ED)
- Golubov, J., Mandujano, M.C., Guerrero-Eloísa, S., Mendoza, R., Koleff, P., González-Martínez A., Barrios-Caballero Y., y Born-Schmidt G. (2014). Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las especies invasoras. En R. Mendoza y P. Koleff Osorio (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 123-133). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- González-Barrios F. J., Cabral-Tena R. Alvarez-Filip L. 2020. Recovery disparity between coral cover and the physical functionality of reefs with impaired coral assemblages. *Glob Change Biol*. 2021; 27:640–651. DOI: 10.1111/gcb.15431
- González-Gándara C., Domínguez-Barradas C., De la Cruz-Francisco V., Solís-Marín F. A, y Carricart-Ganivet J. P. (2015). Esponjas, corales escleractinios, equinodermos y peces de arrecifes coralinos del norte y sur de Veracruz. México: SNIB-CONABIO.

- González-Gándara, C., y de la Cruz-Francisco, V. (2014). Unusual record of the Indo-Pacific pomacentrid *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856) on coral reefs of the Gulf of Mexico. *BioInvasions Records*, 3(1), 49–52. <https://doi.org/10.3391/bir.2014.3.1.09>
- Gordon, B. R., Leggat, W., y Motti, C. A. (2013). Extraction Protocol for Nontargeted NMR and LC-MS Metabolomics-Based Analysis of Hard Coral and Their Algal Symbionts. En U. Roessner y D. A. Dias (Eds.), *Metabolomics Tools for Natural Product Discovery* (Vol. 1055, pp. 129–147). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-62703-577-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-577-4_10)
- Gracia L. H., Marrugo J. L., y Alvis E. M. R. (2010). Mercury contamination in humans and fishes in the municipality of Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2010*; 28(2): 118-12.
- Gravili, C., y Rossi, S. (2021). Who's Next? Non-Indigenous Cnidarian and Ctenophoran Species Approaching to the Italian Waters. *Water*, 13(8), 1062. <https://doi.org/10.3390/w13081062>
- Grupstra, C. G. B., Coma, R., Ribes, M., Leydet, K. P., Parkinson, J. E., McDonald, K., Catllà, M., Woolstra, C. R., Hellberg, M. E., y Coffroth, M. A. (2017). Evidence for coral range expansion accompanied by reduced diversity of Symbiodinium genotypes. *Coral Reefs*, 36(3), 981–985. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1589-2>
- Goldberg W. M. (2018). Chapter 18 Coral Food, Feeding, Nutrition, and Secretion: A Review. In M. Kloc, J. Z. Kubiak (eds.), *Marine Organisms as Model Systems in Biology and Medicine*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92486-1\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92486-1_18)
- González-Espinosa P. C. (2015). Dimorfismo sexual de los caracteres morfológicos del coral *Porites panamensis* Verril, 1866 en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste. La Paz, México.

- Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. (2016). GulfBase: Resource Database for Gulf of Mexico Research, Education, and Management. Texas A&M University-Corpus Christi. World Wide Web electronic publication. <http://www.gulfbase.org>, 02-14-2022.
- Hoeksema, B. W., y Ocana-Vicente, O. (2014). First record of the Central Indo-Pacific reef coral *Oulastrea crispata* in the Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), 429. <https://doi.org/10.12681/mms.751>
- Horta-Puga, G., L. Álvarez-Filip, R.A. Cabral-Tena, A. López-Pérez, L. Ortiz Lozano, H. Pérez-España, y H. Reyes-Bonilla. (2019). Coastal coral reefs in Mexico. p. 329-366. En: Botello A.V., S. Villanueva y J. Gutiérrez (coord.). *Costas y Mares Mexicanos: Contaminación, Impactos, Vulnerabilidad y Cambio Climático*. UNAM, UAC. 652 p. ISBN 978-607-30-2331-3. doi 10.26359/epomex.0419
- Houlbrèque, F., y Ferrier- Pagès, C. (2009). Heterotrophy in Tropical Scleractinian Corals. *Biological Reviews*, 84(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2008.00058.x>
- Izquierdo, A., Loya, A., Díaz-Valdés, M., y Ramos-Espla, A. A. (2007). Non-Indigenous Species At The Alicante Harbor (Se-Spain): *Oculina Patagonica* De Angelis, 1908 And *Botrycapulus Aculeatus* (Gmelin, 1791). 2.
- Jeschke, J. M., y Strayer, D. L. (2005). *Invasion success of vertebrates in Europe and North America*. 6.
- Katsanevakis, S., Gatto, F., Zenetos, A., y Cardoso, A. C. (2013). How many marine aliens in Europe? *Management of Biological Invasions*, 4(1), 37–42. <https://doi.org/10.3391/mbi.2013.4.1.05>
- Kershaw KA (1985) *Quantitative and dynamic plant ecology*. Edward Arnold, London, 282 pp
- Knowlton, N., y Rohwer, F. (2003). Multispecies Microbial Mutualisms on Coral Reefs: The Host as a Habitat. *The American Naturalist*, 162(S4), S51–S62. <https://doi.org/10.1086/378684>

- Kramarsky-Winter, E., Fine, M., y Loya, Y. (1997). Coral polyp expulsion. *Nature*, 387(6629), 137-137. <https://doi.org/10.1038/387137a0>
- Kuhnert, P. M. (2011). Four case studies in using expert opinion to inform priors. *Environmetrics*, 22(5), 662–674. <https://doi.org/10.1002/env.1115>
- Kushmaro, A., Loya, Y., Fine, M., y Rosenberg, E. (1996). Bacterial infection and coral bleaching. *Nature*, 380(6573), 396–396. <https://doi.org/10.1038/380396a0>
- Kushmaro, A., Rosenberg, E., Fine, M., Ben Haim, Y., y Loya, Y. (1998). Effect of temperature on bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK-1. *Marine Ecology Progress Series*, 171, 131-137. <https://doi.org/10.3354/meps171131>
- Larson, E. A., Gilliam, D. S., Padierna, M. L., y Walker, B. K. (2014). Possible recovery of *Acropora palmata* (Scleractinia:Acroporidae) within the Veracruz Reef System, Gulf of Mexico: A survey of 24 reefs to assess the benthic communities. *Rev. Biol. Trop.*, 62, 10.
- Leydet, K. P., y Hellberg, M. E. (2015). The invasive coral *Oculina patagonica* has not been recently introduced to the Mediterranean from the western Atlantic. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0356-7>
- Leydet, K. P., y Hellberg, M. E. (2016). Discordant coral–symbiont structuring: Factors shaping geographical variation of Symbiodinium communities in a facultative zooxanthellate coral genus, *Oculina*. *Coral Reefs*, 35(2), 583–595. <https://doi.org/10.1007/s00338-016-1409-0>
- López, C., Clemente, S., Moreno, S., Ocaña, O., Herrera, R., Moro, L., Monterroso, O., Rodríguez, A., y Brito, A. (2019). Invasive *Tubastraea* spp. and *Oculina patagonica* and other introduced scleractinians corals in the Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands) harbor:

Ecology and potential risks. *Regional Studies in Marine Science*, 29, 100713.

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100713>

Lorenzo, P., y Rodríguez-Echeverría, S. (2014). Soil changes mediated by invasive Australian acacias. *Ecosistemas*, 24(1), 59-66. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-1.10>

Lugo, A. E. (2000). Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario. *Science of The Total Environment*, 262(3), 243-251. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00526-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00526-X)

Mariani, S., Ocaña Vicente, O., López-Sendino, P., García, M., Ricart, A. M., Garrabou, J., y Ballesteros, E. (2018). The zooxanthellate scleractinian coral *Oulastrea crispata* (Lamarck, 1816), an overlooked newcomer in the Mediterranean Sea? *Mediterranean Marine Science*, 19(3), 589. <https://doi.org/10.12681/mms.16986>

Martin, T. G., Burgman, M. A., Fidler, F., Kuhnert, P. M., Low-Choy, S., McBride, M., y Mengersen, K. (2012). Eliciting Expert Knowledge in Conservation Science: *Elicitation of Expert Knowledge*. *Conservation Biology*, 26(1), 29–38. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01806.x>

Martinez, S., Bellworthy, J., Ferrier-Pagès, C., y Mass, T. (2021). Selection of mesophotic habitats by *Oculina patagonica* in the Eastern Mediterranean Sea following global warming. *Scientific Reports*, 11(1), 18134. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97447-5>

Martínez-Meyer, E., A.P. Cuervo-Robayo, G.A. Ortiz-Haro y L.A. Osorio-Olvera. (2017). Modelación de la distribución potencial actual y futura de las especies invasoras de mayor riesgo para México. Elaborado en el marco del proyecto GEF-PNUD 089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la

implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo). 39 pp.

Mayta, A., y Durán, A. (2015.). *Sobre-explotación de aguas subterráneas en Punata: Causas y efectos*. 35.

McDonald, D. B., Parchman, T. L., Bower, M. R., Hubert, W. A., y Rahel, F. J. (2008). An introduced and a native vertebrate hybridize to form a genetic bridge to a second native species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(31), 10837–10842.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0712002105>

Mendoza-Alfaro RE y P Koleff-Osorio (coords.). (2014). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 555p. isbn: 978-607-8328-04-8

Menezes, N., Neves, E., Kikuchi, R. K. P., y Johnsson, R. (2014). Morphological variation in the atlantic genus *Siderastrea* (Anthozoa, Scleractinia). *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)*. <https://doi.org/10.1590/0031-1049.2014.54.16>

Mills, E., Shechtman, K., Loya, Y., y Rosenberg, E. (2013). Bacteria appear to play important roles in both causing and preventing the bleaching of the coral *Oculina patagonica*. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 155-162. <https://doi.org/10.3354/meps10391>

Movilla, J., Calvo, E., Pelejero, C., Coma, R., Serrano, E., Fernández-Vallejo, P., y Ribes, M. (2012). Calcification reduction and recovery in native and non-native Mediterranean corals in response to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 438, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.09.014>

- Muscatine, L., R. McCloskey, L., y E. Marian, R. (1981). Estimating the daily contribution of carbon from zooxanthellae to coral animal respiration1: Muscatine et al. *Limnology and Oceanography*, 26(4), 601–611. <https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.4.0601>
- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A., y Martos, J. (2013). The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean y Coastal Management*, 86, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.006>
- Pérez-España, H., P. S. Ávila-Gutierrez, S. M. Melo-Merino, P. BerumenSolórzano, y R. R. Flores-Arévalo, (2015). Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano, p. 159-178. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 366 p.
- Perrings, C., Mooney, H., y Williamson, M. (2015). *Bioinvasions and Globalization*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199560158.001.0001>
- Pyšek P. y Richardson D. M. (2010). Invasive species, environmental change and management, and health. *Annual Review of Environment and Resources* 35: 25– 55.
- Rasband W. S. (2012). ImageJ, US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. <http://imagej.nih.gov/ij/>
- Robertson, D. R., Dominguez-Dominguez, O., Victor, B., y Simoes, N. (2018). An Indo-Pacific damselfish ( *Neopomacentrus cyanomos* ) in the Gulf of Mexico: Origin and mode of introduction. *PeerJ*, 6, e4328. <https://doi.org/10.7717/peerj.4328>

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. I., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., y Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2), art32. <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>

Rodolfo-Metalpa, R., Hoogenboom, M. O., Rottier, C., Ramos-Esplá, A., Baker, A. C., Fine, M., y Ferrier-Pagès, C. (2014). Thermally tolerant corals have limited capacity to acclimatize to future warming. *Global Change Biology*, 20(10), 3036–3049. <https://doi.org/10.1111/gcb.12571>

Rodolfo-Metalpa, R., Hoogenboom, M. O., Rottier, C., Ramos-Esplá, A., Baker, A. C., Fine, M., y Ferrier-Pagès, C. (2014). Thermally tolerant corals have limited capacity to acclimatize to future warming. *Global Change Biology*, 20(10), 3036–3049. <https://doi.org/10.1111/gcb.12571>

Rodolfo-Metalpa, R., Richard, C., Allemand, D., y Ferrier-Pagès, C. (2006a). Growth and photosynthesis of two Mediterranean corals, *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica*, under normal and elevated temperatures. *Journal of Experimental Biology*, 209(22), 4546–4556. <https://doi.org/10.1242/jeb.02550>

Rodolfo-Metalpa, R., Richard, C., Allemand, D., Bianchi, C. N., Morri, C., y Ferrier-Pagès, C. (2006b). Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures. *Marine Biology*, 150(1), 45–55. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0329-x>

Rodrigues, A. S. L. (2006). ECOLOGY: Are Global Conservation Efforts Successful? *Science*, 313(5790), 1051-1052. <https://doi.org/10.1126/science.1131302>

- Rubio-Portillo, E., Martín-Cuadrado, A. B., Caraballo-Rodríguez, A. M., Rohwer, F., Dorrestein, P. C., y Antón, J. (2020). Virulence as a Side Effect of Interspecies Interaction in *Vibrio* Coral Pathogens. *MBio*, *11*(4). <https://doi.org/10.1128/mBio.00201-20>
- Rubio-Portillo, E., Ramos-Esplá, A. A., y Antón, J. (2021). Shifts in marine invertebrate bacterial assemblages associated with tissue necrosis during a heat wave. *Coral Reefs*, *40*(2), 395–404. <https://doi.org/10.1007/s00338-021-02075-0>
- Rubio-Portillo, E., Gago, J. F., Martínez-García, M., Vezzulli, L., Rosselló-Móra, R., Antón, J., y Ramos-Esplá, A. A. (2018). *Vibrio* communities in scleractinian corals differ according to health status and geographic location in the Mediterranean Sea. *Systematic and Applied Microbiology*, *41*(2), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2017.11.007>
- Rubio-Portillo, E., Santos, F., Martínez-García, M., de los Ríos, A., Ascaso, C., Souza-Egipsy, V., Ramos-Esplá, A. A., y Anton, J. (2016). Structure and temporal dynamics of the bacterial communities associated to microhabitats of the coral *Oculina patagonica*: Role of pathogens in the development of coral diseases. *Environmental Microbiology*, *18*(12), 4564–4578. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13548>
- Rubio-Portillo, E., Souza-Egipsy, V., Ascaso, C., de los Rios Murillo, A., Ramos-Esplá, A. A., y Antón, J. (2014a). Eukarya associated with the stony coral *Oculina patagonica* from the Mediterranean Sea. *Marine Genomics*, *17*, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2014.06.002>
- Rubio-Portillo, E., Vázquez-Luis, M., Izquierdo Muñoz, A., y Ramos Esplá, A. A. (2014b). Distribution patterns of alien coral *Oculina patagonica* De Angelis D'Ossat, 1908 in western Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research*, *85*, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.07.007>

- Rubio-Portillo, E., Vázquez-Luis, M., Valle, C., Izquierdo-Muñoz, A., y Ramos-Esplá, A. A. (2014c). Growth and bleaching of the coral *Oculina patagonica* under different environmental conditions in the western Mediterranean Sea. *Marine Biology*, *161*(10), 2333–2343. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2509-4>
- Rubio-Portillo, E., Yarza, P., Peñalver, C., Ramos-Esplá, A. A., y Antón, J. (2014d). New insights into *Oculina patagonica* coral diseases and their associated *Vibrio* spp. Communities. *The ISME Journal*, *8*(9), 1794–1807. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.33>
- Salas-Monreal, D., Marin-Hernandez, M., Salas-Perez, J. de J., Salas-de-Leon, D. A., Monreal-Gomez, M. A., y Perez-España, H. (2018). Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, *179*, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.12.001>
- Salas-Pérez, J de J., Salas-Moreal, D., Monreal-Gomez M. A., Riveron-Enzastiga M. L., y Llasat C. (2012). Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* *100*, 102-112.
- Salomidi, M., Katsanevakis, S., Issaris, Y., Tsiamis, K., y Katsiaras, N. (2013). Anthropogenic disturbance of coastal habitats promotes the spread of the introduced scleractinian coral *Oculina patagonica* in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, *15*(9), 1961–1971. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0424-0>
- Sartoretto, S., Harmelin, J.-G., Bachet, F., Bejaoui, N., Lebrun, O., y Zibrowius, H. (2008). The alien coral *Oculina patagonica* De Angelis, 1908 (Cnidaria, Scleractinia) in Algeria and Tunisia. *Aquatic Invasions*, *3*(2), 173–180. <https://doi.org/10.3391/ai.2008.3.2.7>

- Serrano, E., Coma, R., y Ribes, M. (2012). A phase shift from macroalgal to coral dominance in the Mediterranean. *Coral Reefs*, 31(4), 1199–1199. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0939-3>
- Serrano, E., Coma, R., Ribes, M., Weitzmann, B., García, M., y Ballesteros, E. (2013). Rapid Northward Spread of a Zooxanthellate Coral Enhanced by Artificial Structures and Sea Warming in the Western Mediterranean. *PLoS ONE*, 8(1), e52739. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052739>
- Serrano, E., Ribes, M., y Coma, R. (2017). Recurrent partial mortality events in winter shape the dynamics of the zooxanthellate coral *Oculina patagonica* at high latitude in the Mediterranean. *Coral Reefs*, 36(1), 27–38. <https://doi.org/10.1007/s00338-016-1510-4>
- Serrano, E., Ribes, M., y Coma, R. (2018). Demographics of the zooxanthellate coral *Oculina patagonica* along the Mediterranean Iberian coast in relation to environmental parameters. *Science of The Total Environment*, 634, 1580–1592. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.032>
- Silva, R., Medrano, F., Tejada, I., Terán, D., Peredo, R., y Barros, R. (2020). Evaluación Del Impacto De La Contaminación Lumínica Sobre Las Aves Marinas En Chile: Diagnóstico Y Propuestas. *Ornitología Neotropical*, 12.
- Smith, A. L., Hewitt, N., Klenk, N., Bazely, D. R., Yan, N., Wood, S., Henriques, I., MacLellan, J. I., y Lipsig-Mummé, C. (2012). Effects of climate change on the distribution of invasive alien species in Canada: A knowledge synthesis of range change projections in a warming world. *Environmental Reviews*, 20(1), 1-16. <https://doi.org/10.1139/a11-020>.
- Sterrer, W. (1986). Marine fauna and flora of Bermuda. A systematic guide to the identification of marine organisms.

- Sussman, M., Loya, Y., Fine, M., y Rosenberg, E. (2003). The marine fireworm *Hermodice carunculata* is a winter reservoir and spring-summer vector for the coral-bleaching pathogen *Vibrio shiloi*. *Environmental Microbiology*, 5(4), 250–255.  
<https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2003.00424.x>
- Tellería, J. L. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. 14.
- Tremblay, N., Guerra-Castro, E. J., Díaz, F., Rodríguez-Fuentes, G., Simões, N., Robertson, D. R., y Rosas, C. (2020). Cold temperature tolerance of the alien Indo-Pacific damselfish *Neopomacentrus cyanomos* from the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 524, 151308. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151308>
- Terrón-Sigler A, Peñalver-Duque P. y León-Muez D. (2016). *Oculina patagonica*: Un coral nativo del Mediterráneo ¿con un comportamiento invasivo? *Chronica naturae*, 6: 33-38.
- Tilman, D., Clark, M., Williams, D. R., Kimmel, K., Polasky, S., y Packer, C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546(7656), 73-81.  
<https://doi.org/10.1038/nature22900>
- Toren, A., Landau, L., Kushmaro, A., Loya, Y., y Rosenberg, E. (1998). Effect of Temperature on Adhesion of *Vibrio* Strain AK-1 to *Oculina patagonica* and on Coral Bleaching. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(4), 1379–1384.  
<https://doi.org/10.1128/AEM.64.4.1379-1384.1998>
- Todd, P. A. (2008). Morphological plasticity in scleractinian corals. *Biology Reviews*, 83, 315-337
- Valenzuela, A. E. J., Sepúlveda, M. A., y Cabello, J. L. (2016). *El Visión Americano En Patagonia: Un Análisis Histórico Y Socioecológico De La Investigación Y El Manejo*. 17

- Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151-167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- Waits, L. P., y D. Paetkau. (2005). Noninvasive genetic sampling tools for wildlife biologists: a review of applications and recommendations for accurate data collection. *Journal of Wildlife Management* 69:1419–1433
- WWF. 2020. Informe Planeta Vivo 2020: Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad. Resumen. Almond, R.E.A., Grooten M. y Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suiza.
- Yellowlees, D., Rees, T. A. V., y Leggat, W. (2008). Metabolic interactions between algal symbionts and invertebrate hosts. *Plant, Cell y Environment*, 31(5), 679–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01802.x>
- Zibrowius H y A. A. Ramos. (1983). *Oculina patagonica*, scleractiniaire exotique en Mediterranee - nouvelles observations dans le sud-est de l'Espagne. *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee Monaco*. 28 (3): 297-301.
- Zibrowius H. (1974). *Oculina patagonica*, Scleractiniaire. Hermatypique introduit en Mediterranée. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 26, 153-173.

## XI. Anexos

### Anexo 1.-Encuesta:

1.- ¿En la zona donde usted lleva a cabo su investigación ha visto a la especie *Oculina patagonica* (Fig.1)? Si su respuesta es afirmativa, ¿podría especificar la región o el sitio dónde lo vio? Si no, proceda a la pregunta 6.

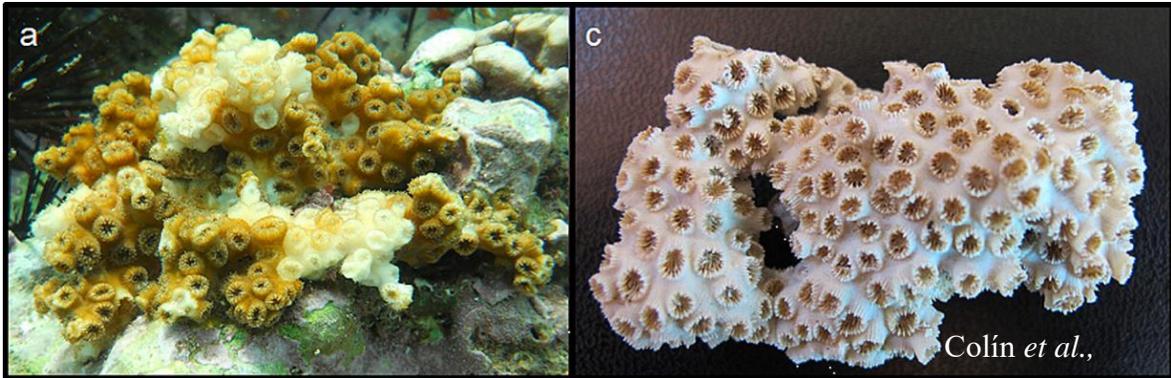


Figura.1. Fotografía de *Oculina patagonica* en el golfo de México. Tomada de Colín-García *et al.*, 2018

2.- ¿En qué tipo de ecosistema fue observada?

- a) Arrecifes coralinos
- b) Litoral rocoso
- c) Ecosistema artificial (escolleras, muelles, enrocamiento)
- d) Otro: \_\_\_\_\_

3.- ¿Estaba presente de manera localizada o extendida?

4.- ¿Le parece que hubo alteraciones o cambios en el sistema donde lo encontró? Si su respuesta es sí, ¿cuáles?

5 ¿Considera usted que la introducción de esta especie podría ser perjudicial para el bentos nativo? Si su respuesta es sí, ¿cómo cree que pueda serlo?

6.- ¿Nos compartiría alguna otra información que tenga sobre esta especie en México que pudiera ser de nuestro interés?

**Anexo 2.-** Preguntas correspondientes a el Método de evaluación rápida de invasividad para *O. patagonica* con la respuesta correspondiente en el instructivo MERI (CONABIO, 2015) y su justificación.

## **A) ESTATUS**

### **Pregunta 1. Reporte**

**Instructivo: Medio:** Reporte de invasión o de impactos documentados en varios países, que no sean países vecinos o con rutas directas hacia México. Uno o varios AR lo identifican como de riesgo medio.

**Justificación:** *O. patagonica* ha sido documentada en múltiples países del Mediterráneo como especie invasora y ha sido clasificada en análisis de riesgo alto y medio (Gerovasileiou *et al.*, 2014; Bartolo *et al.*, 2021; Gravili y Rossi, 2021).

### **Pregunta 2. Afinidad taxonómica**

**Instructivo: No:** No existen taxones invasores relacionados con la especie a pesar de que sí hay información sobre otros aspectos de la especie.

**Justificación:** No se han registrado invasiones de otra especie del genero *Oculina* a nivel mundial.

### **Pregunta 3. Vector**

**Instructivo: Medio:** Evidencia de que la especie puede transportar patógenos que provocan daños menores para algunas especies, pero de que en la zona en la que se piensa introducir, o ya se ha introducido, no existen especies nativas que pudieran ser afectadas.

**Justificación:** Se han documentado múltiples impactos a la biodiversidad incluyendo el transporte de diferentes *Vibrios* potencialmente dañinos para otras especies de cnidarios del golfo de México (ver apartado 7.2.2).

## **B) RIESGO DE INVASIÓN**

### **Pregunta 4. Introducción**

**Instructivo: Medio:** Evidencia de que la especie no tiene una alta demanda o hay pocos individuos con una alta frecuencia de introducción. Hay medidas disponibles para controlar su introducción y dispersión, pero su efectividad no ha sido comprobada en las condiciones bajo las que se encontraría la especie en México.

**Justificación:** No hay evidencia de que exista una demanda de individuos, pero hay individuos con alta frecuencia de introducción y dispersión en la zona costera de Veracruz (Ver apartado 7.4) y actualmente no se tienen medidas para su control.

### **Pregunta 5. Establecimiento**

**Instructivo: Muy Alto:** Evidencia de que más de una población de la especie se ha establecido exitosamente y es autosuficiente en al menos una localidad fuera de su rango de distribución nativa, y se está incrementando el número de individuos. Especies con reproducción asexual, hermafroditas, especies que puedan almacenar los gametos por tiempo prolongado, semillas, esporas o quistes de invertebrados que permanecen latentes por varios años. No hay medidas de mitigación.

**Justificación:** *O. patagonica* se ha dispersado rápidamente en el Mediterráneo (ver apartado 7.2) y en México se dispersado a lo largo de la costa de Veracruz estableciéndose en intermareales y arrecifes de coral (ver apartado 7.4), por sus características mencionadas a lo largo de este documento le confieren una ventaja en su expansión. Además, actualmente no se tienen medidas para su mitigación.

### **Pregunta 6. Dispersión**

**Instructivo: Muy Alto:** Evidencia de que la especie es capaz de establecer nuevas poblaciones autosuficientes en poco tiempo y lejos de la población original o es capaz de extenderse rápidamente en grandes superficies, lo que le permite colonizar nuevas áreas relativamente rápido, por medios naturales o artificiales. No se cuenta con medidas para su mitigación.

**Justificación:** Se ha documentado una alta dispersión de *O. patagonica* en Veracruz, México (ver apartado 7.4) y actualmente no se tienen medidas para su mitigación.

## C) IMPACTOS

### Pregunta 7. Salud

**Instructivo: No:** No hay información de que la especie cause daños a la salud a pesar de que sí se conoce información sobre otros aspectos.

**Justificación:** No existe evidencia de impactos a la salud provocados por *O. patagonica*.

### Pregunta 8. Económico/Social

**Instructivo: No:** No hay información de que la especie cause daños económicos y sociales a pesar de que sí hay información sobre otros aspectos de la especie.

**Justificación:** No existe evidencia de daños económicos provocados por *O. patagonica*.

### Pregunta 9. Ambiental

**Instructivo: No:** No hay información de que la especie cause cambios a pesar de que sí hay información sobre otros aspectos de la especie.

**Justificación:** No existe evidencia de cambios ambientales provocados por *O. patagonica*

### **Pregunta 10. Ecológico**

**Instructivo: Alto:** Existe evidencia de que la especie tiene alta probabilidad de producir descendencia fértil por hibridación o provoca cambios reversibles a largo plazo (> de 20 años) a la comunidad (cambios en las redes tróficas, competencia por alimento y espacio, cambios conductuales) o causa afectaciones negativas en el tamaño de las poblaciones nativas.

**Justificación:** Existe evidencia de múltiples impactos (ver apartado 7.2.2) incluyendo cambios de fase total de un ecosistema (Serrano y Coma, 2012).

Anexo 3. Fotografías de *O. patagonica* en el golfo de México.



Figura 2. Colonias de *O. patagonica* en las escolleras de Tuxpan, Veracruz