

---

# ESTRATEGIA DE CONTROL DEL ALGA RUGULOPTERYX OKAMURAE EN ESPAÑA

---

Aprobada por Conferencia Sectorial de 28 de julio de 2022

RESUMEN .....	4
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....	5
2. OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA.....	5
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE Y SUS REQUERIMIENTOS.....	6
3.1. Taxonomía.....	6
3.2. Morfología y anatomía vegetativa.....	7
3.3. Ciclo de vida .....	10
3.4. Fenología reproductiva y estrategias de reproducción .....	13
3.5. Ecología .....	16
3.6. Usos.....	18
4. DISTRIBUCIÓN NATIVA, INVADIDA Y ÁREAS SUSCEPTIBLES DE SER INVADIDAS.....	20
5. IMPACTOS Y ANÁLISIS DE RIESGOS.....	24
5.1. Impactos ecológicos.....	24
5.2. Impactos económicos .....	27
5.2.1. Impactos económicos sobre el sector pesquero .....	27
5.2.2. Impactos económicos por la retirada de arribazones .....	28
5.3. Análisis de riesgos .....	29
6. VÍAS DE INTRODUCCIÓN Y DISPERSIÓN.....	31
7. MEDIDAS DE ACTUACIÓN .....	33
7.1. Actuaciones de prevención.....	33
7.1.1. Medidas específicas y transversales de gestión de vías de introducción.....	35
7.2. Actuaciones ante la presencia de <i>R. okamurae</i> .....	35
7.2.1. Antecedentes.....	35
7.2.2. Análisis del nivel de amenaza y estimación de los impactos.....	36
7.2.3. Objetivos de las actuaciones y prerequisites.....	37
7.2.4. Actuaciones de erradicación y control. Técnicas y tratamientos.....	40
7.2.5. Métodos de prevención de la dispersión de <i>R. okamurae</i> desde poblaciones asentadas.....	52
7.2.6. Seguimiento de poblaciones y rastreo de incursiones.....	57
7.2.7. Respuesta de emergencia.....	58
7.3. Gestión de biomasa desprendida.....	59
7.3.1. Retirada de arribazones.....	60
7.3.2. Transporte, acopio y/o destrucción de arribazones.....	63
7.3.3. Gestión de biomasa de <i>R. okamurae</i> para su uso.....	63
7.3.4. Actuaciones asociadas a las actividades pesqueras.....	65
8. INVESTIGACIÓN Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN .....	74

9. COMUNICACIÓN, SENSIBILIZACIÓN, EDUCACIÓN Y FORMACIÓN.....	75
9.1. Comunicación.....	76
9.2. Sensibilización y educación.....	76
9.3. Formación. ....	78
10. ACTUACIONES DE COORDINACIÓN ENTRE DIFERENTES ADMINISTRACIONES PÚBLICAS. 78	
10.1. Justificación.....	78
10.2. Identificación de las Administraciones y organismos implicados .....	80
10.3. Requerimientos de la coordinación.....	80
11. SEGUIMIENTO DE LA EFICACIA DE LA APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA .....	81
12. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTES DE LA APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA .....	82
13. VIGENCIA Y REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA .....	83
14. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS .....	84

## RESUMEN

El alga asiática (*Rugulopteryx okamurae*) es una especie exótica incluida en el Catálogo español de especies exóticas invasoras. En cumplimiento del artículo 64.7 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, se ha impulsado la realización de una Estrategia nacional para luchar contra esta especie invasora, teniendo en cuenta la naturaleza e intensidad de los impactos ecológicos y socio económicos que produce sobre los bienes y servicios ecosistémicos del litoral español. Dicha Estrategia contiene directrices de gestión, control y posible erradicación.

La presente Estrategia está estructurada en trece apartados y anexos. Los seis primeros apartados se centran en describir la situación de la especie en España, incluyendo una descripción de la especie y sus requerimientos tanto en su área nativa como en la introducida, sus usos, distribución actual y predictiva, un análisis actualizado de los impactos ecológicos y económicos sobre el sector pesquero y la gestión de playas, y por último un análisis de las vías de introducción y dispersión.

En la Estrategia se pone además de manifiesto la importancia de la investigación y búsqueda de información, con el fin de ahondar en un mejor conocimiento de la especie que sirva para la mejora de la gestión de la especie. En este punto, además, se señala la necesidad del diseño de diferentes protocolos que ayuden a la toma de decisiones en las diferentes fases de gestión.

Debido a la diversidad de sectores afectados por los impactos socioeconómicos de la especie, y con el fin de contar con su participación en la gestión de esta, cobran especial importancia las actuaciones destinadas a la comunicación, sensibilización, educación y formación.

Los tres últimos apartados se destinan a la propuesta de actuaciones destinadas a mejorar la coordinación entre las diferentes administraciones públicas responsables en algún momento de la gestión de la especie, el seguimiento de la eficacia de la aplicación de la Estrategia y al análisis económico preliminar de su aplicación.

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Desde su detección en el año 2015 en las costas de Ceuta y posterior identificación taxonómica, la especie de alga parda *Rugulopteryx okamurae* ha mostrado un elevado carácter invasor en las costas españolas, produciendo importantes impactos económicos en el sector pesquero, así como impactos ecológicos, amenazando la biodiversidad de los fondos marinos españoles (Altamirano et al. 2016, 2017; Ocaña et al. 2017; García-Gómez et al. 2018). Tras la realización de su análisis de riesgos, la especie fue incluida a finales de 2020 en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, regulado por el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto.

Además, con fecha 13 de julio de 2022 se ha publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/1203 de la Comisión de 12 de julio de 2022, actualizando la Lista de especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión Europea, establecida a través del Reglamento (UE) 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras. Dicha actualización, entre otros, se refiere a la inclusión del alga parda en dicha Lista.

La distribución nativa de la especie se restringe a las costas de China, Corea, Japón, Taiwán y Filipinas, y hasta su aparición en las costas del estrecho de Gibraltar, sólo se conocía como introducida en las costas mediterráneas francesas, pero sin mostrar carácter invasor (Verlaque et al. 2009). Hoy en día la especie ya está también presente con carácter invasor en Marruecos (El Aamri et al. 2018), Francia (Ruitton et al. 2021), Portugal continental (Liulea 2021) e Islas Azores (Portugal) (Faria et al. 2022), amenazando buena parte de las costas del Mediterráneo, incluidas las españolas (Muñoz et al. 2019).

Se trata de una especie perenne que muestra un elevado esfuerzo reproductivo basado en la formación de propágulos vegetativos y monosporas asexuales. A pesar de que se han observado tetrasporas sexuales, no se puede confirmar que la especie sea capaz de completar su ciclo digenético isomórfico en las costas invadidas, pudiéndose estar propagando exclusivamente de forma clónica. Esta elevada capacidad de formación de nuevos individuos puede explicar la homogenización casi absoluta que produce de manera rápida en los fondos invadidos, compitiendo de manera efectiva con las comunidades nativas, como las de algas fotófilas, fondos de coralígenos o praderas de fanerógamas marinas (Altamirano et al. 2016, 2017). El impacto ambiental que está produciendo en los fondos marinos españoles no tiene precedente.

Desde el inicio de la invasión, la elevada capacidad de crecimiento vegetativo y de formación de nuevos individuos, está teniendo como consecuencia la aparición de grandes acúmulos de biomasa de la especie, que son desplazados por las corrientes o el oleaje, produciendo por un lado la presencia de frecuentes y abundantes arribazones en las playas, así como la captura accidental de los mismos por parte de los pescadores, que sufren importantes impactos económicos por disminución de capturas, daños en las artes de pesca e inversión de tiempo en la limpieza de los equipos infectados por el alga. Asimismo, la retirada de los arribazones supone un impacto económico a los ayuntamientos, así como al uso recreativo de sus playas.

Atendiendo a los impactos mencionados, y a la elevada favorabilidad ambiental de las costas españolas para la especie, se considera prioritario establecer una Estrategia nacional de gestión, control y posible erradicación para la misma.

## 2. OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA

En el contexto anteriormente descrito, y para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 64 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y en los artículos 15 y 16 del Real Decreto 630/2013 de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras, la presente Estrategia para la gestión, control o posible erradicación del alga invasora *R. okamurae*, se vertebra sobre los siguientes objetivos generales:

1. La prevención de nuevas introducciones y translocaciones.
2. La gestión y control de las poblaciones existentes.
3. La coordinación entre los diferentes agentes responsables de la gestión.
4. El seguimiento y evaluación de la aplicación de esta Estrategia.

Las medidas y actuaciones asociadas a estos cuatro objetivos deberían tener a corto y largo plazo, un efecto sobre los impactos negativos, tanto sobre los presentes, como los previstos en escenarios futuros de distribución de *R. okamurae*, y de manera indirecta, sobre otras especies invasoras marinas tanto en aguas españolas como de otros países.

El abordaje de estos componentes se propone alcanzar con las siguientes líneas de actuación prioritarias:

- Prevención de eventos de reintroducción y dispersión de la especie, que incluyan la gestión de vectores de dispersión y la protección y restauración de ecosistemas sensibles de elevado interés.
- Gestión, control de la expansión y, cuando sea posible, erradicación de poblaciones de *R. okamurae* en los lugares donde ya se encuentra presente en España.
- Gestión de arribazones y otros acúmulos de la especie.
- Investigación y búsqueda de información.
- Comunicación, sensibilización, educación y formación a los agentes gestores y la ciudadanía en general.
- Diseño de protocolos de coordinación entre las diferentes administraciones competentes en la gestión de la especie.
- Seguimiento y estimación protocolizada de los impactos que produce la especie, que incluyan el análisis económico de los costes de la aplicación de la Estrategia.
- Identificación de indicadores de éxito de la Estrategia y sus actuaciones, y planificación del seguimiento de su aplicación.
- Identificación de los instrumentos legales que deben desarrollarse para la aplicación efectiva de esta Estrategia.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE Y SUS REQUERIMIENTOS

#### 3.1. Taxonomía

*Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee & H.S. Kim 2009

Publicado en Hwang, I.K., Lee, W.J., Kim, H.S. 6 De Clerck, O. (2009). Taxonomic reappraisal of *Dilophus okamurae* (Dictyotales, Phaeophyta) from the western Pacific Ocean. *Phycologia* 48 (1): 1-12.

Clasificación (Guiry & Guiry, 2019):

Reino: Cromista

Phylum: Ochrophyta

Clase: Phaeophyceae

Subclase: Dictyotophycidae

Orden: Dictyotales

Familia: Dictyotaceae

Género: *Rugulopteryx*

Basionimo: *Dilophus okamurae* E.Y. Dawson 1950

Sinónimos:

*Dictyota marginata* Okamura 1913

*Dilophus marginatus* (Okamura) Okamura 1915

*Dictyota okamurae* (E.Y. Dawson) Hörning, Schnetter & Prud'homme 1992

*Rugulopteryx okamurae* es una especie de alga parda originaria de las costas asiáticas del Pacífico norte, que presenta un ciclo de vida digenético isomórfico, donde alternan una fase gametofítica y una esporofítica morfológicamente idénticas, caracterizadas por talos acintados con ramificación dicótoma que pueden alcanzar hasta los 30 cm de altura. Anatómicamente los talos presentan una capa cortical monostratificada y una medular que alterna partes monoestratificadas y pluriestratificadas. La reproducción tiene lugar por mecanismos sexuales (gametos y tetrasporas), asexuales (monosporas mitóticas) y vegetativos (formación de propágulos). Es una especie marina, presente desde cubetas eulitorales hasta profundidades mayores de 30 m.

#### 3.2. Morfología y anatomía vegetativa

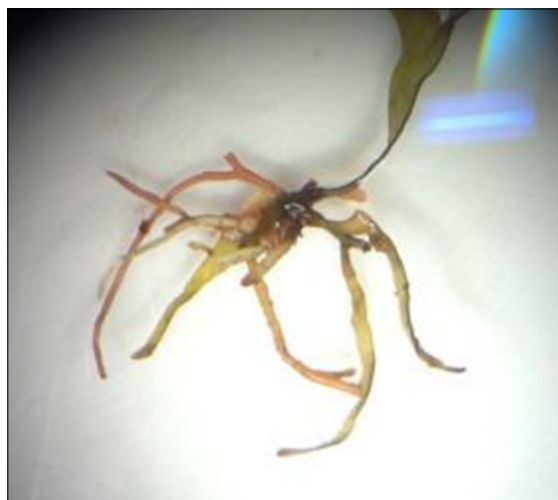
*Rugulopteryx okamurae* presenta talos con morfología y color típicos de la familia Dictyotaceae, es decir, talos planos, acintados y ramificados dicotómicamente, con tonalidades variables entre el verde oliváceo, el marrón y el ocre (Fig. 1).



**Figura 1.** Hábito vegetativo de *R. okamurae*. Foto: M. Altamirano.

Talos recogidos en 1994 de poblaciones nativas de Corea, fueron descritos con una altura de hasta 15 cm, una anchura distal del internudo por debajo del ápice de 5,7-6,3 mm, y proximal de 3,5-4,0 mm, y una relación longitud-anchura de los internudos variable entre 2,4 y 4,1 (Hwang et al. 2009). El sistema de fijación de los talos es mediante proliferaciones estoloníferas cilíndricas. Estos mismos autores describieron en su estudio dos patrones de ramificación distintos para el material salvaje recogido durante un año. Muestras recogidas a lo largo de la costa sur de Corea mostraron talos abundantemente ramificados con internudos de entre 14-16 mm de longitud. Por el contrario, talos recogidos en la costa este presentaron una ramificación menos abundante, con internudos más cortos, de 5-10 mm de longitud.

Material recogido de poblaciones introducidas de la especie en la laguna Thau (Francia) fue descrito como grupos espesos y enredados de talos de hasta 10 cm de diámetro, fijos al sustrato por medio de proliferaciones estoloníferas y de rizoides hialinos multicelulares uniseriados (Verlaque et al. 2009) (Fig. 2). Los talos fueron descritos con una ramificación de tipo flabelada, altura de hasta 5 cm, color marrón amarillento más oscuro en talos viejos, no iridiscentes, con ápices obtusos a ligeramente emarginados, y márgenes enteros.



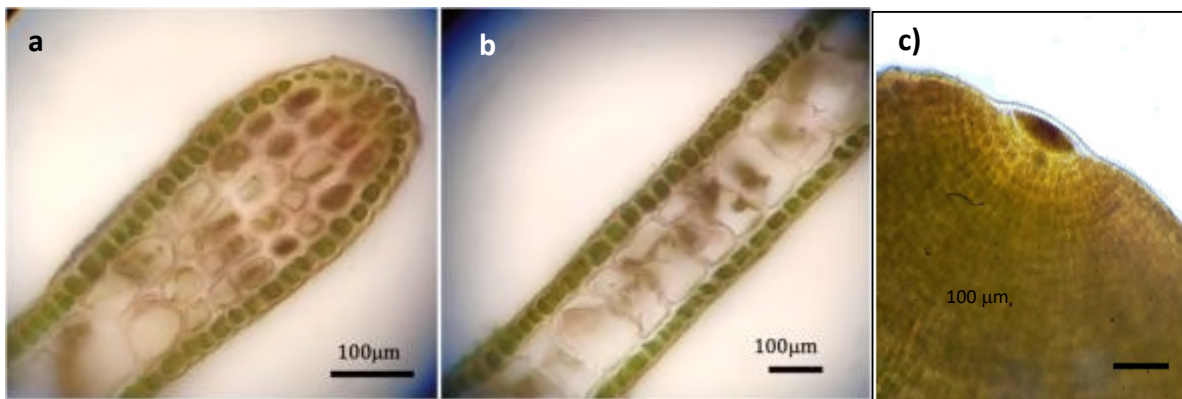
**Figura 2.** Sistema de fijación de *R. okamurae* por estolones. Foto: C. Pulido.



Talos recogidos de poblaciones introducidas en el Estrecho de Gibraltar entre enero y agosto de 2017, presentaron las siguientes características (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017): color pardo verdoso no iridiscente, fijación mediante rizoides y estolones, altura total del talo de 11-33 cm, y anchura de 18-36 cm, anchura del segundo internudo desde el ápice de 2-8 mm, longitud del internudo 3-24 mm, y relación longitud/anchura del internudo 1,5-5,0.

En corte transversal los talos de *R. okamurae* se caracterizan por presentar una capa de pequeñas células corticales monoestratificada, seguida de una capa de células medulares, que siendo monoestratificada en la parte central del talo, se vuelve pluriestromática en los márgenes, debido a divisiones transversales de las células más internas (Fig. 3a, b).

El crecimiento del talo es típico dentro de la familia Dictyotaceae, mediante una célula apical de crecimiento que se divide transversalmente para producir una célula subapical, que tras dos divisiones periclinales da como resultado un talo constituido por tres capas de células: una cortical, una medular y otra cortical (De Clerck et al. 2006) (Fig. 3c). En talos de poblaciones nativas de Corea, esta célula tiene forma lenticular saliente, y presenta unas dimensiones de 55  $\mu\text{m}$  de alto y 85  $\mu\text{m}$  de anchura (Hwang et al. 2009). En talos de poblaciones introducidas en el Estrecho de Gibraltar, esta célula presentó la misma morfología, con una longitud de 24-80  $\mu\text{m}$  y una anchura de 96-224  $\mu\text{m}$  (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017).



**Figura 3.** Estructura anatómica del talo de *R. okamurae*. a) Margen del talo con médula pluriestratificada. b) Parte central del talo con médula monoestratificada. c) Célula apical de crecimiento. Fotos a-b: M. Altamirano, fotoc: C. Pulido.

Las células corticales de talos de poblaciones nativas de *R. okamurae* de Corea, presentaron 38-41  $\mu\text{m}$  de longitud, 12-13,5  $\mu\text{m}$  de anchura y 17-18  $\mu\text{m}$  de altura (Hwang et al. 2009). En el caso de los talos de las poblaciones introducidas en el Estrecho de Gibraltar, estas células presentaron diferentes dimensiones dependiendo de su ubicación dentro del talo (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). Así, si bien la altura se presenta constante a lo largo de toda la capa cortical (16-40  $\mu\text{m}$ ), las células corticales de la zona central del eje del talo presentaron una anchura mayor (16-40  $\mu\text{m}$ ) que las células corticales del margen (16-24  $\mu\text{m}$ ) (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017).

La capa medular de *R. okamurae* puede ser mono o pluriestratificada dependiendo de la zona en relación con el eje de la planta y de la ubicación respecto a la célula apical. Así, en la parte basal del talo la médula es pluriestratificada en toda su extensión, incluso en la parte central del talo, observándose esto tanto en los talos de poblaciones nativas (Hwang et al. 2009) como en los talos de poblaciones introducidas en la laguna Thau en el sur de Francia, con 3-4 capas

de células (Verlaque et al. 2009) y en las poblaciones del Estrecho de Gibraltar, con hasta 8 capas de células medulares (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). En las zonas medias y altas de los talos la médula es monoestratificada en la parte central del eje y pluriestratificada en los márgenes. En talos de poblaciones nativas de Corea las células medulares en el segundo internudo por debajo del ápice en la zona central del eje presentaron unas dimensiones de 106-130  $\mu\text{m}$  de altura, 64-87  $\mu\text{m}$  de longitud y 53-58  $\mu\text{m}$  de anchura, y las células medulares de los márgenes de 108-113  $\mu\text{m}$  de altura, 23-25  $\mu\text{m}$  de longitud y 28-33  $\mu\text{m}$  de anchura (Hwang et al. 2009). En los talos procedentes de la laguna Thau, las células medulares centrales de la parte inferior del talo presentaron unas dimensiones de 20-60  $\mu\text{m}$  de altura y 20-60  $\mu\text{m}$  de anchura (Verlaque et al. 2009). Talos de poblaciones del Estrecho de Gibraltar presentaron células medulares centrales casi isodiamétricas, con dimensiones muy constantes que oscilaron entre 80-160  $\mu\text{m}$ , mayores que en los casos anteriores (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). En estos talos, las células medulares de los márgenes presentaron mayor variabilidad en sus dimensiones, que osciló entre los 16-112  $\mu\text{m}$  de altura y los 16-144  $\mu\text{m}$  de anchura, y que se disponían en 2-7 capas. La presencia de varias capas de células medulares en los márgenes supuso en estos talos un incremento en el grosor total del talo de hasta 1,5 veces, confiriéndole una mayor robustez.

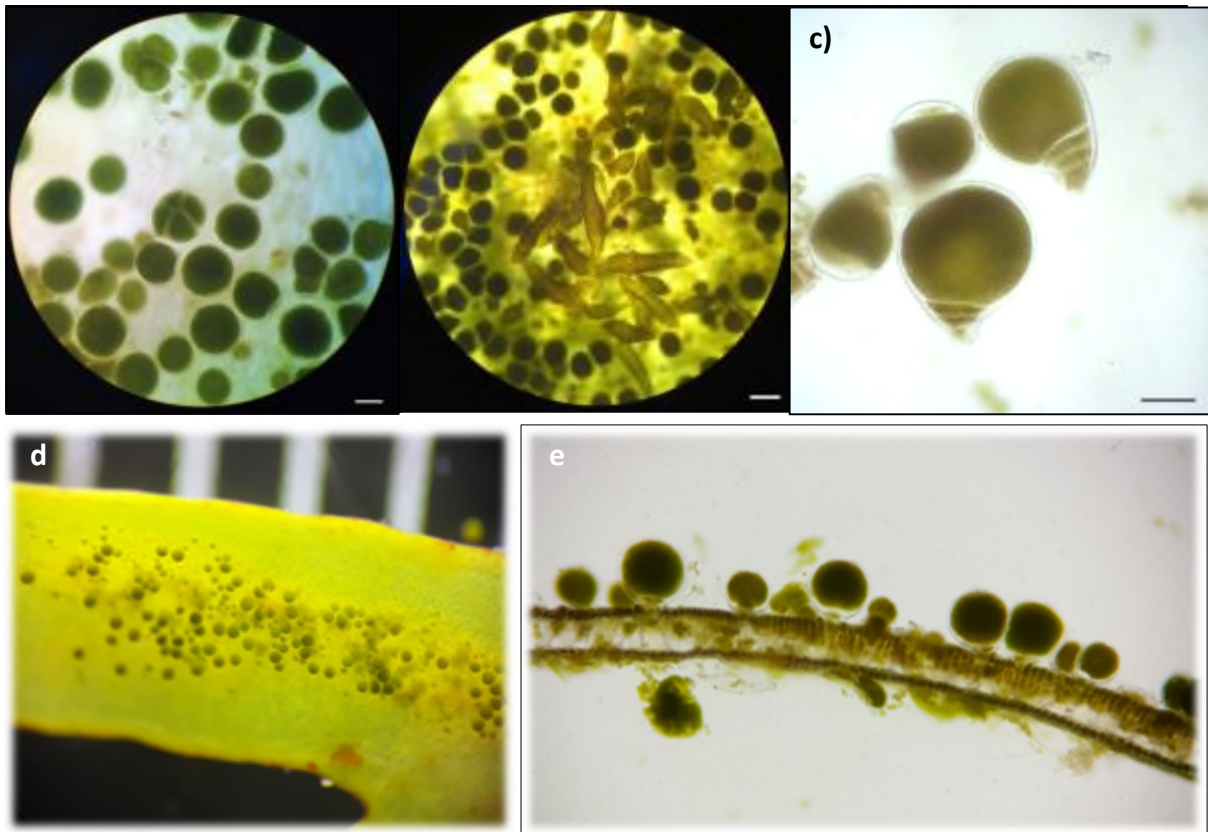
Sin embargo, este carácter de médula pluriestratificada en los márgenes, que ayuda a la distinción de *R. okamurae* de especies del género *Dictyota* parece depender de las condiciones ambientales asociadas a la temperatura en poblaciones nativas de la especie en Japón (Sun et al. 2006).

En un estudio realizado en Japón entre abril de 2003 y mayo de 2004 se observaron talos de *R. okamurae* que variaban en morfología y anatomía a lo largo del año, así como que presentaban diferentes estructuras reproductoras (Sun et al. 2006). Estos autores observaron la existencia de dos morfotipos básicos, un morfotipo grueso sin iridiscencia y con una médula pluriestratificada, compuesta por hasta 8 capas de células en los extremos del talo, con un grosor entre 120-180  $\mu\text{m}$ , y un morfotipo fino con iridiscencia y un aspecto más fino, justificado por la presencia de una médula siempre monoestratificada en las partes más altas del talo, y pluriestratificada en la parte basal del mismo, de grosor 100-120  $\mu\text{m}$ . La alternancia de estos dos morfotipos fino y grueso, así como de morfotipos intermedios, ha sido observado en poblaciones introducidas de *R. okamurae* en España (Salido & Altamirano 2021). Estas autoras identificaron la existencia de un morfotipo grueso, caracterizado por una capa medular compuesta por hasta 5 capas de células en el margen del talo, y por una sola célula en la parte central del corte, que presentaba un tamaño significativamente mayor que en el morfotipo fino, cuyo margen estaba compuesto por 2-3 capas de células. Esta alternancia de morfotipos, y la similitud de algunos de ellos con la morfología de especies nativas del género *Dictyota* y *Taonia*, suponen una dificultad para la correcta identificación de la especie.

Otro carácter vegetativo presente en los talos de *R. okamurae*, tanto en las poblaciones nativas (Hwang et al. 2009) como en las del Estrecho de Gibraltar (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017) es la presencia de agrupaciones o soros de pelos de feofíceas, que se forman a partir de células corticales, y que se distribuyen de manera irregular en ambas caras del talo, exceptuando los márgenes y el ápice. Estos grupos de filamentos tabicados se han observado también en *R. radicans* (De Clerck et al. 2006) y en el género *Dictyota* (De Clerck 2003). En vista superficial del talo se aprecian como parches de células isodiamétricas.

### 3.3. Ciclo de vida

*Rugulopteryx okamurae* presenta un ciclo de vida digenético isomórfico haplodiplofásico, donde alternan una generación gametofítica haploide con una esporofítica diploide. La generación esporofítica forma esporangios en ambas caras del talo, excepto en la parte apical y los márgenes del talo, bien de manera aislada o formando parches (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). En esta especie, los esporangios están pedicelados por dos células y carecen de involucro. Estos esporangios pueden llegar a dar monosporas asexuales diploides o dividirse meióticamente para dar tetrasporas sexuales haploides (Fig. 4).



**Figura 4.** Estructuras reproductoras de *R. okamurae*. a) Monosporas con tetrasporangio. Barra 100  $\mu\text{m}$ . b) Monosporas germinadas. Barra 200  $\mu\text{m}$ . c) Monosporas con pedicelo. Barra 100  $\mu\text{m}$ . d) Monosporas sobre el talo. e) Monosporas en corte transversal. Fotos a-c: C. Pulido; d-e: M. Altamirano.

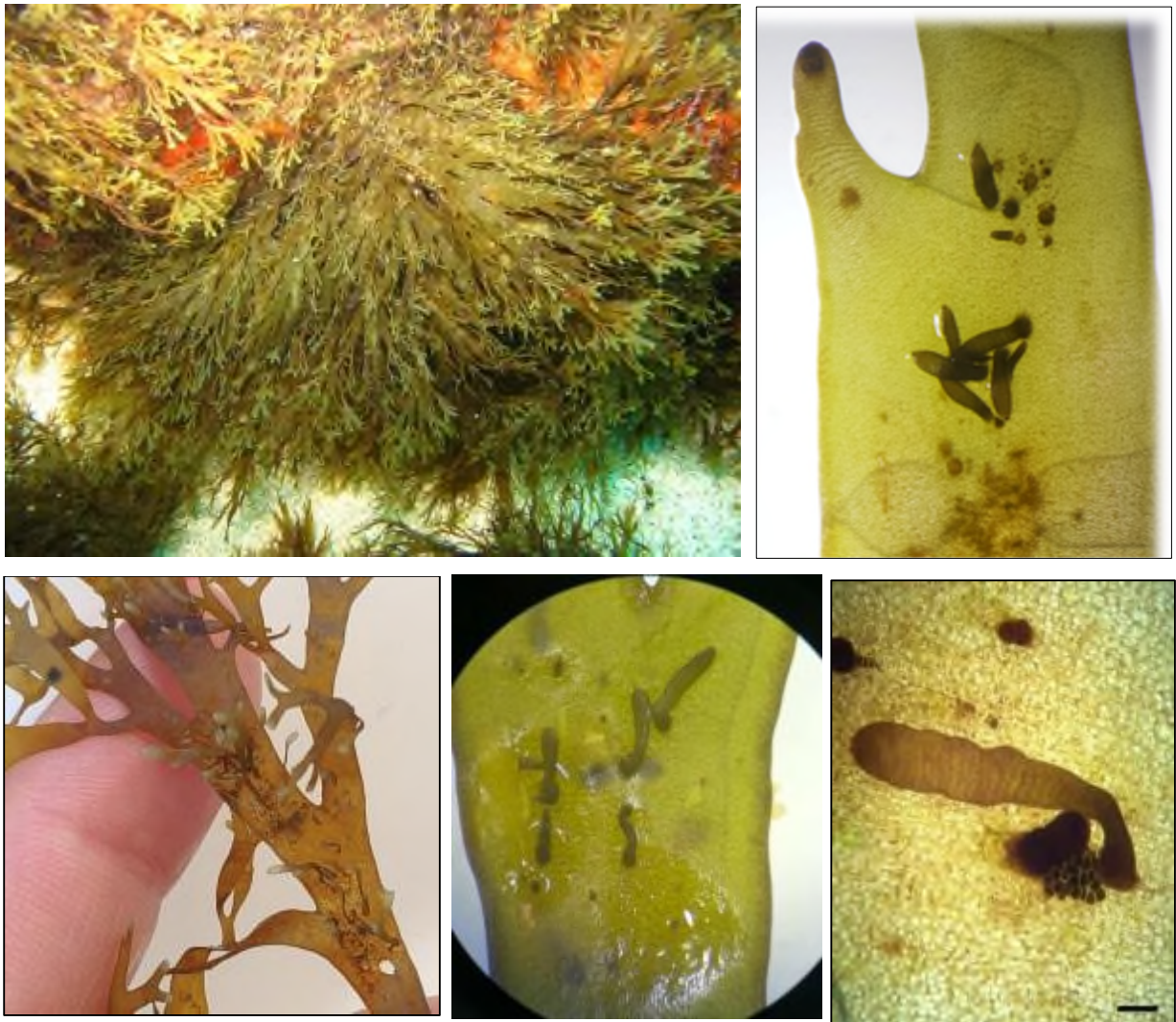
Las monosporas asexuales, con frecuencia, germinan directamente sobre el esporofito que las formó, mientras que las tetrasporas germinan una vez liberadas (Hwang et al. 2009; Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). Hwang et al. (2009) obtuvieron esporangios a partir de porciones apicales de esporofitos nativos después de cuatro semanas en cultivo a 20 °C, 50-70  $\mu\text{moles fotonos m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y un fotoperiodo de 14L:10D. Estos esporangios dieron lugar a monosporas asexuales y tetrasporas sexuales, que al germinar formaron individuos juveniles con rizoides después de una semana, formando la primera dicotomía después de dos o tres semanas. Además, estos mismos autores consiguieron obtener esporofitos y gametofitos a partir de, respectivamente, monosporas y tetrasporas aisladas a partir de talos salvajes

recogidos en campo. Las dimensiones de los esporangios en talos de poblaciones introducidas en el Estrecho de Gibraltar fueron de 136-344  $\mu\text{m}$  de altura (incluido el pedicelo) y 112-240  $\mu\text{m}$  de diámetro (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). Los tetrasporangios observados por Sun et al. (2006) sobre talos de morfología fina, presentaron unas dimensiones de 89,1 $\pm$ 9,6  $\mu\text{m}$  de diámetro en visión superficial; éstos tras dividirse tetraédricamente formaban cuatro tetrasporas esféricas de 63,6 $\pm$ 3,5  $\mu\text{m}$  de diámetro una vez liberadas. En el caso de los tetrasporangios formados sobre los talos más gruesos, éstos presentaban 130,9 $\pm$ 9,2  $\mu\text{m}$  de diámetro en visión superficial, y las esporas una vez liberadas 70,2 $\pm$ 13,2  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estos autores no mencionan la presencia de monosporas asexuales en los talos observados a lo largo de su estudio.

El gametofito de *R. okamuræ* es morfológicamente idéntico al esporofito, sólo distinguible cuando presenta gametangios en su superficie. Al tratarse de una especie dioica, gametangios masculinos y femeninos se forman en talos distintos, pero siempre agrupados en soros distribuidos de manera dispersa en ambas caras del talo (Agatsuma et al. 2005; Hwang et al. 2009). En talos de poblaciones nativas de Corea los soros de los gametofitos femeninos agrupaban entre 3 y 35 oogonios, cuyas dimensiones eran 63  $\mu\text{m}$  de altura y 26  $\mu\text{m}$  de anchura; los soros de los gametofitos masculinos contuvieron entre 30 y 100 anteridios, cuyas dimensiones fueron 70-80  $\mu\text{m}$  de altura y 18-23  $\mu\text{m}$  de anchura, y presentaban un pedicelo unicelular (Hwang et al. 2009). En las condiciones de cultivo anteriormente mencionadas, gametofitos producidos a partir de tetrasporas germinadas, desarrollaron gametangios después de nueve semanas. Las ovocélulas fecundadas dieron lugar a nuevos tetrasporofitos después de 10 semanas (Hwang et al. 2009).

Los gametofitos observados en poblaciones nativas de Japón (Sun et al. 2006), presentaron siempre talos con morfología fina. Los soros con oogonios presentaron entre 10-15 oogonios, cada uno sobre un pedicelo unicelular y de 53,3 $\pm$ 5,1  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las ovocélulas liberadas tenían 68,5 $\pm$ 1,1  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estos autores no aportan información sobre las dimensiones de los soros anteridiales, ni de los anteridios, si bien indican que éstos se encuentran rodeados por células estériles y que cada uno incluye entre 20-30 capas de loculi, cada locus con un único anterozoide de 5,1 $\pm$ 0,7  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Además de monosporas asexuales, tetrasporas sexuales y gametos, el ciclo de vida de *R. okamuræ* incluye un bucle de multiplicación vegetativa, consistente en la formación de propágulos vegetativos pluricelulares en ambas caras del talo, tanto de esporofitos como de gametofitos (Hwang et al. 2009; Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017) así como en partes dañadas por herbivorismo (Kajimura 1992) (Fig. 5). El origen de estos propágulos es la proliferación meristemática de células corticales y medulares (De Clerck 2003). En algunos casos, estos propágulos vegetativos pueden ser confundidos con monosporas germinadas directamente sobre el talo, distinguiéndose los primeros por un mayor tamaño. En ambos casos, los pequeños talos formados en gran número sobre los talos parentales pueden desprenderse y liberarse al medio (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). Estudios recientes han puesto de manifiesto que las poblaciones introducidas de *R. okamuræ* en España muestran la misma capacidad de proliferación vegetativa indicada por Kajimura (1992), condicionada por la ruptura del talo. En concreto, con la pérdida de la capacidad de crecimiento del talo por pérdida de las células apicales, los talos parecen reajustar sus recursos hacia un mayor esfuerzo reproductivo, que además se ve condicionado por la temperatura (Rosas-Guerrero et al. 2020).



**Figura 5.** Propágulos vegetativos sobre el talo de *R. okamurai*. Fotos: M. Altamirano y C. Pulido.

### 3.4. Fenología reproductiva y estrategias de reproducción

Si bien es posible completar el ciclo de *R. okamurai* en condiciones de cultivo en laboratorio (Hwang et al. 2019), la alternancia de generaciones en poblaciones naturales parece depender de condiciones ambientales todavía no bien entendidas (Sun et al. 2006). A esto hay que unir el hecho de que sólo es posible identificar gametofitos y esporofitos de manera correcta si presentan estructuras reproductoras características, es decir, gametangios o tetrasporangios, respectivamente, ya que ambas generaciones pueden formar monosporas y propágulos vegetativos.

La generación que se ha encontrado con mayor frecuencia en las poblaciones, tanto nativas como introducidas, es la esporofítica. La generación gametofítica sólo ha sido detectada en poblaciones nativas de las costas de Japón (Agatsuma et al. 2005; Sun et al. 2006). Así, en el estudio estacional de Agatsuma et al. (2005) se encontraron gametofitos masculinos y femeninos con gametangios solamente durante el mes de mayo de 1999, contabilizando éstos el 87,3% de la biomasa de la población en aquel momento del año. Esporofitos con

tetrasporangios se encontraron en los meses de julio y septiembre de 1998, en este último mes contabilizando el 90% de la biomasa de la población, pero no en los mismos meses del año siguiente. Desde octubre de 1998 a abril de 1999, estos autores afirmaban que los talos encontrados estaban inmaduros, sin mencionar la presencia o ausencia de monosporas y/o propágulos vegetativos. Estos autores asumieron que los talos inmaduros encontrados en el mes de noviembre de 1998 debían ser gametofitos, por proceder de las tetrasporas liberadas en septiembre del mismo año. De igual forma asumían que los talos inmaduros encontrados a partir del mes de junio de 1999 debían ser esporofitos originados a partir de la germinación de cigotos formados a partir del mes de mayo, que formarían tetrasporangios un año después de su germinación. Estas asunciones les llevaron a sugerir que el ciclo de vida de *R. okamurae* en esas costas necesitaba dos años para completarse, durante los cuales se alternaban las fases gametofíticas y esporofíticas de manera anual (Agatsuma et al. 2005). Estos autores no aportaron información sobre cambios estacionales de variables ambientales que pudieran estar relacionadas con los cambios en la fenología reproductiva de la especie, tales como la temperatura o el fotoperiodo.

También en las costas de Japón, Sun et al. (2006) observaron la presencia de esporofitos a lo largo de todo el año, pero gametofitos sólo durante el mes de marzo, estando las estructuras reproductoras asociadas a los tipos morfológicos antes descritos, fino y grueso, que dependían de la temperatura del agua de mar. Los gametangios, tanto anteridios como oogonios, siempre fueron observados sólo en los talos más finos y los tetrasporangios se observaron tanto en talo finos como en gruesos.

Ni en poblaciones nativas de Corea (Hwang et al. 2009) ni en las introducidas en Europa, se han identificado gametofitos en su medio natural (Verlaque et al. 2009; Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). Esta situación lleva a pensar diferentes posibilidades sobre la fenología vegetativa de *R. okamurae* en estas costas. En el caso de las costas de Corea, un estudio realizado durante el año 1994 reveló que, si bien la especie estaba presente en el medio natural durante todo el año, sólo se encontraron talos fértiles entre los meses de junio y septiembre. Las estructuras reproductoras encontradas fueron monosporas y propágulos vegetativos, lo que llevó a afirmar a estos autores que en esas costas las poblaciones de *R. okamurae* estaban constituidas exclusivamente por esporofitos diploides que se perpetuaban de manera asexual y vegetativa, sin llegar a producirse meiosis que diera lugar a tetrasporas. La explicación que estos autores dieron a este fenómeno fue que estas poblaciones estudiadas se encontraban en sus límites de distribución geográfica, con limitaciones térmicas que podrían estar inhibiendo los mecanismos sexuales de la especie, con óptimos por encima de los 15 °C, característicos de especies subtropicales (Hwang et al. 2009). A la misma conclusión llegaron anteriormente Sun et al. (2006) con poblaciones de Japón, sugiriendo que las poblaciones se mantenían de manera vegetativa a partir de esporofitos de talos gruesos durante las épocas del año con temperaturas superiores a los 20 °C. Aunque estas asunciones presentan un fundamento teórico fuerte, ya que la reproducción de las algas y su distribución geográfica está muy ligada a los rangos térmicos, precisan de una comprobación empírica, sobre todo a la luz de las asunciones de Agatsuma et al. (2005), sobre la alternancia anual de las generaciones gametofítica y esporofítica de *R. okamurae*.

En las poblaciones introducidas de la especie en el Estrecho de Gibraltar tampoco se han encontrado hasta el momento talos gametofíticos (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017). En un estudio sobre la fenología reproductiva de *R. okamurae* en las costas de Cádiz, llevado

a cabo entre los meses de enero y agosto de 2017, se observaron monosporas y propágulos vegetativos en talos recogidos en todos los meses de estudio, si bien su abundancia aumentó a partir del mes de mayo con un máximo en el mes de agosto. Además, durante los meses de abril y agosto algunos talos presentaron también tetrasporangios, pero menos abundantes y frecuentes que los monosporangios (Pulido 2017; Pulido & Altamirano 2017).

Estos resultados de estudios realizados con poblaciones de *R. okamurae* introducidas en el Estrecho de Gibraltar, sugieren varias hipótesis sobre las estrategias reproductivas de la especie en la zona que pueden estar asociadas a su carácter invasor y a su rápida proliferación y dispersión, si bien todas ellas deben ser contrastadas empíricamente. Las evidencias actuales señalan hacia mecanismos clónicos de reclutamiento de nuevos individuos en las poblaciones invasoras de *R. okamurae* en el Estrecho de Gibraltar, mediante la formación de monosporas asexuales y/o propágulos vegetativos, abundantes y frecuentes a lo largo del año. En este contexto, quedan por responder dos preguntas importantes en relación con el ciclo de vida de *R. okamurae* en las poblaciones invasoras del Estrecho de Gibraltar. La primera de ellas es la naturaleza de la generación que se perpetúa mediante estos mecanismos clónicos, es decir, si se trata de esporofitos diploides o gametofitos haploides. Recordemos que ambas generaciones son indistinguibles si no presentan sus estructuras de reproducción sexual, ya que ambas pueden formar monosporas y propágulos (Hwang et al. 2009). Sólo podemos tener la certeza de tener esporofitos diploides cuando se encuentran talos con tetrasporangios, aunque pueden tener monosporas y/o propágulos al mismo tiempo, caso que ocurrió durante los meses de abril, mayo y agosto de 2017. La segunda cuestión es en relación con la generación gametofítica. No se puede ni afirmar ni descartar la presencia de gametofitos en las poblaciones invasoras de *R. okamurae* en el Estrecho de Gibraltar. Por un lado, la presencia de tetrasporas podría permitir la formación de gametofitos, pero si no llegan a producir gametangios, por ejemplo, por limitaciones ambientales, no se podrán distinguir de los esporofitos. Por otro lado, podría estar ocurriendo que no se den en el Estrecho de Gibraltar las condiciones ambientales que permitan la germinación de las tetrasporas y/o el crecimiento de los gametofitos juveniles, y de ahí que todas las poblaciones invasoras estuvieran formadas por esporofitos clónicos. Otra posibilidad es que los gametangios se formen en algún momento del año no prospectado hasta el momento.

Ante las aparentes limitaciones de *R. okamurae* para completar su ciclo de vida en las poblaciones introducidas del Estrecho de Gibraltar, o la baja incidencia de estructuras reproductoras sexuales (gametangios y tetrasporangios), por razones desconocidas hasta el momento, se podría afirmar que la mayoría de los nuevos reclutas en las poblaciones de esta especie, proceden de monosporas asexuales y/o propágulos vegetativos. Si se tiene en cuenta que se han llegado a contabilizar por centímetro cuadrado de talo, más de 100 monosporas y más de 25 propágulos vegetativos (Altamirano et al. pers. obs.) y que a partir de cada uno de ellos se puede generar un nuevo individuo clónico, independientemente que el talo que los produzca esté fijado al sustrato o libre en la columna de agua, se puede entender el potencial invasor de un solo talo de *R. okamurae*, cuanto más, toneladas de material arrojado dispersándose libremente en las masas de agua de las costas españolas.

### 3.5. Ecología

En su hábitat nativo *R. okamurae* se desarrolla en fondos rocosos entre la zona eulitoral inferior y la infralitoral (Tseng 1984), con poblaciones someras entre 0-7 m de profundidad (Agatsuma et al. 2005; Sun et al. 2006), llegando incluso hasta los 15 m (Hwang et al. 2009) y 35 m (Kajimura 1992). En las poblaciones introducidas su rango batimétrico oscila desde cubetas de la zona eulitoral a profundidades mayores de 50 m en las poblaciones de las costas españolas del Estrecho de Gibraltar (Verlaque et al. 2009; El-Aamri et al. 2018; (García-Gómez et al. 2020; Sempere-Valverde et al. 2019), obs. pers.), mientras que en las costas de Marsella se ha detectado su presencia recientemente hasta los 25 m (Ruitton et al. 2021).

Es una especie aparentemente perenne, aunque no se conoce bien la alternancia de sus generaciones gametofítica y esporofítica en el medio natural, como ya se ha explicado anteriormente. Hay indicios de que su fenología, tanto vegetativa como reproductiva, puede estar ligada a cambios estacionales en la temperatura (Kajimura 1992; Agatsuma et al. 2005; Sun et al. 2006, Hwang et al. 2009). En este sentido, el seguimiento anual de poblaciones del estrecho de Gibraltar sugiere que las altas temperaturas favorecen la reproducción y proliferación vegetativa de la especie invasora (Gómez-Zaldúa et al. 2021), con mayor presencia de individuos fértiles, así como de propágulos y monosporas en el período estival (Salido & Altamirano 2021). De hecho, el crecimiento exponencial de *R. okamurae* en la costa norte del Estrecho de Gibraltar en 2017 ya se intuía influenciado por los picos en la temperatura superficial del mar (SST) registrados en esa zona y sus áreas cercanas en el período de 2000 – 2017, donde resalta el pico de temperatura alcanzado en julio de 2015 con la temperatura máxima de 23,9°C (García-Gómez et al., 2020)

La cobertura que presenta depende del tipo de sustrato y de la profundidad. Sobre fondo rocoso, en las poblaciones introducidas en el estrecho de Gibraltar, la cobertura puede alcanzar valores entre el 70-90% hasta los 20-30 m de profundidad, disminuyendo a partir de esa profundidad (García-Gómez et al. 2018, 2021; Sempere-Valverde et al. 2019; obs. pers.). También se han observado ejemplares de *R. okamurae* asentados sobre fondo blando, fijados sobre pequeñas rocas o bivalvos enterrados, pero con una ocupación más reducida del espacio (obs. pers.). Además, esta especie es capaz de colonizar una amplia variedad de sustratos artificiales, con coberturas entre el 31-60% en cerámica, neumáticos, redes y cuerdas abandonadas, y en menor medida (1-30%) sobre cemento, vidrio, plástico y superficies metálicas (García-Gómez et al. 2021). La colonización sobre este tipo de materiales artificiales, especialmente sobre plásticos, es un aspecto a tener en cuenta por su papel como posibles vectores de dispersión de la especie (García-Gómez et al., 2021c).

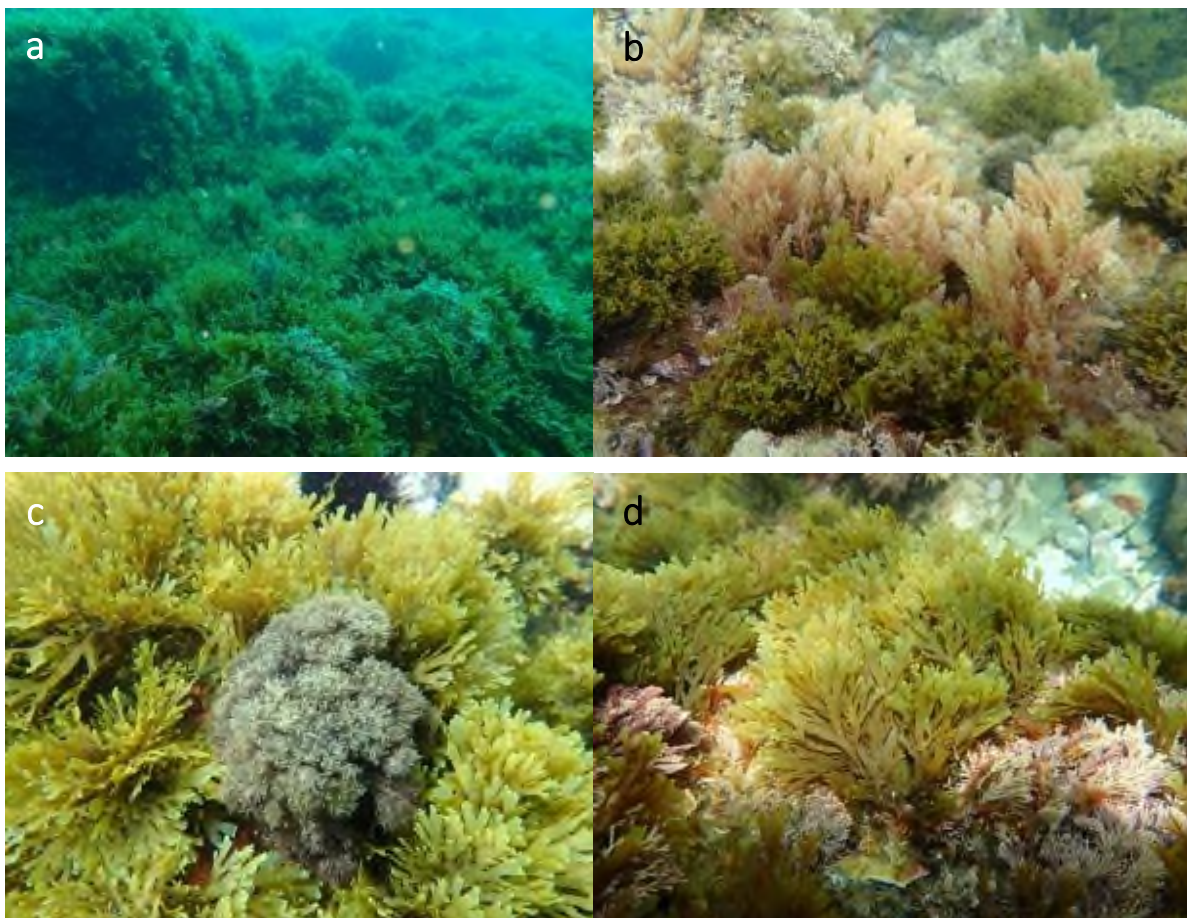
En su hábitat natural, donde está presente todo el año, *R. okamurae* tiene un máximo de crecimiento en primavera-verano (Jung et al. 2020). En la zona invadida del estrecho de Gibraltar, la especie presenta un comportamiento euritérico (García-Gómez et al. 2018) y eurihalino (Mercado et al. 2022). En este sentido, Rosas-Guerrero et al. (2020) señalan que la capacidad fotosintética de la especie está activa en el rango térmico anual de la región invadida, si bien las condiciones de bajas temperatura e irradiancia, propias de los meses fríos, favorecen la propagación de la especie y su actividad fotosintética. Por otra parte, las elevadas tasas de incorporación de nitrógeno (Mercado et al. 2022), así como las de crecimiento y fotosíntesis con el aumento de nutrientes en el agua de mar (Merchán et al. 2021), también podrían explicar la proliferación masiva de la especie invasora en la zona del estrecho de



Gibraltar. De hecho, el estudio de Rosas-Guerrero et al. (2022), resalta la importancia del efecto sinérgico de la temperatura y los nutrientes en la estacionalidad de estas poblaciones.

*Rugulopteryx okamurae*, en su área nativa de Japón, es una especie frecuente en las comunidades del quepo *Eisenia bicylis* (Sano et al. 2001). En las costas de Corea, aunque frecuente, *R. okamurae* no es una especie abundante en las comunidades donde se encuentra, compartiendo hábitat con especies como *Ulva pertusa*, *Chondria crassicaulis*, *Corallina spp.*, *Melobesioidean algae*, *Gelidium divaricatum*, *Ralfsia verrucosa*, *Sargassum thunbergii* y *Chondracanthus intermedia* (Yoo 2003), o *Cladophora sakaii*, *Codium adhaerens*, *Dictyota dichotoma*, *Pterocladia capillacea* y *Acrosorium yendoi* (Choi et al. 2010).

En las poblaciones introducidas del estrecho de Gibraltar, *R. okamurae* produce la homogeneización de la comunidad, que queda compuesta por unas pocas especies, principalmente otras macroalgas invasoras como *Asparagopsis armata*, *Asparagopsis taxiformis* y *Caulerpa cylindracea*. Las comunidades receptoras, en los estadios iniciales de la invasión pueden ser fondos de fucas constituidos por especies de los géneros *Carpodesmia*, *Ericaria* o *Sargassum*, así como fondos fotófilos con dominancia de especies de algas coralináceas, otras especies de dictiotales o especies del género *Halopteris* (obs. pers, García-Gómez et al. 2021) (Fig. 6).



**Figura 6.** Hábitat de *R. okamurae*. a) Fondo homogeneizado por *R. okamurae*. b) Con *A. taxiformis*. c) *C. H. scoparia*. d) Con algas coralináceas. Fotos: M. Altamirano.

En relación a la comunidad de fauna de invertebrados asociada a *R. okamurae*, un estudio estacional realizado sobre una comunidad nativa de las costas de Japón reflejó una diversidad elevada, compuesta principalmente por gasterópodos (31 especies), bivalvos (4 especies) y una especie de quitón (Agatsuma et al. 2005), a pesar de la presencia de sustancias antiherbivoría en esta alga. La biomasa y abundancia de las especies de invertebrados mostraron diferencias estacionales, observándose mayores densidades en los meses de verano (Agatsuma et al. 2005). Entre el 74,8- 91,2% de la densidad total de individuos de la comunidad estaba representada por seis especies dominantes de gasterópodos, con patrones diferentes de correlación de su biomasa y densidad con la de *R. okamurae*. Así la biomasa y densidad de *Lirularia iridescens*, *Homalopoma sangrarense* y *Conotalopia minima* presentaron una correlación positiva con la biomasa del alga, pero solo la densidad de *Cantharidus callichroa* correlacionó positivamente con la misma. Las densidades y biomasa de otras dos especies de gasterópodos dominantes, *Barleeia angustata* y *B. trifasciata*, no presentaron correlaciones significativas con las variables del alga (Agatsuma et al. 2005). Además, se han encontrado otros grupos de invertebrados asociados a las poblaciones de *R. okamurae* en su área nativa, como anélidos, abalones y erizos (Omori et al. 2000).

Un estudio reciente sobre la fauna de invertebrados asociada a poblaciones invasoras de *R. okamurae* en Ceuta, ha arrojado una cifra de 96 taxa diferentes, distribuidos principalmente entre los phyla *Arthropoda*, *Annelida* (poliquetos) y *Mollusca*, que mostraron además abundancias elevadas (Navarro-Barranco et al. 2019). La mayoría de las especies encontradas eran detritívoras o filtradoras, y no dependían del alga para su nutrición, tal y como ya se observó en la fauna asociada a *R. okamurae* en su área nativa (Agatsuma et al. 2005). Esto está relacionado con la presencia de terpenos, que actúan como repelentes de la herbivoría. En fondos coralígenos de la costa ceutí, Navarro-Barranco et al (2021) observaron una estructura similar de la comunidad de la epifauna de *R. okamurae*, con predominancia del phylum *Arthropoda* y mayor presencia del molusco herbívoro *Rissoella cf. opalina*. Esta epifauna está formada por especies generalistas con una distribución más homogénea en comparación con la que existe sobre gorgonias, esponjas y otras macroalgas nativas de dicho hábitat coralígeno.

Otros animales que se han observado en las poblaciones introducidas de *R. okamurae* en el estrecho de Gibraltar son pulpos (*Octopus vulgaris*), sepias (*Sepia officinalis*), crustáceos y equinodermos vágiles (*Galathea strigosa*, *Palaemon sp.*, *Periclimenes sp.* o *Sphaerechinus granularis*), así como algunos escorpénidos (*Scorpaena scrofa*), blénidos (*Tripterygion tripteronotum*, *Parablennius gattorugine* y *P. rouxi*), congrios (*Conger conger*), morenas (*Muraena helena*) y lábridos (*Labrus bergylta*, *Symphodus roissali*, *Coris julis*), sin que parezcan verse afectados por la presencia de la especie exótica (García-Gómez et al. 2018; obs. pers.).

### 3.6. Usos

La familia taxonómica a la que pertenece *R. okamurae*, llamada Dictyotaceae, presenta una diversidad considerable de metabolitos secundarios. Son la segunda fuente más rica (en cantidad y diversidad) de terpenos de origen algal, después del género de algas rojas *Laurencia* (Rhodophyta). Más de 300 diterpenoides han sido descritos para la familia, distribuidos en seis géneros, entre los que se encuentra el género *Rugulopteryx*.

Específicamente, en *R. okamurae* se han descrito diterpenos del tipo espatano y hasta cinco sescoespatanos (Yamase et al. 1999). También fueron encontrados los llamados dictyoterpenoides A y B (Suzuki et al. 2002) y, más recientemente, se han descrito altas concentraciones (de dos a tres veces más que el resto de los compuestos terpenoides) de un terpeno exclusivo de esta especie, el dilkamural (Casal-Porras et al. 2021), como también hasta a 10 tipos de terpenos, llamados rugukadiol, rugukamural y ruguloptones (Cuevas et al., 2021).

Los compuestos extraídos de *R. okamurae* han demostrado tener una variedad de actividad biológicas que los hacen muy interesantes como diana para su explotación por la industria. Por un lado, se ha demostrado que sus compuestos poseen actividad inhibidora de la  $\alpha$ -glucosidasa, enzima que regula procesos de síntesis y cantidad de glicoproteínas y glicolípidos (Jeong et al. 2021). Estos dos últimos están involucrados en enfermedades como diabetes, ciertas formas de hiperlipoproteinemia y la obesidad. Por lo tanto, inhibidores de la glucosidasa pueden ser útiles para el tratamiento de este tipo de enfermedades (Van de Laar et al. 2005; Casirola & Ferraris 2006). Sin embargo, los inhibidores que se usan actualmente, de origen sintético, a menudo causan severos efectos negativos, por lo que las macroalgas se han vuelto buenas candidatas como fuente de materiales antidiabéticos naturales (Kim et al. 2008).

Otras actividades biológicas de los terpenoides hallados en *R. okamurae* son la inhibición de la depredación por moluscos herbívoros, actividad antifúngica, antibiótica, insecticida, antiviral, e inhibidor de la metamorfosis de las larvas de abalones a una concentración de 5–10 ppb (Yamase et al. 1999; Suzuki et al. 2002; Fusetani 2004; De Paula et al. 2011). Otro uso potencial de los terpenos deriva de su capacidad anti-incrustante, por lo que son buenos candidatos – menos tóxicos- para ser incluidos como componente en las pinturas utilizadas para el recubrimiento de los barcos. El terpeno dilkamurai ha demostrado ser eficaz como disuasivo predatorio e incluso letal para erizos de las especies *Paracentrotus lividus*.

En el área de medicina se ha probado la capacidad antiinflamatoria de sus terpenos, que parece afectar no solo a mediadores del proceso inflamatorio en sí, sino a la expresión génica de aquellos genes involucrados en el proceso inflamatorio (Cuevas et al. 2021). Incluso se demostró su alta eficacia contra cánceres como la leucemia (Harada & Kamei 1997).

En cuanto a sus usos, *R. okamurae* no se considera comestible en Asia, de donde es originaria. En la zona del estrecho de Gibraltar, que sufre arribazones frecuentes y abundantes, ya existen varias propuestas para su uso: como compost y fertilizante en zonas verdes (Ayuntamiento de Algeciras, 2017; El faro de Ceuta, 2022; Patón et al. (2022)), como ingrediente de una salsa picante (Agencia EFE, 2021), con usos cosméticos (empresa Tarifa Mar de Algas, 2022), como material para bioconstrucción, o para la fabricación de plantillas de zapatos (Eldaplant), este último uso con el visto bueno de la Delegación Territorial de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible en Cádiz. Sin embargo, cabe destacar que todos estos usos aún están en fase piloto y no se tiene registro de que estén siendo actualmente explotados a nivel comercial.

Estudios biotecnológicos han propuesto la co-digestión anaeróbica de la biomasa de *R. okamurae* con residuos sólidos de almazara de aceite de oliva para biodegradar la biomasa de ambos sustratos, con la consecuente producción de metano. Este gas tiene un alto poder calorífico, y puede ser aprovechado energéticamente por combustión en motores, turbinas o

calderas, ya sea solo o mezclado con otros combustibles. Se han obtenido resultados prometedores de 30.4 mL de metano por gramo de sólidos volátiles al día, usando una parte del alga con 1.5 partes del residuo de almazara (de la Lama-Calvente et al. 2021). Otros, han propuesto su uso en el desarrollo de materiales plásticos de base biológica (bioplásticos) como una posible solución a la contaminación producida por la industria del plástico. Se ha descrito que al mezclar el alga con glicerol en una proporción de 70/30 (alga/glicerol) presenta gran viscoelasticidad y propiedad de tracción, propiedades deseadas en elementos usados como envoltorios (Santana et al. 2022).

#### 4. DISTRIBUCIÓN NATIVA, INVADIDA Y ÁREAS SUSCEPTIBLES DE SER INVADIDAS

La distribución natural de *Rugulopteryx okamurae* abarca las costas de Japón (Yoshida et al. 1990), Corea (Lee & Kang 1986), China (Tseng 1984), Taiwan (Huang et al. 2000) y Filipinas (Silva et al. 1987), y su localidad tipo está en Enoshima, Prefectura de Kanagawa, en la isla japonesa de Honshu. Aunque en Japón está ampliamente distribuida, salvo en las zonas más frías del norte y oeste de Hokkaido, en Corea parece estar ausente en la costa occidental (Fig. 7). Aunque se dispone de registros en México, como *Dilophus okamurai*, y en el Golfo de California (Dawson 1950, Norris 2010), en ambos trabajos se señala que las identificaciones requieren de información adicional para poder ser confirmadas.



**Figura 7.** Distribución nativa de *R. okamurae*.

Atendiendo al área de distribución introducida, se tiene constancia de su presencia en la laguna Thau, en la costa mediterránea francesa cercana a Montpellier, desde el año 2002 (Verlaque et al. 2009), donde no ha mostrado un carácter invasor. Con respecto a las costas

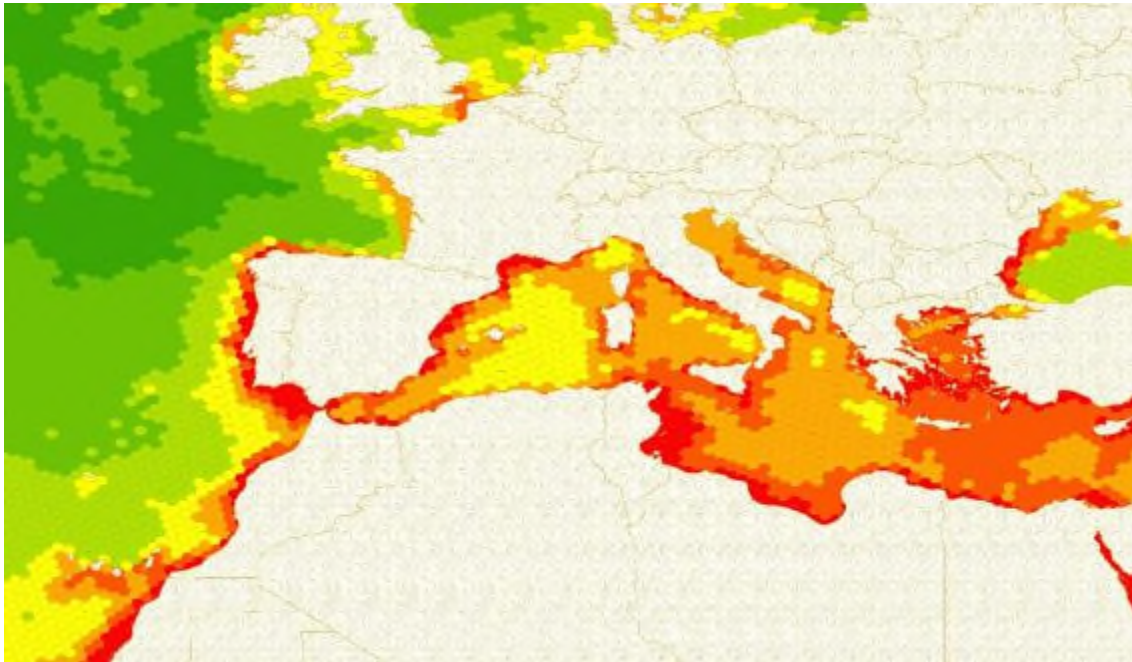
españolas, se la identifica por primera vez en el estrecho de Gibraltar en 2016 (Altamirano et al. 2016), concretamente en las playas de la ciudad de Ceuta. A partir de ese momento comienza a aumentar su área de distribución y aparece en las costas de Tarifa, en primer lugar (Altamirano et al. 2017), desde donde se extiende hacia el este, hasta las costas de Mijas (provincia de Málaga), y hacia el oeste, hasta Sancti Petri (provincia de Cádiz), extremos del área de distribución de la especie, fijada en sustrato, en octubre de 2019. Es necesario indicar que Ocaña et al. (2016) citan durante el otoño de 2015 la proliferación masiva de una especie de alga dictiotal (*Phaeophyceae*, *Ochrophyta*) en el estrecho de Gibraltar que, aunque en un principio no se identificó como *R. okamuræ*, se trataba muy probablemente de esta especie.

Con posterioridad a las primeras referencias en la costa africana, en Ceuta, se confirma su presencia en otros puntos de la costa marroquí, también a levante (localidad de M'diq) y poniente (bahía de Tánger) de la localidad del primer registro (El Aamri et al. 2018). En 2019 se confirma su presencia en las islas Chafarinas y también se detecta la aparición de arribazones en playas del litoral atlántico del entorno de Asilah. También durante este año la especie amplía el área de distribución hacia el este, con registros de diversas fuentes, en las costas de Adra (Almería), procedente de material de arrastre a una profundidad aproximada de 200 m, y hacia el oeste, donde aparece asentada en Sancti Petri (Cádiz) y como arribazones masivos en las playas de Punta Umbría (Huelva), si bien esta última cita se refiere a la UMA sin que se haya podido confirmar por la Junta de Andalucía.

En estos últimos años, principalmente como material arrojado, se detecta en el litoral comprendido entre Málaga y Punta Entinas, aunque en determinados enclaves, aparece también fijo al sustrato (como la zona limítrofe de las provincias de Granada y Málaga). Los registros recientes, en Faro (Portugal), y los detectados en San José (Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, Almería) y Águilas (Murcia), sitúan a la especie ocupando en la actualidad prácticamente todo el sur peninsular. Es de esperar que en las costas del norte de África su distribución sea mayor de la reflejada, pero la ausencia de información no permite detallar más. Además, se ha confirmado su presencia, con comportamiento invasor, en las islas Azores, donde ocupa gran parte del sur de la isla de Sao Miguel.

Partiendo de la distribución actualizada de la especie en las costas peninsulares y del norte del litoral marroquí, tanto mediterráneo como atlántico, se han elaborado modelos de distribución para poder identificar zonas favorables para la especie donde aún no está presente. Este tipo de modelos, que en última instancia estiman los requerimientos ecológicos de las especies mediante la asociación de sus distribuciones geográficas con un conjunto de variables predictoras, son una herramienta de gran valor con vistas a predecir el proceso de invasión. A fecha de hoy podemos decir que el modelo elaborado en 2019, para el análisis de riesgos de *R. okamuræ* se ha cumplido ya que todas las zonas de nueva ocupación fueron identificadas como muy favorables para la especie, con valores superiores a 0,9. Los modelos realizados se han basado en la Función de la Favorabilidad (Acevedo & Real 2012) y en este caso se ha usado como unidad de estudio un hexágono de 0.5 x 0.5 grados. Las variables se han obtenido de la plataforma Bio-ORACLE. Muestra de ello son los resultados obtenidos por García-Gómez et al. 2021b y CAGPyDS, 2020, que coinciden para el intervalo batimétrico entre 0 y 20 metros, donde *R. okamuræ* ocupa entre un 80 – 100% del espacio prospectado. Así, los resultados obtenidos de dichos modelos invocan la necesidad de promover acciones preventivas ante la presencia de posibles factores de dispersión.

Los modelos de distribución están desarrollándose en la actualidad, pero en los primeros resultados se puede ver como la práctica totalidad de las costas peninsulares, a excepción del Cantábrico central y oriental, son zonas muy apropiadas para la especie (Fig. 9).



**Figura 8.** Modelo de favorabilidad ambiental para *R. okamurae* en el Mediterráneo, costas de Europa occidental y norte de África, partiendo de la distribución introducida de la especie. Se muestran en colores cálidos las zonas que presentan condiciones favorables para acoger a la especie (la mayor favorabilidad la muestra el color rojo) y en verde las zonas más desfavorables.

Aquellas zonas que presentan una elevada favorabilidad para la especie y que, además, son contiguas a lugares donde el alga ya está presente, deben considerarse como especialmente sensibles y expuestas a la invasión. Las recientes presencias de *R.okamurae* confirmadas en el Cabo de Gata y litoral de Murcia, aunque por el momento se trate de material arrojado, hace pensar en una posible aparición como material fijado en un futuro cercano. El seguimiento y monitorización de estas zonas podrían servir para predecir la posible ampliación de su área de distribución hacia el litoral de la Comunidad Valenciana y, probablemente, también al Balear. Esto permitiría implementar medidas de prevención en aquellas zonas de elevado interés para la conservación, antes de que la especie llegue, así como informar a los sectores implicados. También es de destacar la idoneidad de las costas del archipiélago canario para la especie, las cuales forman un continuo de zonas favorables con el litoral Atlántico marroquí y las zonas actualmente invadidas, en el sector más septentrional.

De manera general, podemos afirmar que las costas españolas presentan las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de la especie, aunque es preciso seguir de cerca las poblaciones de asentamiento reciente para poder confirmar, o no, el comportamiento invasor de la especie. Esta información permitiría poder ajustar más los modelos, cuyo desarrollo debe ir a la par que la actualización del área ocupada por la especie.

## 5. IMPACTOS Y ANÁLISIS DE RIESGOS

### 5.1. Impactos ecológicos

*Rugulopteryx okamurae* ha mostrado un desarrollo muy explosivo colonizando la mayoría de los sustratos duros del lecho marino en aquellas áreas donde la especie está presente. Además de los impactos relacionados con el sector turístico y pesquero, la expansión de *R. okamurae* está provocando un importante impacto ambiental sobre las comunidades bentónicas nativas, reflejado de forma inmediata en una importantísima pérdida de biodiversidad como primera y más evidente consecuencia (ver resultados obtenidos por García-Gómez et al. (2020b) en hábitats del pre-coralígeno), y a largo plazo en un cambio en la estructura y composición de especies, como se ha visto en otras invasiones por macroalgas en el Mediterráneo (Piazzi & Balata 2009; Zanolla et al. 2018c). Adicionalmente, la acumulación y descomposición de la gran biomasa generada por esta especie tanto en el intermareal y playas como en el lecho marino podría estar causando impactos indirectos sobre los ecosistemas costeros.

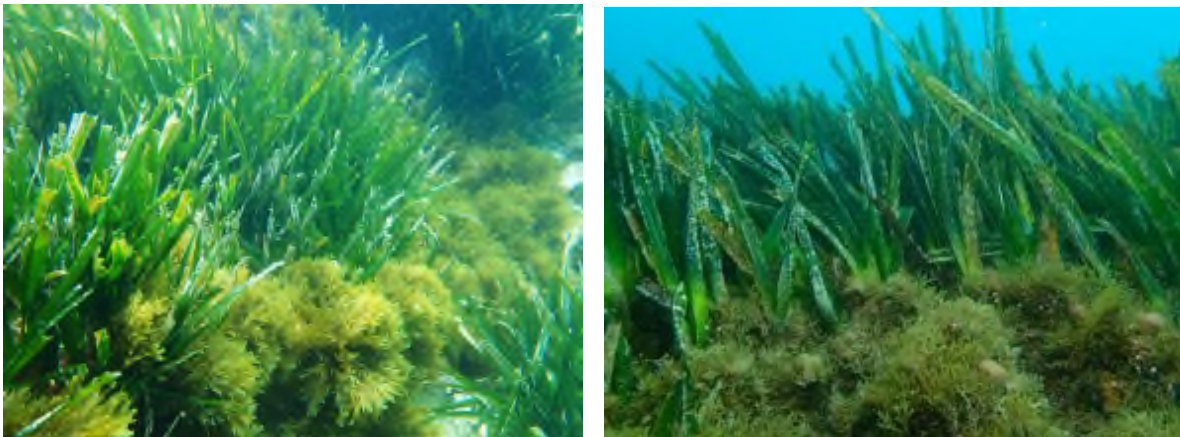
*Rugulopteryx okamurae* exhibe una capacidad competitiva y de colonización extraordinaria con un incremento de biomasa desmesurado, sin precedentes y nada comparable respecto a invasiones anteriores acaecidas en el litoral español por otras macroalgas como *Asparagopsis taxiformis* (Altamirano et al. 2008; Zanolla et al. 2018a, b, c), *Lophocladia lallemandii* (Patzner 1998; Cabanelles et al. 2010; Deudero et al. 2010), la denominada “alga asesina” *Caulerpa taxifolia* (Verlaque et al. 2015), o la más reciente de *C. cylindracea* considerada en su momento como la más seria en la historia de las especies de macroalgas invasoras en el Mediterráneo (Klein & Verlaque 2008).

En relación con los espacios naturales afectados hay que hacer notar que este episodio está afectando a espacios muy relevantes y de gran valor ecológico incluidos en la Red Natura 2000 como son la ZEC Parque Natural del Estrecho (ES0000337), la ZEC Fondos Marinos de la Bahía de Estepona (ES6170036), la ZEC El Saladillo-Punta de Baños (ES6170037), (ES6110019) Arrecifes de Roquetas de Mar, (ES6110009), Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar, y la ZEC de Calahonda (ES6170030) en la costa andaluza, y la para la costa africana española la ZEC Zona marítimo-terrestre del Monte Hacho (ES6310002) e (ES6300001) Islas Chafarinas.

Aunque los impactos ocasionados por *R. okamurae* sobre las comunidades nativas no se han cuantificado hasta el momento, y los efectos ecológicos de esta especie quedan aún por determinar, sí se ha podido observar el importante impacto que el desarrollo y expansión de esta especie está provocando, hecho que ya ha sido puesto de manifiesto (Altamirano et al. 2017; Ocaña et al. 2017; El Aamari et al. 2018; García-Gómez et al. 2018; CAGPYDS 2018, 2019). En la actualidad la administración ambiental regional de Andalucía está llevando a cabo trabajos para la caracterización y evaluación de la invasión en el Parque Natural del Estrecho, el área más afectada de la costa del litoral de Andalucía. Las observaciones llevadas a cabo muestran una colonización de la mayoría de los sustratos duros, un amplio rango batimétrico en el que se desarrolla *R. okamurae* y una gran variación de la cobertura con la profundidad. Entre la superficie y 20 m de profundidad hay un recubrimiento prácticamente completo de los sustratos duros por parte *R. okamurae*, con coberturas que pueden llegar a ser del 90-100%. Hacia cotas más profundas la cobertura disminuye, pero se mantiene en niveles altos, en torno al 30-40%. En cotas de profundidad en torno a los 50 m también se ha observado la

presencia de la especie, si bien en estos ambientes y otros de carácter esciáfilo someros, como pueden ser grietas, extraplomos y oquedades, la presencia de la especie es menos abundante.

Debido a la altísima proliferación de esta especie, el paisaje bentónico está siendo profundamente transformado afectando a todas las biocenosis y comunidades marinas, muchas de las cuales constituyen hábitats de interés comunitario. En el área de la ZEC del Estrecho se han detectado impactos sobre los bosques de laminariales, afectando significativamente a las especies más representativas de estas formaciones como son *Laminaria ochroleuca* y *Saccorhiza polyschides*. También se han visto afectados bosquetes de *Gongolaria usneoides* y de otras especies del género, incluidas en la Lista de especies amenazadas y en peligro del Protocolo sobre zonas especialmente protegidas y la diversidad biológica en el Mediterráneo (BOE 23 abril 2014), y en un grado muy elevado las comunidades de algas fotófilas. Debido a la falta de sustrato disponible como consecuencia de la ocupación realizada por parte de *R. okamurae*, las comunidades de macroalgas son las primeras afectadas tornándose significativamente más pobres, con una muy escasa representación de la flora nativa (*Ellisolandia elongata*, *Sphaerococcus coronopifolius*, *Halopteris spp.*, y algunas especies de dictiotales), junto con otras invasoras como *Asparagopsis taxiformis*, *A. armata* y *C. cylindracea*. En el litoral ceutí, las praderas de macroalgas fotófilas se han visto muy afectadas por el desarrollo de *R. okamurae* provocando una gran disminución en relación con su biodiversidad. Otras especies incluidas en el Protocolo anteriormente citado, como *Lithophyllum byssoides* o *Gymnogongrus crenulatus*, también se están viendo afectadas por la presencia de *R. okamurae*. Desde la realización del análisis de riesgo de la especie, en el año 2019, la especie ha empezado a invadir también de manera muy agresiva, praderas de fanerógamas marinas de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* en las costas de Málaga, Granada y Almería (Fig. 10). *Rugulopteryx okamurae* coloniza ampliamente todos los rizomas de estas plantas ocupando tanto los espacios interiores de la pradera como los bordes.



**Figura 9.** Praderas de *P. oceanica* invadidas por *R. okamurae*. Fotos: M: Altamirano.

Observaciones llevadas a cabo en mayo de 2018 mostraron que *R. okamurae* presentaba valores de cobertura en torno al 70% y que *S. coronopifolius* y *A. armata* fueron las únicas especies que mostraron un desarrollo más aparente.

Respecto a la fauna, numerosos invertebrados, especialmente los de vida sésil, se están viendo afectados por el desarrollo de *R. okamurae*. Sobre las especies animales que habitan zonas iluminadas, además de una evidente y manifiesta pérdida de biodiversidad respecto de



las especies nativas presentes en zonas no invadidas, *R. okamurae* coloniza tubos de poliquetos tubícolas, superficies blandas de holoturias y caparazones de crustáceos. Se han descrito afecciones sobre ascidias, esponjas y destaca el desplazamiento espacial de especies de erizos como *Pracentrotus lividus* o *Arbacia lixula* (García-Gómez et al. 2021b). También las comunidades de coralígeno se han visto afectadas por el desarrollo de *R. okamurae* (Ocaña et al. 2017, García-Gómez et al. 2018; CAGPYDS 2018). Están siendo especialmente afectadas, diversos tipos de gorgonias como *Leptogorgia sarmentosa*, *Eunicella* spp y *Paramuricea clavata*, en las que el alga se adhiere y las recubre casi completamente. Así mismo, y como también han señalado García-Gómez et al. (2018) o El Aamri et al. (2018) también se pueden estar viendo afectadas especies de interés como la bocina *Charonia lampas*, el coral estrellado *Astroides calycularis*, el coral rojo *Corallium rubrum*, o incluso a nivel intermareal especies como *Patella ferruginea* (Fig. 11). Las dos primeras especies están incluidas en los Catálogos Nacional y Andaluz de Especies Amenazadas en la categoría de “vulnerable” y la última en la categoría de en “peligro de extinción”.



**Figura 10.** *Rugulopteryx okamurae* sobre fondos de coralígeno con *Eunicella singularis*. Desarrollo de *R. okamurae* sobre *Astroides calycularis*. Fotos: J. De la Rosa

En un estudio reciente centrado en la comparación de las epifaunas de invertebrados asociadas a *R. okamurae* y su homóloga morfológica nativa, *Dictyota dichotoma*, reveló diferencias importantes en cuanto a la diversidad y abundancia de estas (Navarro-Barranco et al. 2019). A pesar de la gran similitud morfológica entre ambas especies de algas, albergaron diferentes comunidades de epifauna. La especie nativa presentó un menor número de especies, abundancia de individuos y valores de diversidad que la especie invasora. Las especies comunes presentaron mayores abundancias sobre la especie invasora que sobre la nativa, pero en niveles taxonómicos superiores la respuesta fluctuó entre las dos especies de alga. Las diferencias no solo fueron cuantitativas, sino que también se reflejaban en la identidad de las diferentes especies presentes en las comunidades de la epifauna de la especie nativa y la invasora. Es decir, que, con niveles de diversidad similares, la composición de especies varió, desconociéndose las consecuencias evolutivas en cascada que este cambio puede tener a nivel ecológico.

Otras comunidades que pueden verse afectadas son las presentes en ambientes esciáfilos. En Ceuta se ha observado que restos de la especie en la columna de agua se acumulan en cuevas y oquedades, pudiendo su descomposición alterar estas frágiles comunidades.

*Rugulopteryx okamurae* genera además una importantísima biomasa la cual en parte sale en forma de material arrojado a las playas mientras que otra queda en el lecho marino más profundo. Ambos tipos de acúmulos conlleva afecciones de diferente naturaleza que hasta la fecha no se han podido evaluar pero que sin duda deben de ser importantes. Se ha observado una gran cantidad de material tanto depositado en el fondo, ocupando plataformas con poca pendiente, u ocupando claros de arena, cuyo espesor ha llegado a los 45-50 cm de altura. Además de este material depositado también se observa gran cantidad de material a la deriva en la columna de agua el cual puede trasladarse decenas de kilómetros y provocar la colonización de nuevas áreas mediado por las corrientes marinas o vectores locales. La deposición en las playas, además de los problemas de uso de la playa y de salubridad debido a la descomposición del material arrojado las comunidades intermareales pueden verse afectadas debido al enterramiento por parte de este material.

## 5.2. Impactos económicos

Los impactos económicos que produce *R. okamurae*, están ligados principalmente al sector pesquero y a la gestión de la retirada de arribazones en las playas por parte de los ayuntamientos, si bien otros sectores también pueden verse afectados, como por ejemplo el de las actividades recreativas de buceo.

Para el análisis de riesgo de la especie realizado en el año 2019, se realizó una estimación de la cuantificación de su impacto económico sobre el sector pesquero y para la gestión de los arribazones en la costa andaluza, que arrojó una cifra de 1,2 millones de euros para un periodo de nueve meses, considerándose una cifra infraestimada por limitaciones del estudio. A continuación, se describen estos impactos.

### 5.2.1. Impactos económicos sobre el sector pesquero

Para la realización del análisis de riesgos de la especie en el año 2019, se llevó a cabo una estimación del impacto económico de *R. okamurae* sobre el sector pesquero, con ayuda de la Subdelegación del Gobierno en Málaga y de la Federación Andaluza de Cofradías de Pescadores (FACOPE), para que actuara como interlocutora entre las asociaciones de pescadores de toda Andalucía y el equipo de trabajo.

Para la recogida de la información se diseñó un formulario que se trasladó a la FACOPE, con el fin de que ésta lo difundiera entre las cofradías de pescadores, solicitando la participación voluntaria de aquellas afectadas por la invasión de *R. okamurae* en aquel momento. Con el fin de homogeneizar la información, se acotó temporalmente ese estudio de enero a septiembre de 2019, en el que participaron por cofradías y asociaciones de pescadores de las provincias de Málaga, Cádiz y Huelva. Los resultados mostraron que en total trece especies, dependiendo de la cofradía, vieron reducidas sus capturas en relación con el mismo periodo de 2018, siendo éstas langostino, acedía, róbalo, lenguado, choco, pulpo, centolla, jurel, salmonete de roca, salmonete de fango, besugo, jibia y merluza. Estas disminuciones oscilaron entre el 20 y el 48%, dependiendo de la especie y la cofradía, con una similar disminución de los ingresos por las capturas de estas especies. La disminución de ingresos total asociada a estas disminuciones

en capturas, estimada a partir de la información facilitada por las cofradías colaboradoras, ascendió para el periodo estudiado entonces, a más de ochocientos mil euros, valor que se consideró subestimado por la falta de datos de cofradías afectadas que no participaron en el estudio, y porque en muchos casos, los pescadores al no poder pescar en sus zonas habituales debido a la presencia del alga invasora, optaron por ir a otros caladeros aún no afectados, más alejados de su zona habitual de pesca, enmascarando así el efecto de *R. okamurae* en sus caladeros habituales. Además, este importe solo reflejó las diferencias observadas para el año 2019, cuando algunas cofradías manifestaron impactos por la especie desde el año 2015 y 2016, por lo que el impacto acumulado sería mayor.

Las modalidades de pesca afectadas por *R. okamurae* fueron artes menores, palangre de fondo, trasmalleros y cerco, donde a las disminuciones en las capturas hay que sumar los daños a las artes, como deterioros de redes por sobrecarga debido a la gran biomasa del alga (Fig. 12). Estos impactos económicos no se estimaron, como tampoco los asociados a las tareas de limpieza de las redes, en forma de jornales. Las profundidades máximas hasta donde estas artes se vieron afectadas fueron hasta los 200-400 m.



**Figura 11.** Artes de pesca afectadas por *Rugulopteryx okamurae*. Fotos: FACOPE y F. Fernández.

### 5.2.2. Impactos económicos por la retirada de arribazones

Para la realización del análisis de riesgos de la especie en el año 2019, se llevó a cabo una estimación del impacto económico asociado a la gestión de los arribazones de *R. okamurae* en las playas de los municipios donde se encuentran (Fig. 13). Para ello se contactó con los responsables de la gestión de playas de todos los Ayuntamientos afectados de las provincias de Málaga, Cádiz y Ceuta, para solicitarles de manera justificada la colaboración en la recopilación de la información necesaria. Para recabar dicha información, se diseñó un formulario que recogía tanto información cualitativa como cuantitativa sobre la gestión de

arribazones. Con el fin de homogeneizar la información, se acotó temporalmente el estudio a los impactos producidos de enero a septiembre de 2019.

Los costes asociados a la gestión de los arribazones de *R. okamurae* se destinaron principalmente a la retirada de la biomasa acumulada en las playas. El coste total de todas las actuaciones llevadas a cabo por los cinco ayuntamientos participantes en el análisis fue de cuatrocientos mil euros, habiendo retirado un total de más de diez mil toneladas de arribazones del alga durante el periodo indicado.

En la mayoría de los casos, la retirada de los arribazones se llevó a cabo con maquinaria pesada como retroexcavadoras, y en contados casos de manera manual por operarios del ayuntamiento (Fig. 13). En Ceuta la retirada se realizó solo de manera manual. El destino final de la biomasa retirada fue en todos los casos el vertedero municipal, salvo en un caso que se llevó a la planta de reciclaje de escombros y restos de poda. Hasta su destino final, la biomasa fue acumulada de manera temporal en cubas o parcelas municipales.



**Figura 12.** Arribazones de *R. okamurae* y trabajos de su retirada. Fotos: M. Altamirano y A.R. Muñoz.

### 5.3. Análisis de riesgos

El análisis de riesgos realizado en 2019, siguiendo la metodología indicada por el MITECO, determinó que el nivel de riesgo del potencial invasor de la macroalga exótica *R. okamurae* es ALTO.

La justificación de la puntuación alcanzada se basa en los siguientes argumentos, fruto de las respuestas a las cuestiones planteadas en la evaluación.

1. Existe historial invasor de la especie, pues desde el año 2015 se vienen registrando arribazones masivos de *R. okamurae* en el estrecho de Gibraltar, y desde esta fecha la especie ha aumentado su distribución de manera rápida con importantes impactos ecológicos y económicos.
2. Las zonas de distribución nativa de *R. okamurae* presentan condiciones ambientales similares a las presentes en el territorio español.
3. Se desconoce si existen vías de entrada intencionales.
4. Existen vías de entrada no intencionales, potencialmente asociadas a las aguas de lastre y los cultivos marinos, sin descartarse otras.
5. Los hábitats marinos españoles son adecuados para permitir el establecimiento de *R. okamurae*, como se constata por la presencia de la especie fijada a lo largo del litoral andaluz, y, como revelan los modelos de distribución, en otras zonas de litoral español, principalmente en su vertiente Mediterránea. Dichos modelos elaborados para el análisis de riesgos ponen de manifiesto que hay otras zonas en el planeta con potencialidad para acoger a la especie, además de su área nativa. Entre estas destacan el Mar Mediterráneo en su conjunto, incluidas las costas españolas y el archipiélago balear, y la costa atlántica de Andalucía, las cuales presentan valores de favorabilidad muy altos.
6. *Rugulopteryx okamurae* podría afectar de forma negativa a los objetivos de conservación de una región, como ya lo está haciendo en Andalucía. Se ha detectado un importante grado de afección sobre diferentes comunidades marinas entre las que destacan las biocenosis de macroalgas fotófilas, los bosques de *Gongolaria usneoides* y otras especies de *Ericaria* y *Gongolaria*, las formaciones de grandes quelpos (*Saccorhiza polyschides* y *Laminaria ochroleuca*), las praderas de *P. oceanica*, estas últimas consideradas hábitats de interés prioritario de conservación, y las comunidades de coralígeno con gorgonias y grandes briozoos. Así mismo se han detectado afecciones sobre el coral estrellado *Astroides calycularis*, especie incluida en el Catálogo Nacional y Andaluz de Especies Amenazadas en la categoría de vulnerable. Además, la especie se encuentra presente en varios espacios protegidos de la Red Natural 2000.
7. *Rugulopteryx okamurae* está produciendo un impacto económico alto, con importantes pérdidas económicas directas e indirectas en el área que ocupa como invasora en el estrecho de Gibraltar. Los costes se vinculan principalmente al sector pesquero y a los ayuntamientos, estos últimos asociados a la gestión de los arribazones masivos en las playas.
8. No existen evidencias sobre riesgos para la salud humana, y/o para la sanidad animal o vegetal debido a parásitos o patógenos de *R. okamurae*. No obstante, se recomienda el estudio de las sustancias liberadas al medio por la biomasa en descomposición.
9. Se desconocen métodos de control efectivos para *R. okamurae* que se puedan aplicar en el estado actual de la invasión.
10. Se desconoce si existen factores sociales que puedan dificultar el control de *R. okamurae*.

## 6. VÍAS DE INTRODUCCIÓN Y DISPERSIÓN.

La detección de *R. okamurae* en el Mediterráneo se remonta al año 2002, en la laguna Thau en Francia, donde su introducción se asocia a importaciones de ostras (*Crassostrea gigas*) llevadas a cabo posteriormente a 1977, probablemente en 1994, desde Corea (Verlaque et al. 2009). Debido al éxito comercial del cultivo de ostras, la laguna de Thau actúa como donante de poblaciones de ostras para su cultivo en muchas partes del Mediterráneo y Atlántico (Mineur et al. 2007; Verlaque et al. 2007), y por lo tanto ésta podría ser una potencial vía de entrada y dispersión no intencional o accidental de macroalgas invasoras como *R. okamurae* en el Mediterráneo. En el Mar de Alborán, si bien no es considerada como una actividad comercial importante, varias empresas se dedican al cultivo de ostras (Robles 2010), por lo que la presencia de *R. okamurae* puede estar asociada con este vector de introducción.

Junto con las actividades de acuicultura marina, aquellas asociadas al transporte marítimo son los principales vectores de introducción de especies exóticas en el medio marino, siendo los más importantes el fouling y las aguas de lastre (Ruíz et al. 1997; Ribera 2003). Ambas vías podrían justificar la introducción primaria de *R. okamurae* en el estrecho de Gibraltar desde sus áreas nativas en el Pacífico, teniendo en cuenta el intenso tráfico marítimo que soporta la región.

La mayoría de las especies de macroalgas son capaces de adherirse a los cascos de los barcos (Schaffelke et al. 2006; Hewitt et al. 2007). En la revisión hecha por Ribera (2003) se dieron 39 especies de macroalgas exóticas que habían sido introducidas en nuevas regiones, mediante este tipo de transporte. El reclutamiento puede darse mediante talos macroscópicos, como es el caso de esporofitos juveniles del alga parda invasora *Undaria pinnatifida* (Hay 1990); pero principalmente, son estadios microscópicos del ciclo de vida los que viajan adheridos a los cascos (Lewis et al. 2004), como fue el caso de gametofitos de *U. pinnatifida* (Wotton et al. 2004) y otras especies de algas pardas como *Phloiocaulon* o *Punctaria* (Coutts 1999). Aunque no existen evidencias de que *R. okamurae* haya llegado a las costas del Mediterráneo occidental adherida a cascos de barcos, se ha observado que la especie es capaz de adherirse a superficies de muy diversa naturaleza y composición, como cristal, hierro, caucho o cerámica (García-Gómez et al. 2018, 2021). Sin embargo, las condiciones cambiantes asociadas a este tipo de transporte adherido, sobre todo las relativas a la temperatura y la salinidad, unidas al efecto del rozamiento producido por la velocidad de travesía y el oleaje, y la presencia de sustancias antifouling, hacen que el transporte por este vector sea una dura prueba para aquellas especies que lo empleen para introducirse en nuevas regiones geográficas (Hewitt et al. 2007).

El otro posible vector para introducciones de *R. okamurae* son las aguas de lastre. Este vector ha sido el responsable de la introducción de muchas especies exóticas marinas (Ruíz et al. 1997; Gollasch et al. 2000), entre ellas macroalgas (Carlton & Geller 1993; David Smith et al. 1999; Gollasch et al. 2002; David et al. 2007). Hasta 15 especies diferentes se identificaron a partir de muestras de aguas de lastre de 12 embarcaciones que realizaban rutas a través del Mediterráneo, con diferentes orígenes, tanto de dentro del mismo Mediterráneo como de otras aguas (Flagella et al. 2007). La importancia de este vector en relación al transporte de propágulos de macroalgas aún no está bien determinada, pero se sabe que las condiciones durante el transporte en las aguas de lastre pueden inducir la formación de esporas y propágulos (Kolwalkar et al. 2007), y que estadios microscópicos de macroalgas pueden soportar largos periodos de oscuridad y posteriormente desarrollarse cuando las condiciones

mejoran (Leukart & Lüning 1994; Worm et al. 2001; Santelices et al. 2002; Carney & Edwards 2006). Teniendo en cuenta la elevada capacidad de *R. okamurae* para producir propágulos vegetativos y monosporas asexuales, se sospecha que las aguas de lastre pueden ser un importante vector de introducción de la especie, especialmente en el estrecho de Gibraltar, atendiendo a la presencia de dos grandes puertos comerciales en la región, el de Algeciras y el de Tánger Med en Marruecos. De hecho, Rosas-Guerrero et al. (2018) observaron que talos adultos de la especie presentaban tasas de supervivencia entre el 80-100% después de ser cultivados en condiciones de oscuridad durante tres semanas, dependiendo de la temperatura durante el cultivo, y que estos talos incluso aumentaban su biomasa durante este tiempo. Es más, estos talos después del periodo de oscuridad mantenían las mismas tasas de supervivencia cuando pasaban a condiciones de iluminación, que simulaban la fase de liberación tras el transporte en oscuridad. Debido a la presencia de dos grandes puertos comerciales en la región, el de Algeciras y el de Tánger Med en Marruecos, la dispersión por aguas de lastre puede ser un importante vector de introducción, pero también de dispersión a zonas cercanas, como sería el caso de las algas verdes formadoras de proliferaciones masivas (conocidas también como “blooms”) *Ulva ohnoi* y *Ulva pertusa* (Zanolla et al. 2019).

Además de estos potenciales vectores de introducción primaria de *R. okamurae*, hay que sumar otros potenciales vectores responsables de la dispersión de la especie y de introducciones secundarias. Por un lado, hay que considerar el papel que pueden tener las corrientes marinas, tanto en superficie como en profundidad, que pueden estar transportando desde talos sueltos, hasta grandes acúmulos de biomasa, en toda la columna de agua. Eventos climáticos pueden resuspender estos acúmulos que aparecen posteriormente como arribazones en el litoral. Por otro lado, existen potenciales vectores ligados a la actividad antropogénica que pueden facilitar de manera involuntaria la dispersión de la especie. Este es el caso de las actividades pesqueras. Son ya numerosos los casos en los que pescadores informan de la captura de grandes volúmenes de biomasa de *R. okamurae* durante el ejercicio de la pesca, en algunos casos, estas capturas accidentales llegan a comprometer la seguridad de la embarcación, y con ello la de la tripulación, por lo que se ven forzados a abandonar el arte con la biomasa del alga que contiene. En otros casos no tan dramáticos, los talos atrapados son devueltos al mar durante las labores de limpieza de los equipos afectados, facilitando esta acción la dispersión de talos, así como la devolución de talos que estaban a grandes profundidades (hasta 500m) a la zona fótica. Además, las embarcaciones que hayan estado en contacto con alguno de estos acúmulos o que hayan, por ejemplo, echado el ancla en una zona invadida, pueden transportar propágulos durante sus travesías e introducirlos en nuevas zonas aún no invadidas. En general, cualquier actividad desarrollada en una zona invadida por *R. okamurae* es susceptible de favorecer la dispersión de la especie de manera accidental (por ejemplo, actividades de buceo o fondeo).

Considerando todo lo anterior y aplicando el Plan de Acción sobre las vías de introducción y propagación de las especies exóticas invasoras en España (2021), para *R. okamurae* se han identificado las siguientes vías de entrada/dispersión entre las propuestas en el citado documento:

#3. Vías acuáticas: Mares/cuencas/vías navegables interconectadas.

#7. Dispersión no asistida: Dispersión natural transfronteriza de especies exóticas invasoras que han sido introducidas por las otras vías.

#8. Escape de una zona de confinamiento: Acuicultura/maricultura.

#10. Transporte-polizón: Maquinaria/equipos.

#11. Transporte-polizón: Aguas de lastre de buque/barco.

#12. Transporte-polizón: Polizones en un buque/barco (con exclusión del agua de lastre y la incrustación en cascos de buques).

## 7. MEDIDAS DE ACTUACIÓN

### 7.1. Actuaciones de prevención.

La frase de Benjamín Franklin, una onza de prevención vale una libra de cura, resume la importancia de anticiparse a las especies exóticas invasoras como la medida más eficiente en coste-beneficio para minimizar su impacto, tanto a corto como a largo plazo. Ser proactivo es más eficiente que ser reactivo frente a éstas. Las actuaciones diseñadas para abordar la prevención de nuevas introducciones y la dispersión de *R. okamurae* en su área introducida, deberían ser prioritarias en la presente estrategia, para frenar el impacto acumulativo de la especie con el tiempo, así como para cumplir con las disposiciones legales que regulan la gestión de las especies exóticas invasoras

Las actuaciones de prevención deben centrarse en:

- Identificación y gestión de fuentes y vectores de introducción y dispersión. Ninguna acción de gestión y control de poblaciones de *R. okamurae* será efectiva mientras no exista previamente un control de los vectores que puedan transportarla, tanto para la llegada de nuevos efectivos, como para la translocación de los propios a nuevas zonas. Es por ello una necesidad urgente la identificación de los vectores de introducción de *R. okamurae* desde su área nativa de distribución, pues no se debe pensar que la especie ha parado su presión de propágulos desde estas áreas nativas, mientras no se controle los vectores de introducción primaria. En este sentido, es muy importante el cumplimiento del Convenio Internacional para el control y la gestión de las aguas de lastre y los sedimentos de los buques en todos los puertos españoles. También es importante la vigilancia de los cultivos marinos, que han sido vectores de introducción de múltiples especies alóctonas marinas, como se hipotetiza para la introducción de *R. okamurae* en la costa francesa (Verlaque et al. 2009). La identificación de los vectores de dispersión a escala local, que permitan la ampliación del área de distribución de la especie en muchos casos en sinergia con vectores naturales como las corrientes marinas, es una parte fundamental para frenar el avance de la especie por la geografía española, así como ejercer un control sobre las poblaciones existentes de manera indirecta. Estos vectores de dispersión son todos aquellos que puedan tener contacto con la especie o estar cercanos, y que de manera accidental puedan transportarlos. Este es el caso de las embarcaciones y los equipos de pesca, o de los equipos de buceo, por ejemplo. Como se describe más adelante en esta estrategia, la gestión de los vectores puede incluir cuarentenas y control de movimiento de estos. Más adelante en este punto se detallarán las medidas específicas y transversales para la gestión de las vías de introducción y dispersión.



- Diseño e implementación de una red alerta temprana, especialmente en las zonas más susceptibles de ser invadidas, que por un lado permita la detección temprana de la especie en nuevos puntos de distribución, y a la vez establezca herramientas que permitan una rápida y eficiente coordinación para una adecuada intervención rápida, que minimice el impacto de la especie. Esta red de alerta temprana tendría que estar en coordinación con una respuesta de emergencia, de la cual se hablará también más adelante. Un ejemplo metodología para la detección temprana que ya ha sido testada en el caso de *R. okamurae* es la metodología SBPQ (García-Gómez, 2015; García-Gómez et al., 2020a). Esta técnica está basada en el seguimiento de estaciones intencionadamente situadas en puntos de interés, y ha permitido tanto identificar el momento de aparición de la especie en la isla de Tarifa (García-Gómez et al., 2020b) como llevar a cabo el seguimiento del estado de invasión hasta el año 2020 (García-Gómez et al., 2021b)
- Identificación de ventanas espaciotemporales de invasividad de *R. okamurae*. Los recursos disponibles para la gestión de las especies exóticas invasoras son limitados por parte de las administraciones, y además muy compartidos entre todas las especies. Esto fuerza a la identificación de las medidas de actuación que mejor relación beneficio-coste puedan proporcionar, y que más acierten en su planificación espacio temporal. El poder adelantarse a los avances de la especie, permite una preparación anticipada para la gestión de una introducción, que suponen un incremento en las garantías de éxito de estas y en una optimización de los recursos. En este sentido el conocimiento de los patrones estacionales de la actividad vegetativa y reproductiva de la especie puede ayudar a identificar los momentos en que *R. okamurae* ejerce una mayor presión de propágulos sobre las comunidades nativas, y al mismo tiempo, los momentos en que la especie está menos activa vegetativamente. Dependiendo de la actuación que se quiere llevar a cabo, este conocimiento puede ser de gran ayuda para su gestión. Por otro lado, los modelos predictivos de distribución de especies basados en la favorabilidad de hábitat permiten señalar posibles nuevas áreas de introducción de la especie, como se ha confirmado con los modelos realizados con *R. okamurae* (Muñoz et al. 2019).
- Manejo y conservación de hábitats. La relación entre la invasividad de *R. okamurae* y el estado de conservación de las comunidades receptoras no es bien conocida aún. La especie ha invadido tanto hábitats bien conservados, como otros que habían sido invadidos previamente por otras especies de macroalgas. Sin embargo, perturbaciones puntuales, ligadas a la actividad humana pueden ofrecer ventanas de vulnerabilidad de nuestros ecosistemas nativos frente a *R. okamurae*. En este sentido se debe considerar la conservación y restauración de las comunidades nativas, y el control de sus perturbaciones, como una herramienta más de gestión de la especie invasora.
- Cooperación y coordinación a escala local, regional, nacional e internacional. Una comunicación fluida entre administraciones responsables en la gestión de *R. okamurae*, permitiría un intercambio de información importante, por ejemplo, en la eficacia de una red de alerta temprana.

- Actuaciones de sensibilización y educación ambiental pública, y formación y concienciación de profesionales.
- Investigación y actualización de conocimientos.
- Inclusión de acciones de prevención en estudios de impacto ambiental marinos (implantación de aerogeneradores, cables, construcción de puertos, dragados, etc).

#### 7.1.1. Medidas específicas y transversales de gestión de vías de introducción.

En el apartado seis de la presente estrategia se han identificado las vías de entrada/dispersión, no intencionadas, incluidas en el Plan de acción sobre las vías de introducción y propagación de las especies exóticas invasoras en España (2021).

A continuación, se citan las medidas específicas dictadas en dicho documento, que se asocian a las vías identificadas para *R. okamurae* en España. Las medidas transversales a aplicar son todas las incluidas en dicho documento.

#### Medidas del eje 1. Comunicación y sensibilización.

ME1.2. Información sobre la correcta gestión de residuos de especies exóticas invasoras vegetales.

ME1.5. Información sobre las medidas de control en puertos y zonas aeroportuarias.

ME1.6. Difusión de buenas prácticas en ecosistemas acuáticos.

ME1.7. Difusión de medidas de control para incrustaciones y aguas de lastre en aguas navegables, tanto marinas como continentales.

#### Medidas del eje 2. Legislación y reglamentación.

ME2.1. Asignación de responsabilidades a los particulares y empresas sobre la gestión de especies exóticas invasoras.

#### Medidas del eje 3. Vigilancia y control.

ME3.2. Creación y mantenimiento de un sistema de seguimiento y control de especies exóticas invasoras en establecimientos sujetos a autorizaciones, permisos y excepciones.

ME3.6. Desarrollo de medidas de control para disminuir la introducción de especies exóticas invasoras en otros países.

#### Medidas del eje 4. Investigación y conocimiento.

ME4.2. Cartografía de las áreas de introducción y propagación.

ME4.3. Desarrollo y difusión de técnicas para mejorar la resistencia de los ecosistemas degradados al asentamiento de especies exóticas invasoras.

#### Medidas del eje 5. Coordinación y gobernanza.

ME5.1. Mejora de la cooperación entre Comunidades Autónomas, confederaciones hidrográficas, organismos de cuenca y Autoridades Portuarias para evitar la propagación de especies exóticas invasoras acuáticas.

## 7.2. Actuaciones ante la presencia de *R. okamurae*.

### 7.2.1. Antecedentes.

Aunque actualmente no existen protocolos de gestión, control o erradicación de la invasión de *R. okamurae*, que puedan servir de referente para la elaboración de la presente estrategia, dado que ha sido en España el primer país donde esta especie ha mostrado carácter invasor, deben reconocerse los esfuerzos realizados por la Junta de Andalucía para la posible identificación de experiencias concretas de gestión. Tampoco existe una estrategia previa de control de una especie marina invasora en España que pueda servir de referencia.

En este sentido, no obstante, cabe mencionar las actuaciones llevadas a cabo por la Junta de Andalucía, que confirma la presencia de la especie en las costas de Algeciras en 2016 (confundida como *Dictyota dichotoma*) y posteriormente en 2017 (CMAYOT, 2017). Desde entonces la especie se ha incluido en el Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz de la Junta de Andalucía. Esta Comunidad Autónoma ha establecido una red de seguimiento y alerta temprana. Además, a finales de 2019 esta Comunidad desarrolló algunas actuaciones para recopilar información cartográfica de la invasión de la especie y cuantificar su afectación sobre biocenosis infralitorales en la ZEC y P.N. del Estrecho, así como la recogida de muestras para la identificación y análisis genético por parte del IFAPA (centro de referencia de la Junta de Andalucía para la identificación molecular de la especie). Además, la Junta de Andalucía difunde de manera amplia la necesidad de abordar la problemática que genera esta especie de manera coordinada con otros organismos.

A su vez, por parte de la Ciudad Autónoma de Ceuta, se ha llevado a cabo una estimación preliminar de la afección del alga sobre las comunidades nativas del intermareal y submareal de su litoral.

El conocimiento acumulado hasta el momento sobre la especie y su proceso invasor es que, una vez introducida, homogeniza rápidamente los fondos marinos, afectando de manera importante a la biota marina y produciendo importantes impactos económicos, sin haberse observado regresión alguna de sus poblaciones en las zonas invadidas. A pesar de no haberse realizado aún ninguna actuación encaminada a su control se puede adelantar que la gestión de la especie será un desafío para las administraciones implicadas, como lo es la de cualquier especie invasora marina (Thresher & Kuris, 2004), sobre todo a nivel metodológico y presupuestario. Sin embargo, esto no debe ser argumento para la inacción y la demora en la toma de decisiones una vez se detecta la presencia de la especie en algún sitio. Existen casos exitosos de control de especies de macroalgas marinas invasoras (Wotton et al. 2004; Anderson 2005), y esa debe ser la inspiración de la presente estrategia.

La falta de antecedentes de gestión de poblaciones de *R. okamurae* supone un desafío para la formulación de la presente estrategia, que se nutre de la información disponible sobre la especie hasta el momento, y que busca en la gestión realizada sobre otras especies de macroalgas marinas invasoras en distintos contextos geográficos (por ejemplo *Sargassum* en el Caribe, *U. pinnatifida* en Oceanía o *C. taxifolia* en California), la identificación de protocolos, metodologías y aproximaciones que pudieran ser válidas para adaptar al caso de *R. okamurae*, si bien muchos de ellos requerirán de su ensayo previo.

En este punto es importante señalar que las actuaciones de tipo reactivo, es decir una vez la especie ya se ha introducido en un sitio, suelen presentar una relación coste-beneficio muy superior a las acciones de prevención de su establecimiento y dispersión, si bien los resultados de estas últimas son más difícilmente evaluables y son menos atractivos en clave política y para la ciudadanía.

### 7.2.2. Análisis del nivel de amenaza y estimación de los impactos

Uno de los principales requerimientos para el éxito de una estrategia de gestión es la disponibilidad de recursos y financiación a largo plazo (Andersen 2005; Wotton et al. 2004). Esta financiación no siempre está disponible y cuando lo está, por lo general, no es de forma inmediata. La ausencia de financiación durante el tiempo necesario para la implementación de los objetivos planteados se muestra como la causa más recurrente en el fracaso de las acciones llevadas a cabo (Dana et al. 2019). La aplicación de una estrategia como esta requiere tanto la disponibilidad de recursos económicos como la gestión eficiente y efectiva de dichos recursos.

*Ruguloptery okamurae* provoca importantes daños ambientales en los ecosistemas que son invadidos, amén de las pérdidas económicas en sectores como el turismo y la pesca y que implican la adopción de medidas de gestión y control de dichos impactos. Es por ello que ante la detección de una nueva introducción de la especie, o en el caso de actuaciones de prevención de su introducción, es necesario en primera instancia hacer una valoración del nivel de amenaza y de los impactos que está produciendo, y valorar cuáles serían si no se desarrollara y mantuviera una actuación destinada a su control, pudiendo emplear en dicho contexto la referencia del trabajo de Dana et al (2019). Esta valoración, que debería ser realizada de manera rápida, a largo plazo (varios años), considerando todos los sectores afectados, así como una valoración económica, a ser posible, de los servicios ecosistémicos afectados, ayudará en gran medida a la toma de decisiones, en primera instancia en si actuar o no, y en caso de actuar, en la definición del objetivo concreto de la actuación a desarrollar. Este planteamiento se sugiere como un requisito previo antes de acometer cualquier actuación, pues puede evitar costes excesivos o desproporcionados que no compensen los beneficios medioambientales, sociales y económicos a largo plazo.

Para realizar el análisis del nivel de amenaza y la estimación de los impactos, puede ser de ayuda la información recogida en la presente estrategia en el apartado de impactos y análisis de riesgos.

### 7.2.3. Objetivos de las actuaciones y prerequisites.

El éxito de la gestión comienza con una correcta toma de decisiones, para la cual contar con protocolos o guías basadas en argumentos científicos y/o análisis de casos previos puede representar una gran ayuda. En este sentido, el trabajo de Dana et al. (2019) se toma como referencia ante un caso de necesidad de manejo o gestión de una población de *R. okamurae*, para realizar previamente un análisis de factibilidad, que en primera instancia ayude a decidir si se puede o no realizar la actuación deseada. Este análisis se basa en la observación y cumplimiento de una serie de ítems, en concreto 40, distribuidos en 5 bloques. El primer bloque con los 12 primeros ítems es clave para decidir si actuar o no ante una especie exótica

invasora, a la vez que condicionan el éxito de la actuación; los restantes ítems deberán ser analizados en el caso de que se decida actuar (Dana et al. 2019).

De entre esos 12 primeros ítems, la identificación y definición del objetivo general y del objetivo concreto de la actuación que se quiere realizar, son dos puntos clave que pueden determinar el éxito de esta, después de confirmar que la especie es exótica y produce un impacto negativo en la biodiversidad, lo cual ya se ha constatado en el análisis de riesgo previo. El objetivo general de las actuaciones de este apartado debe ser principalmente reducir los impactos que produce *R. okamurae*, pero será necesario concretar qué impacto es objeto de la actuación (ambiental o socioeconómico). La definición de este objetivo general condicionará el objetivo concreto, y con él las técnicas y medios necesarios para alcanzarlos.

Una vez definido el objetivo general, es necesario definir el objetivo concreto de la actuación de gestión (se excluye el de prevención pues se aborda en un apartado distinto de esta estrategia), que puede ser entre estos, si bien no se excluyen otros:

- **Erradicación**: todos los individuos y propágulos deben ser permanentemente eliminados, de tal manera que la tasa de eliminación de individuos ha tenido que exceder al reclutamiento.
- **Contención**: para minimizar el riesgo de dispersión, de tal manera que la tasa de eliminación frene la tasa de colonización.
- **Control poblacional**: para mantener el tamaño poblacional por debajo de un límite fijado gracias a una tasa dada de eliminación de individuos.
- **Manejo de hábitat**: que sin implicar de manera directa a *R. okamurae*, pero sí a otros elementos del ecosistema, pueda ayudar a la consecución del objetivo general.
- **Prevención de la dispersión**: mediante el establecimiento de cuarentenas y controles de los movimientos de potenciales vectores.
- **Rastreo de la introducción**: con el fin de, por un lado, tratar de identificar las fuentes, vías y vectores de introducción, y, por otro, actuar sobre ellos.

La definición de este objetivo y su alcance puede hacerse de dos maneras básicamente, en función de los requerimientos ambientales y/o socioeconómicos que se quieran cubrir, o en función de los medios humanos, materiales y presupuestarios disponibles. En el primer caso es fundamental identificar si existen límites temporales y cuantitativos en cuanto a la disponibilidad de los recursos necesarios, puesto que, si existen, entonces serían del segundo tipo. En el caso de que el objetivo tenga que adaptarse a los medios disponibles, es especialmente importante asegurarse que todas las fases de la ejecución de la actuación se puedan cubrir con los medios ofertados, hasta la finalización de esta. El cese de la disponibilidad de estos medios antes de la consecución del objetivo planteado podría permitir un fortalecimiento de la especie y un malgasto de los recursos invertidos, siendo esto aplicable a cualquier objetivo de actuación. En caso de que sea necesario, y en la eventualidad de una reducción o cese de los medios disponibles, se deberá analizar en profundidad de qué manera se podría readaptar el objetivo a las nuevas circunstancias.

Cualquier objetivo debe ser perfectamente definido para cada caso concreto teniendo en cuenta múltiples factores: ubicación, tamaño poblacional, extensión invadida, cobertura, impacto, época del año, presencia de vectores potenciales, cercanía a espacios y especies protegidos, medios disponibles, etc. La ejecución de sus actuaciones debe ser llevada a cabo de manera sistemática y por personal con formación especializada, que por un lado sepa

identificar correctamente la especie sin confundirla con especies nativas muy similares (especies del género *Dictyota* o *Taonia*), y que además disponga de las habilidades específicas para el manejo de la especie. Las actuaciones siempre deberán ser supervisadas y evaluadas por personal experto. Además, las actuaciones deben ser diseñadas con criterios científicos basados en el conocimiento de la biología de la especie (estacionalidad vegetativa y reproductiva), y ser programadas y ejecutadas con rigor, tiempo y medios suficientes, realizándose tantas veces como sea necesario hasta estar seguro de haber alcanzado los objetivos planteados. Para ello se recomienda el empleo de indicadores de éxito para cada una de las fases de los proyectos.

Existen otros prerequisites que deben ser valorados antes de realizar cualquier actuación (Dana et al. 2019), como por ejemplo el cumplimiento normativo, la existencia de impactos colaterales que deben ser menores que el producido por *R. okamurae*, la seguridad del personal implicado, o la existencia de otros procesos que puedan estar produciendo impactos ecológicos mayores que los de la especie invasora, como por ejemplo de contaminación. Entre los prerequisites es de especial importancia la valoración de la metodología a emplear, para asegurar que sea selectiva para *R. okamurae*, sin que provoque impactos ecológicos y /o socioeconómicos irreversibles o a largo plazo, así como que no implique riesgos para la salud humana. En este sentido hay que recordar la ausencia de metodologías específicas para el control de *R. okamurae*, y que por ello las actuaciones que se realicen en muchos casos, al menos al inicio de la ejecución de la presente estrategia, al ser metodologías diseñadas para otras especies y lugares, y en otros casos ensayos piloto de nuevas metodologías específicas para *R. okamurae*, no se podrán garantizar algunos de estos prerequisites, que a pesar de ello deberán ser monitorizados y evaluados a lo largo de la ejecución de las actuaciones. Esto debe ser entendido como una oportunidad de mejora e innovación de métodos de gestión de *R. okamurae*, que debe servir para mejorar la estrategia nacional, así como para reforzar estrategias a otros niveles (locales, regionales e internacionales).

Una vez se ha definido correctamente el objetivo a abordar, verificando los prerequisites descritos, es importante evaluar los requisitos asociados a las características de *R. okamurae*, el contexto administrativo, la eficacia, eficiencia e impactos de la metodología, las características del ecosistema nativo y la percepción social. Sobre la metodología ya se ha hablado anteriormente, y se profundizará más adelante cuando se propongan algunas de ellas.

En relación con los ítems asociados a la especie invasora (Dana et al. 2019), para el caso de *R. okamurae* todavía existen incertidumbres sobre determinados aspectos relevantes de su biología y ecología básica, debidas a la falta de información, que limitan la evaluación de algunos de estos requerimientos y que para cada actuación en concreto se debe decidir si pueden comprometer la consecución del objetivo. Algunos de estos requisitos que presentan incertidumbres son los posibles beneficios y funciones de *R. okamurae*. Sobre esto sólo se conoce que pueden ser hábitat de un número elevado de invertebrados marinos (Navarro-Barranco et al. 2019; 2021). También existe todavía insuficiente información sobre determinados aspectos de su ciclo de vida en la distribución invadida, como por ejemplo si tiene lugar la generación gametofítica o la gametogénesis, los factores de los que depende el reclutamiento de nuevos individuos y su producción, los vectores de dispersión, así como el papel de las características de las comunidades receptoras, entre otros, todos ellos tratados en apartados previos de la presente estrategia. Esta incertidumbre y el papel que tiene en el

éxito de las actuaciones de gestión es una justificación más para la continuación de investigaciones en curso, y la implementación de nuevas, sobre la biología de *R. okamurae*, al representar herramientas útiles en la toma de decisiones que implican recursos públicos.

El contexto administrativo también debe ser evaluado antes de iniciar actuaciones sobre *R. okamurae*, especialmente teniendo en cuenta que son diversas y a diferentes niveles (locales, regionales, nacionales y europeas) las que pueden tener competencias sobre la gestión de la especie. Es importante que haya consenso entre las mismas sobre la decisión de ejecución del plan de acción o la metodología a emplear, de ahí la importancia de herramientas eficientes que faciliten la coordinación administrativa (se hablará de ello más adelante en la estrategia).

Y por último será necesario valorar las características del ecosistema nativo sobre el que se va a realizar la actuación. En general, en todo momento, es necesario conocer con detalle las características (diversidad, estructuras, funciones, etc.) de las comunidades nativas que van a ser objeto de la actuación, realizando una monitorización con indicadores sobre su estado, que permita evaluar el efecto de la actuación sobre dicha comunidad, además de sobre la propia *R. okamurae*, y que a ser posible debería de poder compararse con situaciones de ausencia de la especie invasora. Esto es especialmente importante en el caso de la presencia de especies y hábitats de especial conservación, como puede ser el caso de la presencia de *Patella ferrugínea*, o de praderas de fanerógamas marinas.

Si bien las actuaciones en el medio marino suelen ser bastante inconspicuas para la sociedad en general, y que se espera que aquellas que se hagan para controlar la invasión de *R. okamurae* no deberían despertar alarma social, en caso de que la zona de actuación sea visitada por algún colectivo (centro de buceo, pescadores), sería importante informar sobre dicha actuación y sus objetivos.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente esta estrategia pretende ofrecer una ayuda para la toma de decisión sobre qué actuación es la más adecuada considerando la superficie invadida, la densidad poblacional, la comunidad nativa receptora y la presencia y/o cercanía de especies y espacios marinos protegidos. Las actuaciones para realizar dependerán del objetivo que se persiga, el cual condicionará el protocolo a desarrollar, la técnica a ejecutar, el seguimiento a llevar a cabo, así como los medios humanos y el presupuesto necesarios. No existe un único método de gestión para la lucha contra *R. okamurae*. Se debe estudiar caso por caso y decidir en función de los factores anteriores además de los administrativos y presupuestarios. Para diferentes objetivos pueden emplearse técnicas similares, que aplicadas con diferentes alcances resultarán en diferentes resultados. Por ejemplo, una misma técnica puede servir para erradicar y para realizar control poblacional y/o contención. De ahí, que sea importante siempre antes de realizar cualquier actuación definir concretamente el objetivo que se persigue en todas sus facetas, espacial, temporal y biológica.

Antes de empezar cualquier actuación se recomienda hacer un informe técnico motivado, conciso y que contemple solamente la información técnica relevante, que pueda servir para hacer el seguimiento o compartir datos, detallando circunstancias, riesgos y prioridades de actuación.

#### 7.2.4. Actuaciones de erradicación y control. Técnicas y tratamientos

##### 7.2.4.1. Actuaciones de erradicación.

En el caso de la localización de un foco incipiente de invasión con ejemplares de *R. okamurae* ya asentados, pero en reducido número y superficie, se evaluará la factibilidad de realizar una actuación de erradicación con éxito, sobre todo en aquellos casos en los que la especie amenace poblaciones de especies protegidas, se encuentre dentro de un espacio de especial protección o la nueva población suponga un incremento en el rango de distribución de la especie, no explicado potencialmente por la dispersión por medios naturales (corrientes oceánicas principalmente). El objetivo último de esta actuación, siempre que resulte posible, es la eliminación completa de la población. En este caso es fundamental actuar con celeridad en cuanto se haya detectado el foco. Para ello, será necesario crear “corredores administrativos” que permitan la disponibilidad rápida de los recursos humanos, técnicos y económicos pertinentes, y una perfecta coordinación entre las administraciones competentes sobre la gestión de la especie invasora, y aquellas que lo son sobre las especies y espacios protegidos. Estas actuaciones rápidas reducen costes económicos, que podrían ser varias veces superiores si la especie consigue asentarse y expandirse, produciendo un impacto mayor. En este caso es necesario matizar que actualmente no se han realizado actuaciones de erradicación de *R. okamurae* por parte de la administración.

No obstante, en el marco de diversos proyectos de investigación, se está llevando a cabo un ensayo de erradicación manual de la especie sobre la comunidad de *P. oceanica*, que provisionalmente parece constatar la dificultad de la eliminación total de *R. okamurae* en zonas densamente invadidas (Altamirano, De la Rosa, Rosas-Guerrero, Carmona, obs. pers.), al menos cuando la frecuencia de retirada de ejemplares es superior a dos meses. Similares experiencias pilotos son la llevada a cabo por la Asociación HyT así como las actuaciones llevadas a cabo en el LIFE+ Posidonia con *Caulerpa* por la Junta de Andalucía. Además, la experiencia de Altamirano apunta hacia la dificultad de la eliminación total de todos los ejemplares, que, en la experiencia piloto en cuestión, epifitan prácticamente cualquier superficie de *P. oceanica*, especialmente sobre la zona de los rizomas, que dificulta mucho la retirada de los talos más pequeños (Fig. 14). A esto hay que añadir otras dificultades para la erradicación, en este caso sobre *P. oceanica*, como es la de eliminar solo los talos de la especie invasora sin eliminar talos de especies de macroalgas nativas o de especies animales de pequeño tamaño. No se descarta además que la actuación pueda tener algún impacto negativo sobre la propia planta de *P. oceanica*, debido al trabajo de manipulación que se lleva a cabo sobre ella, a pesar del cuidado extremo que se tiene para no dañarla. Los costes económicos de esta actuación también deben ser tenidos en cuenta para valorar la factibilidad de otras actuaciones de erradicación, sobre *P. oceanica* o sobre otra especie o comunidad. En el caso de esta actuación piloto, para la retirada casi total de los talos de *R. okamurae* en tres áreas de un metro cuadrado, son necesarios entre tres y cuatro técnicos que están trabajando con buceo con escafandra autónoma durante un mínimo de 45 minutos, tiempo que puede verse incrementado en función de la fenología vegetativa de la especie.





**Figura 13.** Ensayo de erradicación de *R. okamurae* sobre pradera de *P. oceanica* en la costa de Granada. Fotos: M. Altamirano.

De esta experiencia piloto, limitada temporalmente, tanto en su duración como en su frecuencia de actuación, por motivos presupuestarios, así como del conocimiento de la biología y ecología de la especie, se puede deducir en general en relación con actuaciones de erradicación de *R. okamurae*, lo siguiente:

- Que, debido a la capacidad de fijación de la especie sobre diversas superficies, unido al elevado reclutamiento de nuevos individuos, la eliminación total de *R. okamurae* es difícil desde un punto de vista técnico.
- Que la frecuencia de las acciones de eliminación de talos debe ser inferior a dos meses como mínimo, y que la duración total de la actuación debe ser superior a un año.
- Que la dificultad aumenta con la densidad de los talos presentes.
- Que las acciones de erradicación pueden implicar un impacto negativo sobre la comunidad nativa, que debe evaluarse, especialmente en el caso que sean especies o comunidades protegidas.
- Que el coste estimado de la actuación de erradicación es muy elevado en relación con la superficie cubierta, y que ello exige una evaluación muy detallada del objetivo a abordar.
- Que, en el caso de que no se pueda garantizar la ausencia de presión de propágulos en la población a erradicar, bien por cercanía de otras poblaciones o la presencia de vectores, se debería reevaluar la conveniencia de una actuación de erradicación, o de lo contrario será necesario la continuidad de la actuación durante tiempo indefinido para alcanzar y mantener el objetivo marcado para la misma.
- Que actuaciones de erradicación de *R. okamurae* en mar abierto entraña mayores dificultades que la que habría en zonas más cerradas o confinadas.

- Qué la dificultad técnica de la erradicación aumenta con la heterogeneidad del sustrato y el grado de disgregación espacial, incluida la batimetría, de la población.
- Que se debería evitar realizar actuaciones de erradicación a profundidades que impliquen periodos de descompresión para los técnicos, por un lado por la corta duración del tiempo de trabajo disponible y, por otro, por la seguridad de los buceadores.
- Que la presencia de abundantes estructuras de propagación microscópicas (esporas) o de muy pequeño tamaño (propágulos), puede suponer un freno para la erradicación, cuyas técnicas asociadas solo alcanzan formas macroscópicas del ciclo de vida de la especie.

Por todo lo anterior, se aconseja que las actuaciones de erradicación se lleven a cabo solo cuando se puedan iniciar de manera rápida tras la alerta temprana para así garantizar la mínima densidad de talos y superficie invadida, cuando la superficie ocupada sea reducida, los organismos diana no sean excesivamente sensibles a la técnica de eliminación de *R. okamurae*, y cuando se pueda garantizar el mantenimiento de los recursos humanos, técnicos y presupuestarios hasta el final de la actuación. No se debe olvidar en cualquier caso que hay que desarrollar un plan de acción específico para cada situación, que debe contar en su planificación con personal técnico y científico.

#### *7.2.4.2. Actuaciones de control: control poblacional y contención.*

En el caso de poblaciones bien establecidas y extendidas, con elevada densidad, cobertura y rango batimétrico, y con el fin último de reducir el impacto de la especie, se deberá priorizar el objetivo principal de la actuación para determinar si realizar el control poblacional de *R. okamurae* y/o su contención. En el caso de que se quiera minimizar el riesgo de translocación de efectivos de la especie a otras zonas (por ejemplo, por la cercanía de especies o espacios protegidos, por ser un nuevo foco que represente una ampliación significativa del rango de distribución de la especie), se deberá optar por una actuación de contención, que básicamente se basará en el control de movimientos de los potenciales vectores en la zona, así como desinfecciones asociadas. La actuación de contención puede verse reforzada por actuaciones de control poblacional de la especie, que tienen como objetivo mantener la población con una densidad reducida. Esto por un lado reduce el impacto sobre la comunidad nativa (o el impacto socioeconómico, por ejemplo, disminución de arribazones), y por otro reduce la presión de propágulos hacia potenciales comunidades receptoras sensibles a la invasión de *R. okamurae*.

Las mismas observaciones que se hicieron para las actuaciones de erradicación en el punto anterior, son atribuibles a las actuaciones de control poblacional, si bien en este caso se requiere un esfuerzo continuo e indefinido en el tiempo, de presión sobre la población, para mantenerla dentro del rango de control establecido como objetivo de la actuación. En este caso, sin embargo, a nivel técnico resulta menos complicado al no tener que eliminar todo, pudiendo no tener que eliminar talos ubicados en zonas complicadas por la heterogeneidad del sustrato. Para determinar el nivel de control poblacional necesario, es importante tener en cuenta determinados aspectos de la comunidad nativa receptora. Por ejemplo, en el caso

de fanerógamas marinas, debido al menor tamaño de *C. nodosa*, comparado con el de *P. oceanica*, será necesario un mayor control poblacional de *R. okamurae* para garantizar que las plantas de *C. nodosa* reciben suficiente luz para mantener su crecimiento. Probablemente diferentes niveles de control poblacional permitan la presencia de diferentes elementos de la comunidad nativa. Esto es especialmente relevante en el caso de comunidades nativas formadas por especies de crecimiento lento, por ejemplo, como especies de *Carpodesmia*, *Ericaria* o *Laminaria*, cuyos individuos juveniles pueden ver inhibido su crecimiento por el sombreado u ocupación del sustrato por parte de *R. okamurae*.

#### 7.2.4.3. Métodos de erradicación y control.

Como se ha comentado anteriormente, no existen protocolos ni técnicas de erradicación y control específicas para *R. okamurae*, y solo se conoce un ensayo de erradicación manual de la especie. Ante esta situación, en la presente estrategia se opta por la búsqueda de referentes en planes de acción para otras especies de macroalgas invasoras de hábito bentónico en otros países como Australia o Estados Unidos de América, en concreto *U. pinnatifida* y especies de *Caulerpa*. Se proponen una serie de métodos que han sido probados para estas dos especies, que son matizadas para las características de *R. okamurae* y la zona invadida de la misma. Estas aproximaciones metodológicas se van a clasificar de la siguiente manera: métodos de actuación directa sobre *R. okamurae*, métodos de gestión de hábitat y métodos de mitigación del impacto (adaptado del Plan Nacional de Control de *U. pinnatifida* en Australia). Para cada método se tratará de aportar además de su descripción, la probabilidad de eficacia, la factibilidad, una estimación cualitativa de los costes y una valoración de sus impactos ambientales.

La aplicación de un método u otro dependerá del objetivo que se haya definido para la actuación. Su efectividad y factibilidad dependerán en gran medida, de la extensión y la densidad de la población diana, que deberá ser analizado caso por caso. Para la ejecución de estos métodos, sería importante tener en cuenta la fenología vegetativa y reproductiva de la especie (Salido & Altamirano 2021; Gómez-Zaldúa et al. 2021), considerando las dificultades técnicas de los meses más cálidos por las razones que a continuación se argumentan. A nivel vegetativo, en los meses más cálidos la especie presenta un morfotipo fino y de menor tamaño que en los meses más fríos (Salido & Altamirano 2021), lo cual dificulta a nivel técnico la retirada de los talos, en comparación con los talos del morfotipo grueso, más grandes y fáciles de retirar, y presente en los meses más fríos. Además, en los meses más cálidos parece haber una mayor frecuencia de talos con estructuras de propagación (monosporas y propágulos) y una mayor densidad de éstas (Salido & Altamirano 2021; Gómez-Zaldúa et al. 2021), que puede aumentar el riesgo de dispersión de la especie con las acciones a realizar. En cualquier caso, hay que matizar que estos estudios se han realizado en poblaciones del sur de España, y que la especie puede presentar diferentes patrones fenológicos en diferentes regiones, por lo que sería de interés realizar estudios fenológicos, vegetativos y reproductivos, en las zonas de actuación.

Independientemente de la naturaleza del método que se aplique, el establecimiento de un protocolo de seguimiento y evaluación de los resultados de su aplicación es una pieza clave para garantizar el éxito de la actuación. En muchos casos una sola actuación no será suficiente, y se tendrá que volver a aplicar el método, o combinar con otro. El seguimiento y la evaluación

de los resultados podrá señalar posibles mejoras y adaptaciones del método empleado a los cambios tanto ambientales como de la población de *R. okamurae*. Este seguimiento y evaluación deben emplear indicadores relacionados con el objetivo de la actuación. Por ejemplo, si se trata de una actuación de control poblacional, se podrá considerar como indicador el porcentaje de cobertura o la densidad de pies de planta por unidad de superficie a lo largo del tiempo. Es necesario que incluso después del cese de la aplicación del método, se realice el seguimiento, para garantizar el alcance del objetivo de la actuación; ésto puede ser especialmente importante en las actuaciones de erradicación, pues justo después de la aplicación de los métodos de eliminación de talos, los indicadores pueden mostrar un éxito absoluto, pero después de un tiempo, pueden volver a aparecer nuevos talos, bien por la presencia de estadios microscópicos no retirados o por una entrada de propágulos no controlada. Este seguimiento posterior se ha revelado como clave en las actuaciones de erradicación exitosas de *C. taxifolia* en California (Anderson 2005) y de *U. pinnatifida* en la Chatham Islands (Nueva Zelanda) (Wottom et al. 2004). El protocolo de seguimiento también debería tener en cuenta la fenología vegetativa y reproductiva de *R. okamurae*.

Es importante señalar que para aquellas actuaciones que impliquen métodos con participación de buceadores es imprescindible evitar que los propios técnicos puedan servir de vectores de introducción y dispersión de *R. okamurae* en el ejercicio de su trabajo. Por ello, se debe establecer un protocolo de desinfección del equipamiento de buceo y material de trabajo entre una actuación y otra, independientemente de si se visita la misma zona de trabajo o una diferente. Este protocolo puede incluir la inmersión del equipo en agua dulce con una baja concentración de hipoclorito sódico y su posterior exposición al sol. En el caso de la equipación que se ponga en contacto con la piel, se debe realizar además un enjuague con agua dulce para evitar irritación en la piel del buceador.

## Métodos de actuación directa sobre *R. okamurae*.

### I. Métodos mecánicos.

#### Retirada manual de talos.

Consiste en una retirada selectiva a mano de *R. okamurae* por parte de técnicos formados previamente. Los talos retirados deberán ser introducidos en bolsas de cierre hermético durante su retirada, para evitar su escape o la dispersión de estructuras de propagación. Los talos retirados, una vez en tierra deberán someterse al protocolo de gestión de biomasa empleado para los arribazones, de tal manera que se garantice su trazabilidad.

Esta técnica entraña diversas dificultades:

- Es necesario poder distinguir bien la especie invasora de otras especies nativas de la misma familia (géneros *Dictyota* y *Taonia*). Por ello, es importante una capacitación previa de los técnicos responsables.
- Hay que prestar especial cuidado de no retirar flora o fauna asociada.
- En sustratos irregulares, la dificultad aumenta, así como el riesgo de dejar algún talo (si se persigue la erradicación).
- Prestar atención en comunidades incrustantes en las que se haya adherido, ya que pueden encontrarse especies de interés ecológico como algas calcáreas.

- La maniobra de arranque de los talos no requiere fuerza por parte de los técnicos, debido al sistema de fijación por rizoides superficiales de la especie que hace que se desprenda fácilmente, pero sí especial cuidado de que no se desprendan talos que no se hayan cogido con la mano que puedan quedar flotando en la columna de agua sin control.
- Es importante sellar bien las bolsas de recogida y a ser posible vaciarlas de agua antes de subir a la embarcación de apoyo para no cargar demasiado peso; esto habrá que hacerlo con cuidado para evitar que se escapen talos de la bolsa durante la maniobra.
- En comunidades ricas en erizos hay que prestar especial cuidado, pues suelen quedar cubiertos por los talos de *R. okamurae* y dañar la mano del técnico durante la recogida, de ahí la importancia de llevar guantes de buceo. Estos guantes deberán servir de protección, pero a la vez permitir la sensibilidad y flexibilidad suficiente para poder hacer la retirada selectiva de *R. okamurae*.
- La práctica de este método en mar abierto se puede ver dificultada por la presencia de corrientes u oleaje, por lo que se recomienda no realizar este método en esas circunstancias por el alto riesgo de dispersión de la especie. Además, en algunos casos la falta de visibilidad bajo el agua también dificulta la aplicación de este método.

Este método se emplea para actuaciones de erradicación y control poblacional. Presenta las ventajas de ser un método muy centrado en el control de los efectivos de la población de *R. okamurae*, suponiendo una fuerte presión sobre los individuos adultos principalmente. Además, a nivel logístico no es complejo pues solo es necesario como material, bolsas de cierre hermético y cajas de transporte hasta el punto de acopio.

Las desventajas que presenta este método están asociadas a la limitación de su alcance en cuanto a la gestión del impacto de la especie. Se trata de un método que solo puede abarcar superficies reducidas, ya que el proceso de retirada es lento y el tiempo de trabajo de los técnicos bajo el agua, limitado. Por ejemplo, en el caso de la aplicación de esta técnica sobre *C. taxifolia* en Australia, un buceador retiraba entre 1-3 m<sup>2</sup> por hora (Glasby et al. 2005), lo cual son cifras muy parecidas a las necesarias para *R. okamurae*, dependiendo de la densidad y patrón de agregación que presente. Además, implica riesgo de favorecer la dispersión de la especie por fragmentación de talos y escape, así como de producir un impacto negativo sobre la comunidad nativa, si existiera.

Hewitt et al. (2005) recomendaron para el caso de la aplicación de este método sobre *U. pinnatifida* en Australia, que para que este método fuera eficaz en el control de la especie era necesario un compromiso a largo plazo de retirada de talos, que a la vez se combinará con una estrategia de gestor de vectores eficiente, así como con iniciativas de educación para reducir las probabilidades de reintroducciones y dispersión de la especie. Sin embargo, estos autores también afirman que la retirada manual de esporofitos de *U. pinnatifida* es la única opción disponible que sea potencialmente efectiva para reducir la abundancia de la especie. En el Parque Nacional de Port Cros en Francia, para mantener la biodiversidad marina local con fines recreativos, se estuvo realizando de manera continuada esfuerzos de retirada manual de *C. taxifolia* combinado con un tratamiento con sal (Rierra et al. 1994; Thibaut 2001; Madl & Yip 2005). Estas acciones combinando varios métodos, siendo uno de ellos la retirada manual de talos, puede ser una opción también para el control de *R. okamurae*.

### Succión de muestras.

Se trata de un método que emplea bombas de succión, maniobradas por buceadores, que retiran los talos del fondo marino, para posteriormente entrar en el protocolo de gestión de biomasa. Este método ya se ha empleado anteriormente para especies de *Caulerpa*. En el caso de su aplicación sobre *C. taxifolia* en la costa de Croacia, en dos áreas de 350 y 250 m<sup>2</sup>, fue necesario la repetición frecuente de las sesiones de bombeo, si bien finalmente resultó ser un método efectivo, ya que los talos no volvieron a crecer (Zuljevic & Antolic 1999a, 1999b). Este mismo método se ensayó sobre dos poblaciones de *C. cylindracea* en el Parque Natural de Cabo de Gata (Almería) y en el Parque Natural del Estrecho sin éxito en ambos casos, y habiéndose detectado incluso su expansión a nuevas zonas tras los seguimientos realizados (Junta de Andalucía 2014; Junta de Andalucía 2017) (Fig. 15).



**Figura 14.** Uso de aspirador submarino para la extracción de *C. racemosa f. cylindracea* en Punta Javana, Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, a 23 m de profundidad (23 de abril de 2012). Junta de Andalucía 2014.

Si bien es un método muy enfocado a la especie diana, presenta inconvenientes pensando en su aplicación sobre *R. okamurae*. Por un lado, es un método que no permite realizar una retirada selectiva de los talos, por lo que de aplicarse habría que asumir un impacto sobre la posible comunidad de flora y fauna acompañante. Este fue el caso en la experiencia de aplicación de este método sobre *C. cylindracea* en Almería, en la cual se succionaron junto con los talos de *C. cylindracea*, una elevada cantidad de rodolitos. En el caso de zonas muy homogeneizadas por *R. okamurae*, y carentes de flora asociada como suele ser lo habitual en estas circunstancias, no habría problema con ésta, pero no es el caso de la fauna asociada, sobre todo del grupo de los invertebrados, que como ya constataron Navarro-Barranco et al. (2019, 2021) muestra una gran diversidad asociada a *R. okamurae*.

Otros inconvenientes que comparte con la retirada manual es la dificultad de su aplicación en sustratos muy heterogéneos y el tiempo necesario para su aplicación, que restringe el área de actuación, así como la posibilidad de ruptura y escape de talos que no pueden ser recuperados por los técnicos, o la colmatación de la bomba en el caso de elevada abundancia de talos o sedimento. Este método sin embargo puede ser una manera eficaz de retirada de talos de *R. okamurae* ya desprendidos y que se acumulen en forma de grandes masas en el fondo marino, dentro del rango batimétrico de actuación de los técnicos. Esta retirada podría reforzar actuaciones de control poblacional o contención de *R. okamurae*.

### Asfixiado.

Esta técnica básicamente consiste en la colocación de una barrera física, normalmente un plástico negro de PVC o polipropileno, sobre manchas de la especie invasora, para que impida la penetración de la luz, inhibiendo la actividad fotosintética del alga. El plástico se debe asegurar en los bordes (por ejemplo, con sacos de arena), para impedir que se desprenda o que pueda penetrar la luz (ver Aquenal 2007 para más información) (Fig. 16). Este método se ha aplicado principalmente sobre especies de *Caulerpa*, y fue uno de los métodos aplicados en el caso exitoso de erradicación de *C. taxifolia* en California, en el interior de una laguna confinada (Anderson 2005). Sin embargo, su aplicación en poblaciones de *Caulerpa* en mar abierto no ha resultado exitoso, principalmente por el deterioro o levantamiento de plástico debido a las corrientes o el oleaje (Zuljevic & Meinesz 2002; Junta de Andalucía, 2017). Es un método que también se ha empleado con éxito para controlar poblaciones invasoras de *U. pinnatifida* en Australia, pero no para erradicarla (Aquenal 2007).



**Figura 15.** Sombreado de la mancha del alga exótica *C. cylindracea* en los Escullos a 7 m de profundidad (26/05/2015) (LIC Cabo de Gata-Níjar). Junta de Andalucía 2017.

Este método, además de la sensibilidad a las condiciones ambientales, presenta otras desventajas. Una de ellas es que no es selectivo para la especie invasora, e implica asumir un impacto sobre la comunidad acompañante que parece no asumible en el caso de la presencia de especies protegidas. Bien es cierto que puede alcanzar mortalidades absolutas de la especie invasora, independientemente del tamaño de los talos o su ubicación sobre el sustrato. Requiere superficies regulares para su aplicación y como se ha comentado, zonas calmas. Además, solo se puede aplicar de manera parcheada. Presenta una logística complicada, por los materiales que precisa, el número de técnicos necesarios para su implementación y la necesidad posible de maquinaria para el movimiento de los pesos de bloqueo del plástico. Y por último, en caso de pérdida, conlleva la contaminación del medio marino por plásticos.

Su posible aplicación para el control de *R. okamurae*, debe tener en cuenta previamente el hábitat de la especie, evitando zonas de mar abierto sometidas a corrientes y oleaje, siendo preferible aplicarla en lagunas semicerradas. Además, el tiempo de sombreado en continuo debe exceder de las tres semanas, teniendo en cuenta la capacidad de supervivencia de la especie a periodos continuados en oscuridad, y su capacidad de crecimiento posterior (Rosas-Guerrero et al. 2018).

## II. Métodos químicos

Los métodos químicos suelen ser efectivos sobre poblaciones en zonas confinadas o semi cerradas. En el caso de poblaciones en aguas abiertas, no son muy aconsejables dada la dificultad de mantener la concentración de tóxico deseada.

El empleo de métodos químicos tiene una serie de limitaciones que hacen muy restringido su empleo por baja factibilidad e impactos laterales. Por un lado, es necesario tratar un elevado volumen de agua, dependiendo del área y la profundidad. Además, pueden suponer impactos negativos sobre especies nativas sensibles, que pueden permanecer en el tiempo más allá de la aplicación del tratamiento. A esto hay que sumar el riesgo para los trabajadores y los requerimientos legales y administrativos para su aplicación, que siempre deben ser analizados antes de una actuación con productos químicos.

Hasta el momento no se ha realizado ningún ensayo de tratamiento químico para el control de las poblaciones de *R. okamurae*, por lo que los métodos que a continuación se sugieren deberían ser ensayados antes de forma experimental.

### Cambios en salinidad.

Estos métodos se basan en la toxicidad por estrés osmótico letal, que puede obtenerse por condiciones de hipo o hiper salinidad con respecto al rango normal de la especie.

Sólo se conoce un caso de aplicación de tratamiento de hiposalinidad, que se realizó sobre una población de *C. taxifolia* en un área confinada de reducido tamaño (500 m de anchura y profundidades entre 3 y 7 m) de la costa australiana (Collings et al. 2004). El tratamiento consistió en el bombeo de agua dulce desde un río cercano durante cinco meses para reducir la salinidad a la mitad aproximadamente, para después devolver los niveles de salinidad normal por llenado con agua de mar. El tratamiento fue un éxito, pues no volvió a *aparecer* *C. taxifolia* en el sitio. Con este tratamiento se obtuvo una mortalidad casi absoluta de *C. taxifolia* en pocos días, pudiendo tratar una extensión relativamente grande (si bien era un área confinada). Además, se trató de un método que no produjo impacto ni residual ni a largo plazo. Como inconvenientes del método se debe señalar la dificultad logística asociada al trabajo de ingeniería para el bombeo de agua dulce y salada, la necesidad de disponibilidad de agua dulce que en algunos sitios puede ser un recurso escaso o la posibilidad de que puedan quedar refugios de salinidad natural donde la especie pueda sobrevivir y desde donde pueda recolonizar de nuevo la zona. No obstante, este podría ser un tratamiento eficaz para controlar una población de *R. okamurae* que por ejemplo se encuentre en una cubeta intermareal de gran tamaño sin presencia de especies nativas, por exceso de biomasa. En este caso, si fuera posible disponer de una fuente de agua dulce cercana, se podría aplicar un tratamiento aún más hipohalino, que debería resultar en una respuesta tóxica más rápida y



efectiva. Pero, en cualquier caso, sería necesario realizar estudios sobre la sensibilidad de *R. okamurae* a tratamientos de salinidad.

El tratamiento de salinidad que más se ha aplicado para el control de macroalgas marinas invasoras es el de aplicación de sal gorda, que se ha empleado en varias ocasiones para minimizar el impacto de *C. taxifolia* con buenos resultados (Glasby et al. 2005; O'Neill et al. 2007). Glasby et al. (2005) realizaron diversos ensayos de aplicación de sal gorda a diferentes concentraciones sobre áreas de 1x1 m y de 2x2 m de *C. taxifolia* en Australia. La sal fue aplicada una única vez por buceadores sobre cada una de las áreas de ensayo, dispersando a mano sacos de 25 kg de sal granulada. La concentración que mejor resultado dio fue de 50 kg/m<sup>2</sup>, la cual mató rápidamente los talos de *C. taxifolia*. Después de una de una semana de aplicación la densidad de talos disminuyó entre un 75 y un 95%, y después de seis meses ya no se observaban. Sin embargo, cuando realizaron el ensayo a una escala espacial mayor, los resultados no resultaron tan concluyentes. Además de la eficacia concluyente del método a pequeña escala para controlar la población de *C. taxifolia*, encontraron que este tratamiento solo tenía leves impactos a corto plazo sobre la flora (una especie *Zostera*) y la fauna nativa. Estos autores ensayaron además la aplicación de una tonelada de sal ayudados por una tolva que la dispensaba desde una embarcación, facilitando la tarea. Las áreas para tratar eran señaladas con boyas en superficie, y la cantidad de sal arrojada dependió de la velocidad de navegación y la profundidad del fondo. Observaron que hasta 5 m de profundidad se podía controlar bien la cantidad de sal que llegaba al fondo, pero a mayores profundidades la sal se dispersaba demasiado, no pudiendo afinar en la cantidad de sal que llegaba a la parcela de ensayo. El coste de la aplicación de la sal desde la embarcación fue estimado en aproximadamente 7 \$/m<sup>2</sup> (incluido el trabajo y la sal), y en el caso de la aplicación a mano por buceadores fue de aproximadamente 30 \$/m<sup>2</sup>. La experiencia realizada por Glasby et al. (2005) es sin duda interesante y podría ser potencialmente extrapolable al caso de *R. okamurae* para su ensayo a pequeña y gran escala. En este caso se debería ensayar en poblaciones poco profundas sin la presencia de especies sensibles a cambios osmóticos, como por ejemplo *P. oceanica*.

### Biocidas.

En la actualidad se ha probado la toxicidad de una serie de compuestos sobre diversas especies de macroalgas invasoras con diferentes formas de aplicación, y diverso éxito, ninguno de ellos sobre *R. okamurae*. El uso de biocidas implica un elevado riesgo de impactos a la comunidad acompañante y al personal técnico encargado de la ejecución de los trabajos por lo que siempre se debe realizar con una buena valoración de coste-beneficio, tanto a nivel económico como ambiental. Además, es necesario considerar que determinados productos pueden quedar durante mucho tiempo retenidos en el sedimento.

En cuanto a los compuestos ensayados se encuentran los compuestos de cloro, tanto en estado líquido como en estado sólido, sales de cobre, agua oxigenada, y herbicidas domésticos (Uchimura et al. 2000; Thibaut 2001; Williams & Schroeder 2004; Anderson 2005; Madl & Yip 2005).

El cloro fue empleado en la erradicación exitosa de *C. taxifolia* en California (Anderson 2005), tras el ensayo experimental de otros biocidas como el diquat, endothal, cobre quelado y fluridona. El ensayo con lejía al 5% dio como resultado una toxicidad alta en pocas horas. Hay

que decir que los ensayos y la toma de decisión de qué biocida emplear, fue tomada en apenas dos semanas desde la detección de *C. taxifolia*. La forma de aplicación del tratamiento de cloro dependió del tamaño de la mancha de *C. taxifolia* a tratar, que siempre fue aplicado bajo una cubierta de plástico negro de PVC sellada en sus bordes (Fig. 17).



**Figura 16.** Sistema de asfixiado y aplicación de hipoclorito sódico empleado para la erradicación de *C. taxifolia* en la Laguna de Agua Hedionda (California, USA) (Anderson 2005).

De estas cubiertas de asfixiado ya se ha hablado anteriormente, pero en este caso se combinó un tratamiento de asfixiado con uno químico. Las cubiertas tuvieron entre 500 m<sup>2</sup> y 1 m<sup>2</sup> de superficie, dependiendo del tamaño de la mancha de *C. taxifolia*, y todas tenían una trampilla superior por la que se aplicaba el tratamiento de cloro. En el caso de manchas de gran tamaño se optó por tratar con hipoclorito sódico al 12%, y en la de 1 m<sup>2</sup> con tabletas para mantenimiento de piscinas de 2,5 cm de diámetro. Este autor comenta que la aplicación de las tabletas de cloro fue más fácil para los buceadores y requirió menos equipo para ello. El seguimiento posterior de los tratamientos mostró que algunos organismos sobrevivieron al tratamiento, al observarse algunas especies de invertebrados y plántulas de *Zostera marina*. En buena medida el éxito de este tratamiento fue debido a que las poblaciones de la especie invasoras se encontraban en una laguna cerrada que protegió las cubiertas de plástico de ser levantadas o retiradas por corrientes u oleaje. En caso de querer aplicar este método sobre manchas de *R. okamurae*, habría que tener en cuenta de si se trata de poblaciones en zonas más o menos confinadas (cubetas o bahías semicerradas) o en mar abierto. Además, sería necesario comprobar la existencia y sensibilidad de posibles especies acompañantes, así como los permisos legales para el tratamiento.

En el caso del cobre, este ha sido ampliamente empleado para tratar poblaciones de *C. taxifolia* en la costa francesa (Thibaut 2001). La forma de aplicarlo era mediante telas impregnadas en cobre que se depositaban sobre las manchas de *Caulerpa*. Si bien es un tratamiento muy efectivo para matar el alga invasora, sus impactos ecológicos son importantes y no pueden ser obviados. Entre ellos está su acumulación en el sedimento, de especial preocupación en zonas con fanerógamas marinas, y su toxicidad para la flora y fauna acompañante. Nuevamente, en caso de querer aplicarse sobre *R. okamurae*, precisaría de los

respectivos permisos y de investigación previa, por ejemplo, para determinar la concentración necesaria para obtener los resultados esperados.

### III. Control biológico

Para el caso *R. okamurae* el control biológico debería ser producido por una especie nativa que produjera un impacto importante sobre sus poblaciones de manera continuada. No se admite la introducción de especies alóctonas por el riesgo de impactos potenciales no bien entendidos todavía. Hasta el momento sólo se han reportado observaciones puntuales de herbivorismo sobre *R. okamurae*, por ejemplo, de salema o de liebre de mar. Desde el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica, se están realizando estudios para determinar la capacidad de herbivoría del erizo de mar (*Paracentrotus lividus*) y la salema (*Salpa salpa*) sobre *R. okamurae* y su potencial como agente de control de la especie. Por otro lado, otros estudios han puesto de manifiesto la existencia de compuestos disuasorios y potencialmente tóxicos de *R. okamurae* para el erizo de mar (Casal-Porras 2021), lo cual puede inhabilitar la hipótesis de que los erizos puedan controlar las poblaciones de *R. okamurae*. En este sentido, es necesario realizar un seguimiento sobre las poblaciones de *R. okamurae* para analizar cualquier retroceso de estas que pueda ser achacable a algún agente biológico nativo, como respuesta de rechazo a la invasión. Este agente biológico también podría incluir virus o bacterias. En caso de que este agente biológico lo llegase a constituir una especie objeto de pesquería, se podría valorar, en su caso, el control de su captura para así favorecer esta herramienta de control.

### Métodos de gestión de hábitat

La relación entre la invasividad de *R. okamurae* y el estado de conservación de las comunidades receptoras no es bien conocida aún. La especie, en su avance por la costa española, ha producido importantes impactos ecológicos en una gran variedad de hábitats (praderas de fanerógamas marinas, comunidades de algas fotófilas, bosques de quelpos, fondos de rodolitos), algunos de ellos en buen estado de conservación. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la primera cita de la especie fue dada en las costas de Ceuta, donde *R. okamurae* supuso la cuarta especie de macroalga invasora, tras la invasión de *A. armata*, *A. taxiformis* y *C. cylindracea*, esta última homogeneizando los fondos de Ceuta de manera estacional antes de la llegada de *R. okamurae* (Altamirano et al. 2019). Esto puede estar señalando un fenómeno de cascada de invasiones, en el que cada nueva invasión deteriora las comunidades nativas, haciéndolas más vulnerables a futuras invasiones. Esta hipótesis puede ser entendida como una oportunidad de gestión de *R. okamurae* a través de la conservación de sus hábitats, sobre todo en los puntos geográficos alejados de los focos principales y en buen estado de conservación. De la misma manera, la recuperación del estado de conservación de nuestros hábitats marinos puede suponer una defensa frente a la invasión de *R. okamurae* y futuras invasiones. Para ello es importante identificar los principales elementos de perturbación (por ejemplo, contaminación o herbivoría por erizos) y tratar de gestionarlos para reducirlos, compaginando estas acciones con otras de restauración de los fondos marinos, como por ejemplo la regeneración de nuestros bosques marinos de fucas mediante técnicas in situ de trasplante o plantación. En ningún caso deberían abordarse estos

proyectos sin que se hayan identificado las causas de perturbación y se tenga control sobre las mismas.

#### 7.2.5. Métodos de prevención de la dispersión de *R. okamurae* desde poblaciones asentadas.

La detección de una nueva población de *R. okamurae* debe ser susceptible de actuaciones dirigidas a la reducción, tanto del impacto sobre la nueva zona, como a la prevención de su impacto a otras zonas por dispersión de propágulos. En este sentido las actuaciones destinadas a la prevención de la dispersión son especialmente importantes. Las actuaciones que a continuación se describen han sido adaptadas a partir del manual de respuesta rápida para *U. pinnatifida* del Gobierno Australiano (2020).

##### 7.2.5.1. Cuarentenas y control de movimiento de vectores.

En el momento en que se dé la voz de alarma de un potencial nuevo foco de invasión de *R. okamurae*, se debería de informar rápidamente a las autoridades competentes, como autoridades portuarias, asociaciones pesqueras o clubs náuticos, sobre la presencia de la especie y la conveniencia de limitar el acceso y los movimientos por la zona. En el momento en que se confirme la presencia de la especie se deberán implantar medidas como las siguientes, siempre que sea posible, para limitar el impacto del movimiento de embarcaciones y actividades en la zona:

- Restricción de movimientos de potenciales vectores (embarcaciones, actividades de buceo, etc) y prohibición de cualquier tipo de fondeo.
- Restricción de actividades pesqueras con actividades ligadas al bento.
- Prohibición de captura o liberación de aguas de lastre.
- Control de movimiento de personas.
- Apertura de una línea telefónica y/ o correo electrónico, donde se pueda informar de nuevos focos cercanos. Se puede estudiar la creación de perfiles en redes sociales que permitan un intercambio de información fluida a la ciudadanía.
- Realizar el seguimiento, si es posible, de vectores que hayan operado por la zona previamente. En caso de ser localizados, deberían ser inspeccionados, y si necesario, desinfectados.
- En el caso de embarcaciones destinadas a la actividad pesquera que hayan operado por la zona, solicitar la inspección de los equipos de pesca y, si es necesario, someterlas a desinfección.
- Señalización de la zona (poner alguna boya o baliza indicadora).
- Informar y, si fuera necesario, consultar a expertos.
- Estudiar la necesidad de determinar y delimitar diferentes áreas de cuarentena como las que se proponen a continuación:
  - o Área infestada: donde la especie ha sido confirmada.
  - o Área de contacto: área colindante a la zona infestada donde *R. okamurae* aún no haya sido encontrada, pero que podría ser igualmente invadida. En esta área se debería aplicar el mismo control de movimientos que en el área infestada. Esta

área debería ser suficientemente grande para poder realizar el seguimiento del avance de la invasión adaptada a la frecuencia de muestreo que se establezca en el protocolo de seguimiento.

o Área de control: área no invadida no colindante que rodee al área de contacto, donde se podría permitir el movimiento de vectores, pero de manera controlada. Su extensión deberá ser evaluada en función del avance de la invasión.

Este tipo de medidas deben implantarse de manera coordinada entre las administraciones implicadas en su gestión, que en este caso podrían ser medioambientales, pesqueras, portuarias y de seguridad. Además, requerirán protocolos de seguimiento de las áreas y de inspección de vectores.

#### 7.2.5.2. Vigilancia de vectores de alto riesgo.

Para una eficiente actuación de gestión de potenciales vectores de dispersión, es importante identificar aquellos que supongan un alto riesgo de transportar propágulos. En este sentido deberían considerarse como tales, todos aquellos que hayan estado en el área infestada o en el área de contacto desde el momento en que la especie fue detectada, e incluso desde un tiempo anterior, que puede ser de semanas a meses, dependiendo de la extensión y abundancia de *R. okamurae* en la zona y de la época del año. Además de embarcaciones, también deberían considerarse de alto riesgo, estructuras marinas como boyas, fondeos o materiales para la pesca tanto flotantes como depositadas en el fondo. Tanto estas estructuras como los vectores de riesgo deberán ser inspeccionados para la detección de propágulos, y en caso de ser desinfectados o no encontrarse propágulos, dejarán de ser considerados de alto riesgo. Vectores o estructuras que, sin haber estado en el área infestada o en el área de contacto, hayan estado en contacto o cercanía estrecha con aquellos que sí lo hayan estado, deberán ser considerados también como de alto riesgo y ser sometidos al mismo tratamiento de inspección y/o desinfección. En el caso de los vectores dentro del área de control, si los recursos lo permiten, todos deberán ser inspeccionados. La inspección tendrá que realizarse tanto de embarcaciones fuera como dentro del agua.

La inspección de las embarcaciones deberá estar centrada en la localización de restos de talos, que en caso de duda sobre su identificación deberán ser preservados (congelados, en formol o alcohol, o secos) para la observación por parte de personal especializado. Se deberá prestar especial atención a las siguientes partes de la embarcación: timón, hélices, quilla, cabos, sondas, anclas, cadenas, sentinas, cualquier hueco o estructura que pudiera almacenar agua en contacto con el mar, o cualquier estructura que pudiera permitir enganchar talos de *R. okamurae*. La inspección también debería cubrir espacios interiores y oquedades, para lo cual podría emplearse cámaras endoscópicas.

Se deberá contactar con los responsables de aquellas embarcaciones que se hayan identificado como de alto riesgo, y en caso de que no hayan entrado a puerto, requerirles que permanezcan alejados de la costa, y en todo caso nunca en una zona cuya batimetría podría permitir el establecimiento de los posibles propágulos, hasta su inspección. Aquellas embarcaciones que ya hubieran entrado a puerto o se encontraran atracados en zona cuya batimetría pudiera permitir el asentamiento de propágulos, deberán ser igualmente inspeccionadas, así como la zona donde se encontraran.

La inspección de las embarcaciones puede ser realizada tanto por las administraciones competentes que se asignen para tal desempeño. Sin embargo, para favorecer la rapidez de la actuación de inspección y descargar la carga de trabajo de la administración, se debería implicar a los patrones de los barcos sobre la importancia de su participación voluntaria en el proceso de inspección, por su especial importancia como potenciales vectores de dispersión de la especie. Para ello será necesario desarrollar materiales informativos que incluyan al menos aspectos relacionados con la identificación de la especie, su carácter invasor, la importancia del control de vectores, así como protocolos y métodos de inspección de la embarcación, desinfección de equipamiento y contacto con administraciones. Como se ha comentado anteriormente es necesario poder aportar un medio de contacto, donde los patrones puedan reportar los resultados de sus inspecciones, que pueden ser susceptibles de otras actuaciones de control y que pueden permitir una trazabilidad del potencial invasor de la nueva área infestada.

#### 7.2.5.3. Desinfección de vectores infestados.

Tras la inspección de un vector, en caso de encontrarse algún resto de *R. okamurae*, dicho vector tendrá que ser desinfectado. Dependiendo del tipo de vector y alcance del material transportado se podrá realizar la desinfección mediante alguno de los siguientes métodos, comprobados con eficacia en el caso de desinfección de *U. pinnatifida* (Manual de respuesta rápida para *U. pinnatifida*, 2020), pero para los cuales aún no se ha probado su eficacia para *R. okamurae*.

- Desinfección de cascos de embarcaciones. Aunque hasta el momento se desconoce si *R. okamurae* puede transportarse adherida a los cascos de los barcos, no puede descartarse que lo haga, dada su elevada capacidad de adherirse a sustratos de muy diversa naturaleza, tanto natural (piedras, rodolitos, moluscos, holoturias, etc) como de origen antropogénico (plásticos, vidrios, neumáticos, cuerdas, etc). Por ello se aconseja la inspección de los cascos de los barcos que se consideren de alto riesgo, y en caso de encontrarse en ellos talos de *R. okamurae* proceder a la eliminación de estos. Siguiendo las directrices dadas por Woods et al. (2007) para la limpieza de los cascos de los barcos, será preferible hacerla en tierra, empleando agua a presión aplicada sobre el casco, y una exposición al aire y al sol durante al menos una semana. En caso de que la limpieza haya que hacerla en el agua, esta podrá realizarse mediante el cepillado o raspado, el empleo de esponjas o bayetas, o sistemas de agua o aire a presión. Independientemente del método empleado se deberá de prestar especial cuidado en recoger todo el material que se desprenda, evitando cualquier liberación de este al agua.
- Desinfección de sistemas internos. Aunque no expuestos al mar abierto, los sistemas del barco que puedan ser receptores de agua de mar son potenciales de albergar y transportar talos de *R. okamurae*. Por ello, también deben ser desinfectados. Algunos tratamientos posibles son la limpieza con una solución de agua dulce al 2% de lejía por al menos una hora, la limpieza con una solución de detergente al 2% en agua dulce durante al menos 4h (estos tiempos tendrían que ser ensayados previamente para *R. okamurae*), limpieza con agua dulce

que dependiendo de la temperatura podrá ser por más o menos tiempo, aplicación de cloro o solución de sulfato de cobre.

- Retirada de talos enganchados a partes externas de los barcos. En el caso de encontrarse talos enganchados, por ejemplo, en la hélice (Fig. 18), se podrán retirar a mano; en caso de hacerlo en el agua hay que evitar que se vuelvan a liberar al agua. Hay que tener en cuenta que los talos de *R. okamurae* no muestran flotabilidad y se hunden, por lo que es importante no dejarlos libres en la columna de agua.



**Figura 17.** Talos de *R. okamurae* enganchados en la hélice de una embarcación pesquera. Foto: M. Altamirano.

- Desinfección de los equipos de pesca, estructuras flotantes, y material de buceo. Probablemente, estos sean vectores de dispersión de gran importancia en el caso de *R. okamurae*, sobre todo los equipos de pesca, que como ya se ha mostrado, son capaces de recoger enormes cantidades de talos, de grandes profundidades, y devolverlas a la zona fótica, donde pueden colonizar nuevos sustratos si son transportados a una zona que el rango batimétrico lo permita. En el caso de los equipos de buceo (trajes, chalecos, etc.), el riesgo es debido a que las actividades recreativas y/o profesionales para las que se emplean, se suelen realizar dentro de la zona fótica y sobre fondos susceptibles tanto de permitir la captación de propágulos como de introducirlos en nuevas zonas. El riesgo de transporte es menor en el caso de estructuras fijas como boyas, pero algunas de gran tamaño, como aquellas asociadas a actividades de acuicultura, pueden ser focos importantes de invasión desde donde pueden ser transportadas por los vectores que suelen visitarlas para su explotación. Algunas técnicas de desinfección utilizadas con *U. pinnatifida* han sido la inmersión a diferentes concentraciones y tiempos en diferentes sustancias como ácido acético (Forrest & Blakemore 2006), cloro o hipoclorito sódico, detergente (Gunthorpe et al. 2001), y agua dulce caliente o fría, así como secado al aire (Forrest & Blakemore 2006), o la aplicación de agua a presión (mayor de 2000 psi) (Forrest & Blakemore 2006). El

desarrollo de un protocolo y método de desinfección de los equipos de pesca es una pieza clave en la gestión de los vectores de dispersión de *R. okamurae*, como se explicará en detalle más adelante. La participación de los responsables de los centros y clubs de buceo, mediante la desinfección de los equipos después de su uso en áreas infestadas, colindantes o de control, también representa una oportunidad de añadir una presión sobre la especie invasora reduciendo su presión de propágulos. Para ello es necesario desarrollar materiales divulgativos sobre la especie, específicos para cada uno de los sectores, cuyos contenidos sean como los explicados en un apartado anterior.

#### 7.2.6. Seguimiento de poblaciones y rastreo de incursiones.

Una vez se ha detectado una nueva zona de ocupación de *R. okamurae* es importante su delimitación para determinar qué tipo de actuación requiere, si fuera posible, así como su seguimiento. El plan de seguimiento tendrá que basarse en la ubicación donde la especie haya sido inicialmente detectada, la biología de la especie, sobre todo en relación con su estrategia de dispersión, las comunidades nativas presentes, el diseño del seguimiento y del muestreo, teniendo en cuenta la sensibilidad del método, el análisis predictivo de áreas favorables para la especie, y cualquier otro factor que se considere de interés (factores sociales, por ejemplo).

Hay que tener en cuenta que el sitio donde se ha detectado la especie no tiene porqué ser el punto de inicio de la invasión, si bien puede ser el punto de inicio del seguimiento. Sin embargo, a la hora de delimitar el seguimiento es interesante retroceder intentando averiguar cuál ha podido ser la fuente de la nueva población, y de igual forma adelantarse hacia dónde puede la especie ir ampliando su área de distribución. Para esto último, los modelos predictivos de distribución basados en favorabilidad de hábitat, como los empleados en el análisis de riesgo de la especie, pueden ser una herramienta de gran utilidad.

El método de seguimiento debe incluir la recogida de información tanto del estado de las poblaciones de *R. okamurae* y su distribución espacial, como de la comunidad receptora. Debe ser un método que se adapte adecuadamente a los recursos disponibles y a los objetivos que persigue, y debería ser estandarizado al menos en cuanto a la recogida de muestras (no de su frecuencia imprescindiblemente), para poder realizar comparaciones espaciales y temporales. Variables interesantes para incluir en el seguimiento pueden ser área invadida estimada, distribución batimétrica, cobertura, morfotipo, presencia de estructuras de reproducción, tipo de comunidad acompañante, cobertura de la comunidad acompañante, presencia de especies clave (formadoras de paisaje y/o protegidas), así como cualquier observación que pueda ser de interés (evidencias de herbivorismo, de actividades en la zona, etc.). Esta información puede ser recogida por buceadores que realicen transectos diseñados ad hoc. Puede ser de interés dejar marcas señalizadoras del borde de invasión, así como sensores tipo HOBO que permitan el registro de la temperatura in situ. El empleo de ROVs puede ser útil en el caso del seguimiento del área invadida, pero no para la recogida de información que precisa de una búsqueda fina por parte de un buceador (por ejemplo, las estructuras de reproducción). No obstante, pueden complementarse la labor de los buceadores con ROVs, los cuales pueden llegar a zonas donde la seguridad de los buceadores o su tiempo de trabajo se ve comprometido. Para el registro de la información recogida, se diseñará una plantilla de toma de datos, y si fuera posible una aplicación para el volcado de dicha información, que debería



de ser de acceso público. La frecuencia del seguimiento dependerá de los recursos disponibles, pero al menos deberá realizarse una vez en cada estación para poblaciones muy asentadas, y para aquellas de reciente aparición, al menos una vez al mes durante seis meses para identificar la capacidad invasora en la nueva área.

La administración en materia de medio ambiente, podrá autorizar, cuando así lo considere, la participación en las acciones de seguimiento a terceros, incorporando los condicionantes que sean necesarios para garantizar tanto la calidad de los datos registrados como que dicha participación no favorezca el incremento poblacional de *R. okamurae*, ni su dispersión geográfica y/o batimétrica.

#### 7.2.7. Respuesta de emergencia

En caso de un evento de introducción que suponga un riesgo de alto impacto, será necesaria una respuesta rápida de emergencia. Este puede ser el caso, por ejemplo, de la presencia de una nueva población de la especie en una ubicación alejada de su rango actual de distribución, en una comunidad autónoma donde la especie no había sido citada todavía, en un área marina protegida donde no estaba citada, o que amenace alguna población de una especie protegida. Para que la respuesta sea lo más rápida posible administrativamente, son necesarios dos requisitos: primero, un protocolo establecido previamente de transferencia rápida de la información y de su valoración a través de los actores implicados en las administraciones responsables, y en segundo lugar una partida presupuestaria de rápida liberación para acometer las diferentes fases de la respuesta de emergencia.

Para la actuación rápida en caso de emergencia se sugiere el establecimiento de un protocolo de respuesta de emergencia, adaptado al caso de *R. okamurae* en España, a partir del establecido en el Manual de respuesta rápida para *U. pinnatifida* en Australia.

En este protocolo se establecen cuatro fases de activación, las dos primeras, pudiendo ser ejecutadas a la vez, pero de manera independiente. El paso de una fase a otra dependerá de la naturaleza de la emergencia y de la información disponible. Es importante establecer un protocolo de trazabilidad de todas las acciones, actores y decisiones asociadas a cada evento.

- **Fase 1. Fase de investigación.** Esta primera fase se activa en el momento que se recibe en la administración responsable (local, regional o nacional) un aviso de detección de una posible nueva población asentada de *R. okamurae*, independientemente de la fuente de la cita. Se decidirá que esta alerta es susceptible de actuación cuando se confirme algunos de los casos descritos al inicio de esta sección, se determine de manera rápida la existencia de un potencial impacto ecológico y socioeconómico, no sea objeto de gestión previa, y existan vectores de dispersión en la zona. Mientras se confirman estos puntos, pero existen evidencias de que es probable que sea una situación de emergencia, se activa la siguiente fase.
- **Fase 2. Fase de alerta.** Esta fase se activa cuando aún la fase 1 no se ha cerrado y está por confirmar la situación de emergencia, y depende en buena manera de un equipo que tiene que, por un lado, confirmar la identificación de la especie, para lo que las administraciones competentes podrán contar con centros de referencia reconocidos en su ámbito territorial, y por otro evaluar la extensión de la cita dada. En esta fase se

deben iniciar medidas de gestión de riesgo, por ejemplo, estableciendo un control de potenciales vectores o una cuarentena. Los resultados de la inspección se deben trasladar con la mayor rapidez posible a los responsables de la Fase 1. En caso de que se confirme que se trata de una situación de emergencia, se tendrá que valorar si la erradicación es factible o no. En caso de que no sea factible se debe garantizar la implementación de medidas de contención para evitar la dispersión a nuevos focos. En caso de que la erradicación sea factible, se deberá iniciar los trámites administrativos para la liberación del presupuesto para estos casos. Se debe continuar con la actuación de contención.

- **Fase 3. Fase operativa.** Se activa cuando se confirma la emergencia. En primer lugar, se debe informar a todas las administraciones con algún tipo de competencia sobre la situación. Se debe establecer un comité de asesoramiento. Se deben mantener las medidas iniciadas en la fase de alerta, así como iniciar la erradicación si fuera el caso. Se debe realizar seguimiento de todas las actuaciones, así como de la gestión económica de las actuaciones. Finalmente, en esta fase se debe decidir cuándo se procede a la última fase.
- **Fase 4. Fase de retirada.** Se inicia cuando exista consenso entre las administraciones responsables de la ausencia de necesidad de continuar con las actuaciones de la Fase 3, debido a la consecución de los objetivos marcados. Para ello es necesario establecer indicadores de éxito de las actuaciones que ayuden a la toma de decisiones en esta fase. Se debe asegurar la notificación del cese a todas las administraciones y personal implicados.

### 7.3. Gestión de biomasa desprendida.

La elevada productividad vegetativa de *R. okamurae* es responsable en buena parte de los impactos socioeconómicos que produce la especie. Por un lado la especie produce frecuentes y abundantes eventos de arribazones en las orillas de las playas, tanto de tramos de litoral donde la especie se encuentra asentada, como en aquellos donde, aunque la especie no esté presente, las corrientes marinas pueden haberlos transportarlos desde otras zonas más alejadas. Además, en muchos casos esta biomasa desprendida se aleja de la costa por acción de las corrientes marinas produciendo acúmulos de biomasa en mar abierto, que pueden decantar y permanecer a grandes profundidades fuera de la zona fótica, o ser resuspendidos, y con ello susceptibles de ser capturados accidentalmente como consecuencia de la actividad pesquera. Estas acumulaciones de biomasa deben ser objeto de gestión en el contexto de la presente Estrategia debido a los impactos socioeconómicos que producen para la gestión de playas así como para el sector pesquero, sumando a ello el incremento del potencial dispersivo de la especie que supone esta biomasa. Esta gestión debe tener como objetivo último minimizar el impacto de la especie y a ser posible contribuir a la mitigación de los mismos.

La gestión de la biomasa debe incluir desde su retirada en el punto de encuentro, en las playas o tramos de litoral, en el caso de arribazones, y en el mar en el caso de las capturas accidentales como consecuencia de la actividad pesquera, además de su transporte hasta una zona de acopio, para su posterior destrucción o posible valorización. Estos procesos forman parte de la gestión de la biomasa de *R. okamurae* y constituyen un punto importante dentro

de la presente Estrategia, y por ello debe ser responsabilidad única de la administración. En este sentido, las comunidades y ciudades autónomas, a través de los departamentos con competencia en conservación de biodiversidad y en colaboración con otras autoridades administrativas implicadas (ver tabla 1 del apartado 10.2 “Identificación de las Administraciones y organismos implicados”), desarrollarán Planes de gestión de biomasa de *R. okamurae*, que integren tanto la biomasa derivada de los arribazones como aquella capturada de manera accidental como consecuencia de la actividad pesquera. Será responsabilidad de las comunidades y ciudades autónomas la articulación de dichos Planes de gestión de biomasa en coordinación con el resto de administraciones, al amparo de la normativa vigente en materia de especies exóticas invasoras, y sin que ello implique una delegación de responsabilidad por parte de la administración en el contexto de la presente Estrategia de Control. Para la elaboración de dichos Planes de gestión autonómicos se podrá contar con el asesoramiento del Grupo de Trabajo de *R. okamurae*. Dichos planes deberán seguir los criterios y principios establecidos en la presente estrategia

### 7.3.1. Retirada de arribazones

La retirada de arribazones presenta una serie de beneficios importantes que minimizan el impacto de *R. okamurae*. Por un lado su retirada mantiene el valor recreacional de las playas españolas, así como la preservación de su buen estado ecológico, y por otro suponen el control poblacional de *R. okamurae* al disminuir la presión de propágulos de la especie en el medio natural.

Hay que entender que no hay una medida que se adapte a todas las circunstancias en el caso de la retirada de arribazones, y que antes de realizar cualquier acción hay que evaluar los principales factores espaciales, temporales, biológicos y de logística que la puedan condicionar. Además, es importante decidir cuál es el objetivo principal de la actuación, si se trata de recuperar el valor recreativo y/o ecológico del litoral y/o realizar un control poblacional y reducción de la presión de propágulos de *R. okamurae*. Dependiendo del objetivo, en algunos casos no será necesaria la retirada completa de los arribazones ni en toda la línea de costa. Para ayudar a la toma de decisiones por parte de la administración se aconseja la elaboración de un protocolo de actuación frente a un evento de arribazón, que incluya la trazabilidad de la biomasa gestionada.

Con el fin de poder ofrecer la mejor gestión posible de estos arribazones, y a ser posible de la manera más rápida, sería interesante investigar sobre qué factores determinan la presencia y abundancia de estos en las costas. Asimismo, identificar las playas y momentos en los que estos se produzcan con mayor frecuencia, para con ello poder preparar los medios necesarios para su gestión con antelación. Esto supondría la posibilidad de una mejor planificación, por ejemplo, de los sistemas de limpieza de playas, así como de los trámites administrativos relacionados con la gestión. Como siempre, la anticipación, supone una ventaja para la gestión.

El primer paso que dar en la gestión de los arribazones es decidir, dependiendo de las circunstancias, si es necesario y práctico retirar o no los arribazones presentes en el litoral. En el caso de que se trate de pequeñas cantidades discontinuas de biomasa de *R. okamurae*, que no estén emitiendo mal olor y que no impliquen acúmulos importantes en la línea de agua, o que se encuentren en zonas no turísticas o no críticas para la conservación de especies y

espacios de especial conservación, se puede dejar dichos arribazones en la costa, si bien siempre es aconsejable, si se puede, el retirarlos para facilitar el control poblacional y la disminución de la presión de propágulos. El dejar pequeñas cantidades de biomasa en las playas puede tener un efecto beneficioso enriqueciéndolas y estabilizándolas. Esta es sin duda la medida más simple y menos costosa.

Sin embargo, existen escenarios que requieren la retirada rápida de los arribazones, en cuanto sea posible, siendo de interés establecer una lista de actuación priorizada, para una mejor gestión de los recursos disponibles atendiendo a una serie de circunstancias, entre otras las siguientes:

- Presencia en zonas de alto valor ecológico (áreas marinas protegidas, poblaciones de especies o comunidades protegidas, zonas de nidificación de aves u otras especies, etc.).
- Gran abundancia de biomasa de arribazón.
- Orografía y naturalidad del sistema.
- Presencia en playas de gran afluencia turística.
- Dificultad de acceso a la zona de baño o pesca o a infraestructuras costeras (rampas portuarias, por ejemplo).
- Presencia en zonas expuestas donde existe un lavado frecuente del litoral que resuspenda rápidamente los arribazones.
- Cuando junto a los arribazones puedan observarse restos biológicos o químicos potencialmente tóxicos.
- Cuando los arribazones representen molestias (malos olores) o puedan ser tóxicos (emanación de gases tóxicos, por ejemplo, sulfhídrico) para la ciudadanía.
- Cuando impidan la gestión eficiente del litoral.

Hay que considerar que la retirada de arribazones no será recomendable en los casos de retroceso de la línea de costa, es decir cuando el material saliente es superior al entrante, provocando el retroceso de la playa. En estos casos, sería de interés analizar si los arribazones pudieran frenar dicho retroceso sin suponer un aumento en la presión de propágulos de la especie. Tampoco se recomienda la retirada de arribazones en el agua, puesto que, dada la naturaleza de la especie, no tiende a flotar sino a decantar, y solo por el movimiento de las olas vuelve a la columna de agua, lo que hace muy difícil una retirada eficiente. Además, se corre el riesgo de sacar del agua otras especies. Es preferible retirar la biomasa una vez arrojada en zona emergida. El uso de barreras flotantes tampoco es aconsejable por lo expuesto anteriormente.

La manera de retirar los arribazones puede ser manual o mecánica, dependiendo del volumen a retirar, la accesibilidad de la ubicación, la sensibilidad de la playa o litoral a la erosión por retirada, la presencia de especies sensibles, la climatología, el grado de humectación del terreno y la disponibilidad de medios mecánicos y equipos. A ser posible siempre se ejecutará la acción menos agresiva para el litoral y los organismos que incluya.

La retirada manual es menos intrusiva que la mecánica, tanto a nivel de erosión del litoral, como de perturbación tanto para los usuarios de las playas como de los organismos que en ella viven. La retirada manual se ejecutará en casos de arribazones de poco volumen continuo o discontinuo, en los que no sea necesaria una plantilla numerosa de operarios, y/o en lugares de difícil acceso con vehículos. Esta retirada puede realizarse en presencia de usuarios de las

playas. Se recomienda el empleo de rastrillos o tenedores para heno especialmente diseñados con dientes hacia arriba para minimizar el impacto sobre el sustrato. Siempre hay que evitar dañar la vegetación si la hubiere. La biomasa recogida se introducirá en sacos y será transportada en carretillas hasta su punto de recogida para transporte, siempre lejos de la línea de agua, para evitar ser devuelta al mar, y en una ubicación que no suponga molestias para los usuarios. En este punto podrá dejarse dicha biomasa, preferentemente dentro de dichos sacos, hasta que haya suficiente para ser retirada y transportada hasta su lugar de acopio y/o destrucción. Esta zona, deberá ser precintada y señalizada debidamente, con información por un lado destinada a la gestión (por ejemplo, indicar fecha de recogidas y cantidades, que faciliten la trazabilidad de la biomasa), y por otra a la educación y concienciación ciudadana (por ejemplo, explicando qué es y qué se ha hecho).

La retirada mecánica se empleará cuando las circunstancias y los medios disponibles no permitan una retirada manual. Este tipo de retirada se reservará para los casos de arribazones de gran volumen, y a ser posible, como se ha indicado anteriormente, se realizará cuanto antes tras la deposición de la biomasa sobre la playa. Se podrá emplear vehículos mecánicos que siempre deben emplear neumáticos desinchados parcialmente, provistos de rastrillos u otro equipamiento que permita una retirada lo menos agresiva posible para el sustrato de la playa o litoral, con especial cuidado de no hundirlos en el sustrato, favoreciendo con ello la erosión y la retirada de sustrato junto con la biomasa del alga. Debe evitarse uso de vehículos tipo motoniveladoras y retroexcavadoras con oruga y cubas que puedan horadar en profundidad la playa y remover el sustrato. Se debe evitar la retirada mecánica en presencia de usuarios de la playa o pescadores, para garantizar su seguridad, y nunca en zonas de nidificación o en presencia de especies sensibles o protegidas. Para minimizar el impacto sobre la playa se deberán establecer las zonas de acceso de la maquinaria a la playa y minimizar el número de maniobras a realizar para reducir el impacto sobre la misma. Con previsión de viento fuerte, se evitará este tipo de limpieza para reducir el transporte de talos por el viento y su devolución al agua. En playas con sistemas de dunas, se mantendrán franjas de reserva (3-5 m) donde la limpieza se hará manual y selectiva, así como zonas de limitado acceso y/o sensibilidad en la playa de actuación. En playas con granulometría gruesa se tendrá especial cuidado de no arrastrar la capa de cantos y arenas, y en caso de que sea inevitable, éstos deberán ser separados posteriormente de los restos del alga, preferiblemente en la misma zona de recogida, para ser devueltos a su sitio de origen de manera redistribuida, y sin que sean tratados como desecho.

El personal que ejecute estas retiradas con los vehículos, así como los que realicen retiradas manuales, deberán realizar cursos de formación, pues de su pericia depende en buena parte la eficiencia de la acción y la reducción en la erosión de la playa e impacto sobre las especies y comunidades. Además, el personal debe disponer de los EPIs necesarios para garantizar su seguridad en todo momento, que incluya el equipamiento necesario para evitar el contacto prolongado de la biomasa con la piel (empleo de guantes y botas de goma), así como la inhalación de posibles gases derivados de los procesos de descomposición química de la biomasa, como por ejemplo sulfhídrico, como se ha registrado ya en el caso de arribazones de *Sargassum* en el Caribe (Resiere et al. 2018, 2019) o de *Ulváceas* en la Bretaña francesa (FAFEOHS 2016). Dado que aún no se dispone de información sobre la naturaleza química de las emanaciones gaseosas de los arribazones de *R. okamurae*, y de cara a la seguridad de los operarios y de los usuarios de las playas, de deben extremar las precauciones y estar atentos

a cualquier síntoma asociado a intoxicación por inhalación, como hipoxia pulmonar, lesiones neurológicas y cardiovasculares (Querellou et al. 2005), irritación de las vías respiratorias altas, dolor de cabeza, síndrome vestibular o pérdida de memoria (Resiere et al. 2018, 2019). De igual manera, se prestará atención a cualquier indicio de intoxicación de organismos en la columna de agua, que puedan o no aparecer muertos o no en la playa.

### 7.3.2. Transporte, acopio y/o destrucción de arribazones.

Una vez retirada la biomasa de la zona de arribazón, ésta debe ser transportada a una ubicación donde no sea posible su reintroducción al mar, y donde pueda ser acumulada sin dañar el estado de conservación del sitio, ni de ninguno cercano, ni producir riesgos sanitarios o molestias a la ciudadanía. Para ello se pueden emplear vehículos de carga como camiones con cubas, que deberán ser pesadas antes de su llenado, para ayudar a la trazabilidad de los arribazones y conocer la cantidad de arribazón retirada en casa caso, que deberá ser pesado en el sitio de acopio o destrucción. Las labores de retirada y transporte deberán hacerse de manera coordinada, para evitar la acumulación en el espacio y en el tiempo de biomasa recogida en los sitios de retirada.

Para reducir el coste del transporte, el acopio de esta biomasa retirada deberá hacerse en la medida de lo posible, en lugares cercanos a los sitios de recogida, pero siempre bajo la monitorización continua de su impacto (efectos sobre el suelo, emanación de gases, presencia de insectos, etc.). Para reducir su volumen y facilitar su acúmulo, se tratará de favorecer su pérdida de humedad y viabilidad, mediante un proceso de secado al aire con ventilación, extendiéndola en la mayor superficie posible con un grosor no mayor de 10 cm; en la medida de lo posible se evitará su amontonamiento, que puede favorecer procesos de combustión interna. Si la biomasa recogida tiene mezclada gran cantidad de arena o piedras, deberá ser cribada previamente para su separación y posterior devolución de la arena y/o piedras o cantos a su punto de origen de manera redistribuida. No deberán mezclarse restos de diferentes retiradas, para mantener la trazabilidad de cada una de ellas hasta su destino final, así como permitir que cada acopio sufra sin interrupción su proceso de secado, optimizando los recursos empleados para ello. La biomasa resultante, tras el tratamiento de secado, si no existe demanda de esta, es aconsejable eliminarla por combustión en caldera o in situ, en caso de pequeñas cantidades. En ningún caso, se acumulará biomasa en espera de una posible demanda.

Por último, con vistas a una posible valorización de la biomasa retirada, y con el fin de facilitar la tramitación normativa de su uso, es de interés que esta biomasa, una vez retirada, pueda sufrir algún proceso que la inactive por completo biológicamente y con ello elimine su potencial invasor.

### 7.3.3. Gestión de biomasa de *R. okamurae* para su uso.

El uso de las especies exóticas invasoras viene regulado a nivel nacional en el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto y la Ley 42/2017, de 13 de diciembre, y a nivel europeo por

el Reglamento (UE) N<sup>o</sup> 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, y el Reglamento de Ejecución (UE) 2016/145 de la Comisión, de 4 de febrero de 2016.

En los tres primeros documentos citados, se establece la prohibición genérica de tenencia, transporte, cría, uso y comercio de las especies exóticas invasoras, pudiendo solicitarse permisos o autorizaciones que eximan de dichas prohibiciones bajo diferentes circunstancias.

A nivel nacional, el Artículo 7 del RD 630/2013 y el Artículo 64 de la Ley 42/2007, indican que dicha prohibición podrá quedar sin efecto, previa autorización administrativa de la autoridad competente, cuando sea necesario por razones de investigación, salud o seguridad de las personas, o con fines de control y erradicación, en el marco de estrategias, planes y campañas que, a tal efecto, se aprueben. Además, la Ley 42/2007 indica que se tendrá en cuenta la relevancia de los aspectos sociales y/o económicos de la actividad que afecten, y que en casos excepcionales debidamente justificados, por otros motivos imperiosos de interés público incluidos los de naturaleza social o económica, la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y de la Biodiversidad podrá dejar sin efecto, mediante acuerdo, algunas de dichas prohibiciones para una determinada especie, bajo garantías de asegurar que no se producirán efectos negativos sobre la biodiversidad autóctona. No obstante, la inclusión de una especie en el listado de especies exóticas invasoras de preocupación para la Unión obliga según el Artículo 64 bis de la Ley 42/2007, a que su gestión se desarrolle conforme a lo dispuesto en el Reglamento 1143/2014.

En dicho Reglamento se establecen excepciones a las restricciones indicadas en su Artículo 7, reguladas en el Artículo 8 para permisos (para investigaciones, conservación ex situ, o cuando el uso de productos derivados de la especie sea imprescindible para lograr avances en materia de salud humana, permitiéndose en tal caso la producción con fines científicos y el uso medicinal subsiguiente), y en el Artículo 9 para autorizaciones (por motivos imperiosos de interés público, incluidos los de naturaleza social o económica). En el caso de los permisos regulados por el Artículo 8, son los Estados miembros los responsables de facultar a sus autoridades competentes para la emisión de dichos permisos para actividades a realizar en espacios contenidos y, que cumplan con todas las condiciones indicadas en dicho artículo, quedando, en cualquier caso, dichos permisos regulados por lo citado en el Artículo 8 del reglamento 1143/2014. En el caso de las autorizaciones reguladas por el Artículo 9, los Estados miembros podrán expedir permisos en los supuestos anteriormente citados, previa autorización de la Comisión con arreglo al procedimiento establecido en dicho artículo y en las condiciones señaladas en el Artículo 8, apartados 2 y 3. Tanto en el caso de los permisos del Artículo 8 como los del Artículo 9, se deberá emplear el formato de documento indicado en el Reglamento de Ejecución (UE) 2016/145.

Además de estar incluida en el Catálogo Español de especies exóticas invasoras, también ha sido incluida en la Lista de especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión, por lo que su gestión queda regulada por los mencionados instrumentos legales comunitarios, tal y como establece el artículo 64 bis de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre. En este sentido, en lo que respecta a su uso, y dependiendo del objetivo del mismo, su permiso podrá ser emitido directamente por las administraciones españolas competentes, o por éstas previa autorización de la Comisión, siempre empleando el formato de documento indicado en el Reglamento de Ejecución (UE) 2016/145.

En el caso concreto de la gestión del uso de *R. okamurae*, es necesario incluir en la presente estrategia una serie de observaciones en relación con los lugares de recogida de material y a las estrategias de propagación de la especie, que matizan lo ya estipulado en los Artículos 8 y 9 del Reglamento 1143/2014 y 2016/145, y que afectan a la aplicación del Artículo 19 de dicho Reglamento. Atendiendo a la elevada capacidad de la especie de propagación vegetativa (propágulos) y de multiplicación asexual (monosporas) a lo largo del año, que a su vez se ve incrementada por la ruptura del talo y ciertas condiciones ambientales, la recolección de *R. okamurae* de poblaciones naturales o de material desprendido en la columna de agua o en la zona bentónica, no se permite para los supuestos de usos incluidos en dichos artículos, dado el elevado riesgo de favorecer la dispersión y propagación sin control posible de la especie en el medio marino, no admisible para otros usos diferentes de los incluidos en el Artículo 7 del RD 630/2013 y el Artículo 7 del Reglamento 1143/2014. Por otro lado, la recogida de material de arribazón depositado en el litoral solo deberá ser responsabilidad de la administración competente en el contexto de los Planes de Gestión de biomasa de *R. okamurae*, dado la complejidad del proceso para garantizar la mínima erosión del litoral, la mínima perturbación a los usuarios y a las especies, y la nula devolución de material de *R. okamurae* al mar para así ejercer acción sobre su control poblacional.

Estas matizaciones, implican que sólo se podrá hacer uso de biomasa de *R. okamurae* que ya haya sido retirada de la línea de costa en el contexto de los Planes de gestión de biomasa de *R. okamurae* que, como se ha indicado, son responsabilidad de las comunidades y ciudades autónomas, y para los fines anteriormente expuestos, principalmente el mantenimiento de los servicios recreacionales de las playas, del buen estado ecológico del litoral y el control poblacional de la especie. De esto se deriva que la valorización de la biomasa de *R. okamurae* no es entendida como una parte de su estrategia de control, al no participar en su control poblacional u otra acción comprendida en el concepto de control (reducir el área de distribución, limitar su abundancia y densidad, entendida en su hábitat natural, o impedir su dispersión), sino que debe suponer una medida de apoyo a la mitigación de los impactos que produce la especie en los sectores afectados, principalmente el pesquero, y para las administraciones responsables de la gestión de los arribazones y el mantenimiento del buen estado del litoral. Esto impide la aplicación del Artículo 19 del Reglamento 1143/2014 para el uso comercial de la biomasa de *R. okamurae*, contemplada en este Artículo como parte de las medidas de gestión (según la definición dada en dicho reglamento, cualquier acción letal o no letal destinada a la erradicación, control poblacional o contención de una población de una especie exótica invasora).

A riesgo de que la valorización de la biomasa producida por *R. okamurae* pueda promocionar el establecimiento de nuevas poblaciones en regiones geográficas aún sin su presencia, o aumentarla o perpetuarla en zonas ya invadidas (Oficialdegui et al. 2021), y atendiendo a la demanda social de su valorización por parte de determinados sectores, la presente estrategia contempla la autorización del uso de la biomasa de *R. okamurae* en los supuestos de los Artículos 8 y 9 del Reglamento 1143/2014, solicitando los permisos y autorizaciones indicados en cada uno de ellos para el uso correspondiente.

La recogida y posterior cesión para su uso, incluyendo la trazabilidad de dicha biomasa, será responsabilidad última de la administración. No obstante, en el marco de cada Plan de gestión de biomasa se establecerán los mecanismos más adecuados para ello, atendiendo a las particularidades de cada zona. Independientemente del método utilizado, deberá



garantizarse en todo momento que se cumplen las medidas y requisitos establecidos en los mencionados artículos 8 y 9 del Reglamento 1143/2014, de 22 de octubre.

#### 7.3.4. Actuaciones asociadas a las actividades pesqueras.

Atendiendo al impacto económico que produce *R. okamurae* sobre el sector pesquero y al interés de este en participar de manera activa en la gestión de la especie, se incluye el siguiente apartado para abordar el análisis de las situaciones que durante la actividad pesquera puedan ser susceptibles de actuaciones de prevención y control de la especie, en el contexto de la presente estrategia.

Para el abordaje de este punto se ha recabado información gracias a la mediación de FACOPE, mediante una reunión informativa con representantes de diferentes asociaciones pesqueras de Andalucía, cumplimentación de encuestas y conversaciones con patrones de embarcaciones pesqueras.

Los objetivos de las siguientes actuaciones son los siguientes:

- Minimizar y mitigar el impacto económico de *R. okamurae* sobre el sector pesquero.
- Ejercer control sobre las poblaciones de *R. okamurae*.
- Prevenir la dispersión de la especie.
- Identificar protocolos necesarios a desarrollar, específicos para las actividades pesqueras en relación con la gestión de *R. okamurae*.

##### *7.3.4.1. Actuación en el caso de captura accidental de biomasa de *R. okamurae* como resultado de la actividad pesquera.*

Es frecuente que los pescadores informen de capturas accidentales de grandes acúmulos de *R. okamurae* en mar abierto, los cuales se han recogido en un amplio rango batimétrico hasta los 500 m de profundidad, y que, en algunos casos, puedan llegar a pesar tanto como para comprometer la seguridad de la embarcación y la tripulación al ser izada, siendo este el caso sobre todo en las actividades de arrastre y trasmallos. Este evento fortuito, que ocasiona un importante impacto económico para el afectado (disminución de capturas, tiempo para limpieza de los equipos, pérdida de estas, etc.), puede ver aumentado su frecuencia temporal y ampliar su área geográfica con el avance del alga por nuestro litoral. Por todo ello es importante ofrecer una ayuda en la toma de decisiones a los patrones de los barcos en el caso de un encuentro de estas características con el alga.

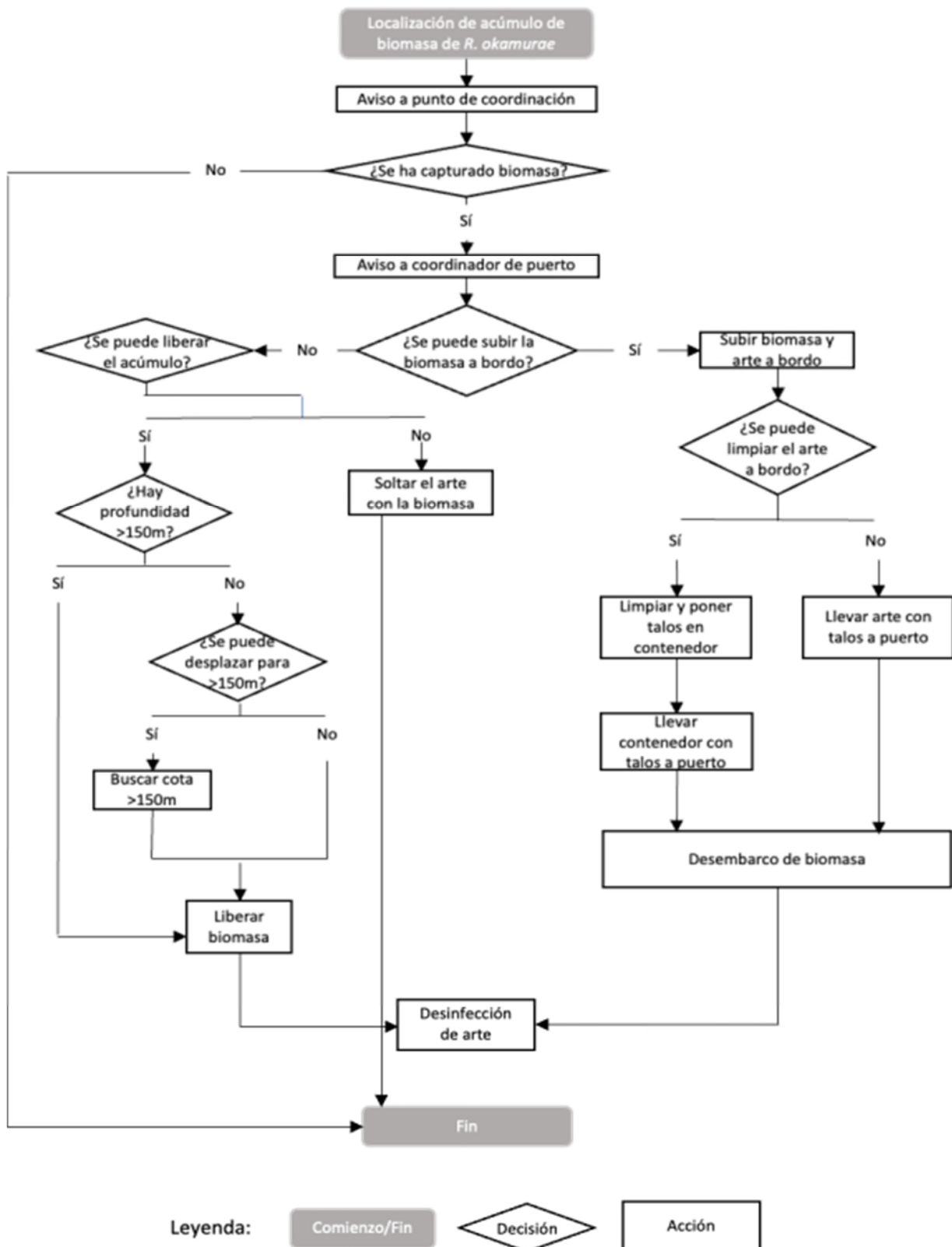
Como ya se ha argumentado anteriormente en otros puntos de esta estrategia, la prevención es la medida más eficiente frente a las especies exóticas invasoras. Contextualizando esta premisa en el escenario del impacto de *R. okamurae* en el sector pesquero, se deben explorar en primer lugar herramientas de coordinación dentro del propio sector, y entre éste y las administraciones con las que interactúe en el mar, para el intercambio de información relacionada con la detección de estos acúmulos y su distribución geográfica. Es cierto que estos cambian de ubicación movidos por las corrientes marinas y/o los vientos, pero en cortos periodos de tiempo y en condiciones oceanográficas y climáticas aún no bien entendidas, pudieran permanecer enclavados en un sitio durante un tiempo más o menos prolongado. En estos casos, el desarrollo de actividades pesqueras en esta zona debería ser restringido o

evitado para no favorecer la captura y resuspensión de talos potencialmente vivos dentro de la zona fótica, favoreciendo con ello la dispersión de la especie. Es necesario recordar en este punto que *R. okamurae* puede sobrevivir por lo menos tres semanas en oscuridad y luego seguir creciendo si se encuentran iluminados (Rosas-Guerrero et al. 2018). El desarrollo de un protocolo de alerta de acúmulos que incluya la distribución a tiempo real de los mismos, así como su batimetría, puede ser una herramienta útil que minimice el impacto de la especie para el sector pesquero de las zonas invadidas con un enfoque de prevención.

En el caso de la captura accidental de un acúmulo de talos de *R. okamurae* siempre debe primar la seguridad de la tripulación y la embarcación, y se recomienda dar aviso al punto de coordinación que se establezca, según lo mencionado anteriormente, sobre la localización exacta del encuentro y la biomasa capturada de manera estimada. Se sugiere, si es posible, tomar fotografías de la biomasa recogida y del detalle del alga para su posible confirmación taxonómica.

A continuación, se proponen posibles situaciones que se pueden dar durante la actividad pesquera y posibles actuaciones a realizar para la gestión del impacto de la especie (Fig. 19):

- *La captura realizada no se puede subir a la embarcación y sí compromete la seguridad de la tripulación y la embarcación.* En este caso, si fuera posible sería aconsejable hacer descender la captura hasta profundidades por debajo de los 150 m, para intentar su liberación fuera de la zona fótica, impidiendo con ello reactivar el crecimiento de los talos potencialmente vivos. Si la zona de captura no alcanzara dicha cota, sería recomendable el desplazamiento hasta una zona de mayor profundidad, siempre y cuando no comprometa la seguridad de la tripulación y la embarcación, y no suponga un impacto económico importante para el patrón. Si se consigue la suelta de la carga a las profundidades mencionadas y se consigue subir el arte a la embarcación posteriormente, se debe proceder como en el punto siguiente y comunicar al punto de control o coordinación sobre dicha suelta. En caso de que se tuviera que perder el arte con el alga, se deberá activar el Protocolo de actuación para la gestión de Artes de Pesca Perdidos o Abandonados, que está en proceso de elaboración por la Subdirección General de Protección del Mar del MITECO en el marco del Proyecto LIFE IP INTEMARES.
- *La captura realizada puede ser subida a la embarcación de forma segura y es posible su limpieza a bordo para seguir faenando.* En este caso se procede con la limpieza manual del arte, retirando los talos y depositándolos en un contenedor (capazo o bolsa) que impida su devolución al mar. Se recomienda que antes de ser devuelta el arte al mar, éstas sufran algún tratamiento de desinfección si fuera posible (baño en solución con lejía al 3%, por ejemplo). Este medio deberá ser renovado al llegar a puerto.
- *La captura realizada puede ser subida a la embarcación, pero no es posible su limpieza a bordo para seguir faenando.* En este caso la limpieza debe ser realizada en puerto.



**Figura 18.** Marco de apoyo a la toma de decisiones para el sector pesquero en el caso de encuentros con *R. okamurae* durante el ejercicio de la actividad pesquera.

La decisión última de cómo actuar cuando se recoge accidentalmente biomasa de talos desprendidos en suspensión o depositados en el fondo, o fijados al fondo, como resultado de un arrastre (en caso de encontrarse una población por debajo de los 50 m de profundidad), es siempre del patrón, que es quien debe evaluar la situación de riesgo en el sitio y el momento. No obstante, sería conveniente que, tras esa valoración, y de manera voluntaria, con el fin de contribuir positivamente en la gestión de la especie, como se ha dicho anteriormente, minimizando su impacto y reduciendo su dispersión, se intentara, a tenor de las situaciones anteriores, o bien volver a sumergir el acúmulo por debajo de la zona fótica, o bien retirar la biomasa del agua para ser llevada a puerto. En ningún caso, un arte de pesca que haya estado expuesta a talos de *R. okamurae* debería ser devuelta al mar sin haber pasado por algún tratamiento de desinfección previo, que pueda reducir o eliminar por completo el número de propágulos o talos presentes que pudieran sobrevivir y dispersarse al ser devueltos al mar. Se recomienda llevar siempre un recipiente para desinfectar los equipos de pesca en caso de captura.

Es importante tener en cuenta, que si una embarcación pesquera captura biomasa de *R. okamurae*, será considerado como un vector de alto riesgo, y estará sujeto al protocolo que para ello se determine, según se ha descrito anteriormente en esta estrategia.

#### *7.3.4.2. Gestión de acúmulos de biomasa capturados durante la actividad pesquera.*

##### *Distribución de responsabilidades*

La biomasa de *R. okamurae* que haya sido recogida de manera accidental como resultado de la actividad pesquera, será llevada a puerto, siempre y cuando no comprometa la seguridad de la tripulación y la embarcación durante la navegación.

Desde el momento en que la biomasa es desembarcada en puerto y hasta su retirada de este, debería ser objeto, dependiendo de las circunstancias de cada puerto, de un plan de gestión de biomasa de *R. okamurae* en puerto. Dicho Plan debería ser desarrollado en colaboración entre la autoridad portuaria, la administración pesquera y el sector pesquero profesional, previa consulta a las partes interesadas, con el fin de garantizar la correcta gestión de la biomasa de *R. okamurae* en el puerto. Será de interés la elaboración de una Guía de Usuario que contenga de manera sencilla y abreviada al menos la siguiente información: descripción del procedimiento de entrega y manejo de la biomasa, la situación de las zonas de acopio de biomasa, el contacto institucional del coordinador de puerto pesquero, a tal efecto, y servicios de apoyo a la desinfección ofertados. Las Guías de Usuario deberían estar actualizadas y disponibles de manera visible en el puerto, así como por medio electrónicos. La cofradía, entidad o empresa operadora del puerto pesquero, en colaboración con la Autoridad Portuaria, debería aprobar un nuevo plan de gestión al menos cada cinco años y, en todo caso, cuando se introdujeran cambios significativos que afecten al funcionamiento del puerto o a la prestación del servicio. Si en esos cinco años no se produce ningún cambio significativo, el nuevo proceso de aprobación podría consistir en la validación del plan existente. Se entiende por cambios significativos todas aquellas circunstancias sobrevenidas que afecten de modo relevante a las condiciones de prestación del servicio, y en particular, los relativos a los cambios estructurales en el tráfico del puerto, o el desarrollo de nuevas infraestructuras.

Las Autoridades Portuarias colaborarán con las cofradías, u otras entidades o empresas operadoras de las dársenas pesqueras, en la habilitación de espacios y equipamientos para la descarga, almacenamiento de biomasa y desinfección de artes de pesca; siendo responsabilidad de aquellos el desarrollo de las operaciones ligadas a la manipulación de biomasa y desinfección de equipamiento o artes de pesca.

No obstante, en el contexto de la presente estrategia, toda atribución realizada a terceros quedará condicionada al establecimiento de los mecanismos necesarios para la adecuada ejecución las mismas.

En dichos planes de gestión de biomasa en puerto sería necesaria la participación de un coordinador de puerto que podría ser el mismo que el que actuara como tal para la gestión de las basuras marinas, o ser una persona distinta asignada por la comunidad autónoma en coordinación con la autoridad portuaria. Las responsabilidades del coordinador de puerto serían como mínimo, la recepción de la biomasa para su acopio, su trazabilidad y su custodia, pudiendo incluirse también el traslado de esta hasta la zona de acopio.

Al igual que se establece para la gestión de basuras marinas en el RD 128/2022, las vías de financiación para estas actividades deberían partir de otros sistemas de financiación alternativos, como los de gestión de residuos o financiaciones de la Unión Europea, como FEMPA en su Prioridad 1, para cubrir los gastos de infraestructuras.

La retirada del material acopiado en puerto y su posterior gestión se realizarán en el contexto de los planes de gestión de biomasa de *R. okamurae* de cada administración, e integrarse dicha biomasa a aquella que se haya generado por arribazones de playas, permitiendo también su uso con fines de mitigación del impacto de la especie, en este caso sobre el sector pesquero.

[Fases de la gestión de biomasa de \*R. okamurae\* capturada durante la actividad pesquera \(Fig. 20\).](#)

**Fase 1. Desembarco de la biomasa y apertura de registro de servicio.** La biomasa de *R. okamurae* será desembarcada por parte del patrón para su gestión, con cuidado de que no se caiga ningún talo al agua. En caso de que ocurra, y en la medida de lo posible, se sacará del agua. Dicho desembarco iniciaría un proceso de registro de servicio y la trazabilidad de la biomasa recogida por parte del coordinador de puerto. Ya que el encuentro con la especie durante la actividad pesquera en el mar ha debido ser informado al centro de coordinación, se debería establecer un procedimiento de información a tiempo real, de dicho encuentro al coordinador de puerto, para que éste estuviera puesto sobre aviso de la llegada posible a puerto de biomasa de *R. okamurae*.

Tomando como modelo lo que se indica en el punto 1 del Artículo 9 del RD128/2022, el registro de servicio debería incluir como mínimo la siguiente información en el caso de la gestión de biomasa de *R. okamurae* en puerto: fecha de comienzo y finalización del servicio, identificación de la embarcación y del patrón, cantidad de biomasa (peso) de *R. okamurae* recogida, ubicación geográfica y batimétrica de la zona de captura, tipo de arte de captura, procedencia de limpieza de artes en puerto o en alta mar, medios empleados en la gestión en puerto (contenedores, espacio, transporte, etc), así como cualquier incidencia. No obstante,

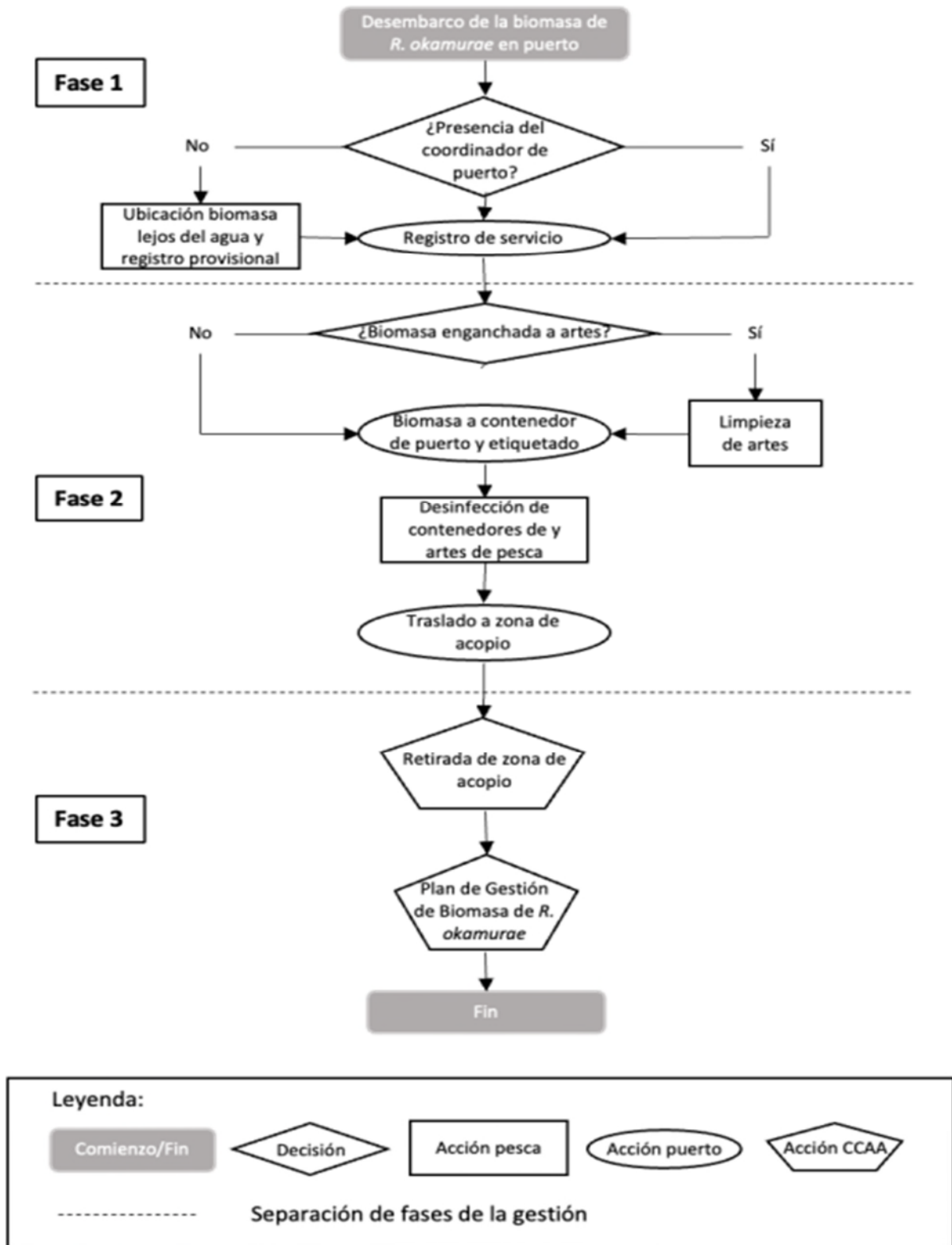
se deberían establecer los mecanismos adecuados para que dicho registro se realice de la manera más ágil y simplificada posible.

Fase 2. Recogida de la biomasa desembarcada y traslado a la zona de acopio. En caso de que la biomasa de *R. okamurae* desembarcada sea resultado de la limpieza de las artes de pesca en altamar, y venga en contenedores de propiedad del armador, esta biomasa debería ser transferida a contenedores específicos para la gestión de la biomasa en puerto, y cuyo tamaño deberá ser adecuado al volumen capturado y permeables para permitir la pérdida de agua. Estos contenedores deberían permitir un etiquetado fácilmente visible y resistente al agua, con el número de registro de servicio, para garantizar la trazabilidad de la biomasa capturada. Esta operación debería ser supervisada por el coordinador de puerto. En caso de que el coordinador no pudiera acudir al desembarco de la biomasa y su inmediata transferencia a los contenedores de puerto, la biomasa debería ser almacenada no más de 24h, en los mismos contenedores en los que se desembarcó, pero alejados del agua. Para estos casos se debería proveer a los armadores de los barcos de identificadores provisionales de registro que deberían ser colocados sobre la biomasa almacenada, hasta que ésta sea recepcionada por el coordinador de puerto y registrada. Los contenedores de dicha biomasa deberían ser objeto de desinfección antes de su reutilización. Se debería evitar realizar cualquier limpieza de material que pueda contener restos de *R. okamurae* cerca del agua.

Los contenedores etiquetados con la biomasa capturada se transferirían mediante los medios habilitados para tal fin, y supervisado éstos por el coordinador de puerto, a la zona de acopio de biomasa que hubiere destinado a tal efecto. Para el acopio, los contenedores deberían ser cerrados y dispuestos sobre una superficie elevada (por ejemplo, pallets) que permitiesen la liberación del agua. La zona de acopio debería estar ubicada lejos del agua para evitar una liberación accidental de la biomasa. Además, debería ser una zona al aire libre para favorecer la ventilación, pero techado para evitar que se moje con la lluvia. La zona de acopio debería estar debidamente señalizada dentro del puerto y a ser posible de acceso controlado (con candado, por ejemplo).

Aquella biomasa capturada que a su llegada a puerto estuviera aún enganchada a artes de pesca, debería ser desembarcada con extremo cuidado para evitar la caída de talos al agua durante el proceso. Las artes con los talos enganchados deberían ser objeto de inicio de registro de servicio, o en caso de que ya se hubiera desembarcado biomasa sin enganchar, ser incluida en dicho registro. Las artes con los talos enganchados serían ubicados alejados del agua para su limpieza. Para esto, se retirarían todos los talos que se puedan, que nunca podrían ser devueltos al mar o a las aguas interiores del puerto, y que se pondrían en contenedores específicos para la gestión de la biomasa en puerto, debidamente etiquetados con el número de registro de servicio. En el caso de que se precisara de más de un día para las labores de limpieza los contenedores se deberían tapar al terminar la jornada si aún no se hubieran llevado a la zona de acopio, para evitar la devolución accidental de talos por ejemplo por acción del viento. Esta biomasa en los contenedores seguirían los mismos pasos descritos anteriormente para el traslado y gestión para su acopio. Las artes tras su limpieza, y siempre antes de su reutilización deberían sufrir un proceso de desinfección en puerto.

Fase 3. Retirada de la biomasa del puerto. La retirada del material acopiado en puerto se realizaría en los términos que dicte el plan de gestión de biomasa de *R. okamurae* de cada administración. En dicho plan se debería establecer un tiempo máximo de permanencia de los acopios en puerto, para garantizar la prestación eficiente de los servicios de gestión de biomasa. La biomasa retirada se debería integrar con aquella que se haya generado por arribazones de playas, y ser gestionada de la misma manera. Con objeto de mitigar el impacto que *R. okamurae* pueda haber supuesto al armador de la embarcación responsable de recogida de biomasa de *R. okamurae* (disminución de la captura diaria, potencial daño en los equipos, combustible para el traslado de la biomasa a puerto o a zonas profundas, jornales para la limpieza de los equipos, acopio de la biomasa), al margen de cualquier compensación económica de cualquier administración, y con el fin de incentivar la participación del sector pesquero en la gestión de la especie, se debería tener en cuenta la participación de cada embarcación en la cantidad de biomasa de *R. okamurae* que pueda ser objeto de valorización posterior, tal y como ya se ha explicado anteriormente en la estrategia, de tal manera que los armadores que hayan contribuido con biomasa percibiesen parte de los beneficios de dicha valorización, en los términos que se estableciesen, para así mitigar en parte el impacto sufrido y los costes de la retirada de la biomasa.



**Figura 20.** Marco de apoyo a la toma de decisiones durante las fases de gestión de biomasa de *R. okamurae* capturada durante la actividad pesquera.



#### 7.3.4.3. *Desinfección de material asociado a las actividades pesqueras.*

Como ya se ha comentado, las embarcaciones que hayan estado en áreas de riesgo o áreas colindantes deberían ser inspeccionadas y desinfectadas. En cualquier caso, siempre y cuando se encuentren restos de algas que podrían ser atribuidos a *R. okamurae* deberían ser retirados inmediatamente, impidiendo su acceso al agua, independientemente del lugar donde esto ocurra y en la parte de la embarcación donde se haya encontrado. La inspección regular de las zonas de la embarcación susceptibles de transportar *R. okamurae*, debería realizarse tras cada ejercicio de pesca y siempre antes de faenar o visitar un sitio nuevo, pues esto evitaría la dispersión de la especie.

Si se ha faenado en áreas donde se haya registrado la presencia de la especie, los equipos de pesca deberían ser desinfectados si es posible, pero siempre y cuando estén hayan atrapado talos de *R. okamurae*. Para la eficiente desinfección de los equipos de pesca es necesario establecer protocolos basados en la toxicidad del alga a diferentes agentes de estrés, buscando aquellos que combinen corto tiempo de aplicación, elevada toxicidad, y bajo o nulo nivel de afectación al medio ambiente y riesgo para las personas durante su aplicación. Mientras se establecen estos protocolos y técnicas específicas para *R. okamurae*, se recomienda realizar desinfecciones con inmersión en agua dulce (tiempos prolongados, mayores de 24h), que puede contener lejía o cloro sólido. En caso de desinfectar con agua dulce, y cuando se reutilice el medio empleado en una desinfección previa, sería necesario comprobar la salinidad, para asegurar las condiciones de nula salinidad. Se desconoce la capacidad de adaptación osmótica de *R. okamurae* por lo que debe primar el principio de precaución en estos tratamientos. En cualquier caso, cualquier tratamiento siempre sería mejor que ninguno con el objetivo de desinfectar los equipos de pesca. Después de esto, los equipos deberían ser expuestos al aire. Si se ha realizado la inmersión con lejía, los equipos deberían ser lavados en puerto (puede hacerse con agua de mar) antes de su inmersión en el mar, para evitar la contaminación en el medio. Cualquier tratamiento que implique un compuesto químico, debería tener en cuenta la seguridad de las personas que lo apliquen. La desinfección de los equipos de pesca es una pieza clave en la gestión de los vectores de dispersión de *R. okamurae*.

Las Autoridades Portuarias colaboraran con las cofradías, y empresas o entidades, habilitadas para la explotación de las dársenas pesqueras en la habilitación de espacios y equipamientos para la desinfección de artes de pesca, siendo las asociaciones pesqueras y cada uno de los armadores, los responsables de los procesos de desinfección (aplicación de los mismos, adquisición de productos desinfectantes, gestión de usos de los contenedores, mantenimiento de los productos de desinfección, etc.)

## 8. INVESTIGACIÓN Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Para mejorar la gestión de *R. okamurae* es necesario seguir investigando sobre cuáles son las variables y los factores que condicionan la invasividad de la especie, así como la invasibilidad de las comunidades nativas, y que puedan ser susceptibles de manejo o que puedan ayudar a optimizar la estrategia de gestión. En este sentido, es necesario ahondar en determinados aspectos asociados a las estrategias reproductivas de la especie, como por

ejemplo si es capaz de completar su ciclo de vida o si por el contrario las poblaciones invasoras se mantienen con propagación clónica. Asimismo, es importante ahondar en la identificación de los vectores y vías de introducción y dispersión, incluyendo también el papel de las corrientes marinas tanto superficiales como profundas en la facilitación de la dispersión de la especie. Asimismo, es necesario conocer la naturaleza química de las emanaciones gaseosas al aire y agua de los arribazones para garantizar la seguridad de las personas y de los organismos. Conocer si *R. okamurae* puede dispersarse adherida a los cascos de los barcos.

Igualmente relevante resulta el estudio de la viabilidad de posibles métodos de control de la expansión de la especie, así como la evaluación del comportamiento de la especie a largo plazo tras una actuación de retirada con medios mecánicos.

Además, teniendo en cuenta los resultados que resulten de aplicación de las líneas de investigación anteriormente mencionadas, es necesario el desarrollo de métodos y protocolos que faciliten la ejecución de la presente estrategia de gestión por parte de los sectores implicados en la misma, entre los cuales ya se han identificado los siguientes:

- Métodos y protocolos de detección temprana y de seguimiento.
- Protocolos de actuación rápida ante un nuevo foco.
- Métodos y protocolos de gestión de biomasa tanto en zonas de recogida como en zonas de acopio.
- Protocolos de actuación para el sector pesquero.
- Métodos de erradicación, control poblacional y contención.
- Métodos de estimación de sus impactos económicos en bienes y servicios.
- Protocolos de coordinación entre administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales.
- Protocolos de seguimiento y control de vectores.
- Protocolo de trazabilidad de arribazones.
- Protocolos de seguimiento de cumplimiento de medidas incluidas en permisos y autorizaciones.
- Protocolo legal de cesión de biomasa, así como uno técnico, que pueda servir de apoyo a las administraciones en las licitaciones de cesión.
- Métodos de desinfección de vectores.

## 9. COMUNICACIÓN, SENSIBILIZACIÓN, EDUCACIÓN Y FORMACIÓN

Los impactos que produce *R. okamurae* afectan de manera directa al sector pesquero (disminución de capturas, daños a los equipos, etc.), y a las administraciones públicas (gestión de arribazones, costes de gestión, etc.), pero también a la ciudadanía en su conjunto, por alteración de los bienes y servicios ecosistémicos, como el uso recreativo de las playas y de los fondos marinos. Es por ello, que es fundamental la inclusión dentro de la presente estrategia de actuaciones enfocadas a la comunicación de información, la sensibilización y la educación del público en general y de los tomadores de decisiones como la clase política, así como la formación de profesionales que participarán en las actuaciones de control y de los sectores afectados en relación con los protocolos por establecer.

Para apoyar estas medidas se puede contar con la colaboración de asociaciones o de plataformas de ciencia ciudadana como Observadores del Mar o Centinelas del Mar, que pueden servir de interlocutor y de filtro en muchos casos entre el público en general y los científicos y/o la administración en la recogida de información sobre la especie, así como en las acciones de sensibilización, educación ambiental y/o formación. Su implicación y participación en la gestión de *R. okamurae* se considera imprescindible, y por ello es necesario explorar las vías de colaboración.

### 9.1. Comunicación.

Es importante que tanto el público en general como los sectores afectados reciban información relevante y fiable sobre *R. okamurae* (los impactos que está produciendo, los avances en su distribución geográfica y en su conocimiento, etc.) y sobre las actuaciones de gestión que se estén realizando y quienes las están ejecutando, pues esto favorece su implicación en el problema (Hind et al. 2016). La desinformación puede ser un obstáculo importante para la gestión de *R. okamurae*.

Por ejemplo, en el caso de una playa donde se realicen retiradas de arribazones, es importante colocar paneles informativos sobre dichas actuaciones, así como de alguna manera, realizar anuncios públicos avisando de dichas actuaciones, para que el usuario de la playa esté advertido. Si alguna zona está sometida a alguna restricción de acceso por la presencia de la especie, se deberá señalar adecuadamente, y en la medida de lo posible, informar de la normativa que la ampara.

Se pueden emplear diversos métodos de comunicación para dichos anuncios públicos, como señalizaciones, hojas informativas o folletos, infografías, teléfonos y/o correos de atención al ciudadano, radio, prensa, televisión, redes sociales, o portales webs de administraciones. La comunicación debe ser precisa, fácil de entender e interesante, para resultar lo suficientemente atractiva como para atraer y mantener el interés y la implicación del público. En el caso de la información dada por los medios de comunicación o redes sociales, en la medida de lo posible se debería evitar sesgos por cuestiones geográficas o políticas, así como informaciones contradictorias, que por un lado puedan confundir al público y por otro transmitir la idea de descoordinación entre administraciones. En el caso concreto de *R. okamurae*, la especie ha sido objeto de un amplio seguimiento por parte de los medios de comunicación (prensa escrita y online, radio y televisión), sin precedentes en Andalucía en relación a una especie de alga invasora. El papel que han tenido los medios de comunicación en hacerse eco de las demandas del sector pesquero no puede ser obviado, y ha servido, a la vez que, para informar, para sensibilizar al público sobre el problema.

Por otro lado, es importante el favorecer el intercambio de conocimientos e información entre los agentes generadores del mismo (científicos, gestores, partes afectadas), con el fin de un enriquecimiento mutuo que permita acelerar de manera sinérgica la mejora de la gestión de *R. okamurae*, con el fin de minimizar los impactos que produce, pero a la vez ofrecer oportunidades de aprendizaje que puedan ser aplicadas a la prevención de la introducción de nuevas especies exóticas. Para ello se sugiere la promoción de la celebración de encuentros uni o multidisciplinares (congresos, jornadas, talleres, etc), de manera frecuente, tanto presenciales como virtuales, teóricos y/o prácticos, que permitan este intercambio de

conocimiento e información. Asimismo, es necesario establecer mecanismos de participación pública de los agentes locales, económicos y sociales en el desarrollo de la estrategia.

## 9.2. Sensibilización y educación.

Existe un pensamiento general de que el medio marino es capaz de absorber todos los impactos, y que éstos no llegan a alcanzar de manera importante ni directa a la vida en el medio terrestre. Esto genera una menor sensibilidad del público en general por los problemas en el medio marino, comparado con el medio terrestre, y en buena parte es debido a carencias educativas.

Si no consideramos al sector pesquero, son pocos los colectivos que están atentos a los cambios en el medio marino. Por ejemplo, los buceadores, que tan solo pueden realizar observaciones directas del mismo durante periodos de tiempo relativamente mucho más cortos que los que se puede observar el medio terrestre, y además con mucha mayor dificultad logística. Es por ello que, en muchos casos, los impactos que se producen en el medio marino, sobre todo los ambientales, no llegan a penetrar en las conciencias del público en general y de los tomadores de decisiones (políticos, gestores), como mucho si se trata de impactos a especies paraguas como los cetáceos. A esto hay que sumar el hecho de que existe una mayor sensibilidad hacia los organismos animales que hacia los vegetales, que en el caso de las algas se acentúa.

La escasa sensibilidad ante los problemas del medio marino puede suponer un impedimento para gestionar los impactos de las especies exóticas invasoras en este medio, que puede verse acentuado en el caso de que se trate de un alga, como es el caso de *R. okamurae*, conllevando una falta de apoyo para la dotación económica para actuaciones de control, o el riesgo de una visión inadecuada del estado de conservación de nuestros ecosistemas marinos, de los que tantos bienes y servicios recibe la sociedad.

Es por tanto una prioridad de esta estrategia el incrementar la sensibilidad hacia los problemas del medio marino en general, del impacto de las especies exóticas invasoras en este medio, del papel las macroalgas marinas invasoras como agente cambio y hacia los impactos de *R. okamurae* en concreto.

De hecho, la colaboración ciudadana con personal estrechamente vinculado a las áreas afectadas puede constituir una herramienta de utilidad para la detección, evaluación y seguimiento de algunos de los impactos ecológicos producidos por esta especie

El abordaje de la sensibilización se debe hacer desde actuaciones de comunicación y educación ambiental, dirigidas tanto al público en general como a los políticos/gestores. Es importante que estas actuaciones concreten el objetivo a abordar para adecuar su contenido, formato o duración al colectivo receptor de las mismas. Se considera importante abordar colectivos como el sector pesquero, usuario de playas (turistas y nacionales), escolares, personal docente, personal técnico relacionado con la estrategia, autoridades portuarias, políticos y gestores, entre otros. Los contenidos de los materiales y actividades deberían ser evaluados por expertos, para asegurar el rigor de la información aportada. Estos contenidos deberán abordar diferentes temas como, por ejemplo, el problema de las especies exótica invasoras, la descripción de *R. okamurae* y otras especies con las que se pueda confundir, la importancia del control de vectores y la prevención, los impactos que produce y su coste

económico y ambiental, las estrategias de control, la importancia de la desinfección de materiales de riesgo y vectores, etc.

Las actuaciones destinadas a la sensibilización y educación ambiental en el contexto de la presente estrategia pueden ser campañas generalizadas de especies exóticas invasoras en el medio marino, actividades de divulgación (charlas, jornadas, talleres), diseño de material educativo, creación de perfiles en redes sociales o páginas webs donde difundir los resultados de proyectos de investigación, aplicaciones móviles para la detección temprana de la especies invasoras, etc. En este sentido sería interesante establecer colaboraciones con asociaciones no gubernamentales que trabajen con el medio marino, que puedan apoyar las iniciativas que se establezcan, como por ejemplo la Sociedad Española de Ficología.

### 9.3. Formación.

En la presente estrategia se indica la necesidad de establecer protocolos y métodos para el abordaje de diferentes fases de las actuaciones de prevención, gestión y control. El conocimiento de todos ellos por parte de los responsables de su seguimiento y ejecución es una pieza clave para garantizar la efectividad de dichas medidas. Es por ello, que dentro de esta estrategia se contempla como una necesidad las actuaciones de formación destinadas a la capacitación y acreditación del personal responsable de la ejecución de las acciones que así lo precisen. Algunas de estas actuaciones de formación además tendrán el doble objetivo de garantizar la seguridad de los actores implicados. Estas acciones formativas deberán ser llevadas a cabo por personal experto en la materia, y estar sometidas a un continuo proceso de evaluación y actualización para adaptarse a los avances en la estrategia y nuevas necesidades de formación.

Con el fin de trabajar en la coordinación general de la estrategia a nivel nacional, sería interesante identificar las actividades formativas de contenido genérico de aplicación en todo el ámbito nacional, diseñando materiales específicos para esas acciones de formación pero que sean comunes a nivel nacional.

Los destinatarios de estas acciones formativas pueden ser los técnicos implicados en las diferentes actuaciones de prevención y control (por ejemplo, los técnicos de seguimiento que deben saber identificar correctamente a *R. okamurae*, pero también los elementos de las comunidades nativas), el sector pesquero (formación en materia de desinfección, gestión de biomasa, etc), personal de administración responsable, por ejemplo, de los permisos o licitaciones, autoridades portuarias.

## 10. ACTUACIONES DE COORDINACIÓN ENTRE DIFERENTES ADMINISTRACIONES PÚBLICAS

## 10.1. Justificación.

La coordinación inter e intra administrativa es un elemento imprescindible en la estrategia de gestión de *R. okamurae*. Para que una estrategia de gestión sea exitosa la coordinación a nivel internacional, estatal, autonómico y local es necesidad de primer orden. Además, esta coordinación debe hacerse extensiva al resto de sectores afectados por la invasión, así como a la comunidad científica (Andersen 2005; Dana et al. 2019; DOUE 2014; Wotton et al. 2004;). Estos últimos autores señalan, que esto es especialmente importante en el caso de estrategias de gestión a largo plazo, tanto para reducir el grado de decisiones arbitrarias y subjetivas en relación con la gestión de las especies exóticas invasoras, como para hacer un uso más eficiente de los recursos económicos, que por lo general son escasos y constituyen una de las deficiencias más habituales para la implementación de los objetivos planteados (Dana et al. 2019). Además, debe tenerse en cuenta una aproximación adaptativa a la gestión, incorporando fluidez, flexibilidad y pragmatismo en la toma de decisiones (Andersen 2005; Wotton et al. 2004).

Esta necesidad de coordinación se hace especialmente evidente en el medio marino donde, además de las particularidades del propio medio, en relación con la dificultad para la implementación de acciones de gestión, las competencias están muy compartidas por diferentes niveles administrativos, por lo que establecer mecanismos para lograr una coordinación rigurosa y eficaz entre todas las administraciones públicas implicadas es clave para el éxito de esta. No obstante, a pesar de las dificultades que plantea el medio marino, una respuesta puede ser efectiva con un plan de gestión y herramientas apropiadas (Wotton et al. 2004; Andersen 2005). La reciente presencia de *R. okamurae* en otros países fronterizos con España en los que también ha manifestado su carácter invasor, subraya la necesidad de una coordinación a nivel internacional. Como señala el reglamento 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras, debe impulsarse la cooperación transfronteriza, en particular con los países vecinos y la coordinación entre Estados miembros, en particular dentro de la misma región biogeográfica de la Unión. Los Estados miembros harán todo lo posible por garantizar una estrecha coordinación con los Estados miembros afectados. La finalidad última de esta coordinación es la elaboración de protocolos estandarizados y basados en evidencias científico-técnicas para guiar la toma de decisiones y evitar la aplicación de estrategias diferentes y erráticas entre países vecinos, regiones e incluso municipios. Uno de los escasos ejemplos más notables de éxito de desarrollo de una estrategia de gestión en el medio marino lo constituye el caso de *U. pinnatifida* en Nueva Zelanda, donde la coordinación entre los diferentes sectores implicados, junto con la capacidad de financiación, son elementos claves en dicha estrategia (Gnanalingan & Hepburn 2019). Otro ejemplo en el que la coordinación fue clave en el éxito del programa ha sido la erradicación de *C. taxifolia* en California (Andersen 2005).

En España, hasta la actualidad las diferentes actuaciones llevadas a cabo en materia de gestión en relación con *R. okamurae* han sido desarrolladas a nivel particular por diferentes administraciones y sin el paraguas de un plan de actuación común y coordinado para la especie. La Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía ha desarrollado través de la AMAYA y el IFAPA, y en colaboración con la empresa OCEAN CLEANER TECHNOLOGY, un estudio de la caracterización del alga invasora *R. okamurae* y la posible valorización de su biomasa en las costas de Andalucía (CAGPYDS, 2020). La Junta

de Andalucía también ha dotado de ayudas económicas como medida de apoyo directo al sector pesquero afectado por esta especie invasora. La Consejería de Medio Ambiente y Servicios Urbanos de la ciudad autónoma de Ceuta a través de OBIMASA ha llevado a cabo labores de limpieza de playas retirando los arribazones producidos por *R. okamurae*. Por último, diversos ayuntamientos afectados de forma particular por esta especie y la Autoridad Portuaria de Algeciras han llevado a cabo actuaciones para la retirada de arribazones de *R. okamurae* en diferentes playas.

La coordinación de la presente Estrategia es competencia del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), y su seguimiento se llevará a cabo a través del Grupo de Trabajo de Especies Exóticas Invasoras (GTEEI) dependiente del Comité de Flora y Fauna Silvestres (CFFS).

## 10.2. Identificación de las Administraciones y organismos implicados

En relación con el plan de gestión para *R. okamurae* se han identificado las siguientes administraciones con competencias en la implementación de acciones vinculadas a la gestión de la especie, las cuales se señalan en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1.** Autoridades implicadas en la gestión de *R. okamurae* y sus competencias asociadas.

AUTORIDAD / RESPONSABLE	COMPETENCIA
Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación (MITECO).	Elaboración de la Estrategia, coordinación de su aplicación y seguimiento. Gestión de la especie en el medio marino, excepto en aquellos espacios protegidos de competencia autonómica, y de aquella biomasa llegada a tierra
Dirección General de la Costa y el Mar (MITECO).	Control y eliminación en el Dominio Público Marítimo-Terrestre.
Consejerías con competencias ambientales en el medio marino de las comunidades y ciudades autónomas afectadas o con posibilidad de serlo por <i>R. okamurae</i> .	Control y eliminación en el medio natural de su comunidad.
Puertos de titularidad estatal.	Colaboración y coordinación con cofradías de pescadores o gestores del puerto pesquero
Puertos de gestión autonómica (Pesqueros y deportivos)	Control y eliminación en sus instalaciones.
Puertos de gestión privada	Control y eliminación en sus instalaciones.
Autoridades regionales (como Diputaciones Forales) así como administraciones locales (Diputaciones Provinciales Cabildos, Consejos insulares y Municipios)	Control y eliminación en zonas de su competencia
Cuerpos de seguridad del estado y otros agentes de la autoridad o con capacidad inspectora.	Control de la tenencia ilegal, cultivo o dispersión, el tráfico ...etc
Federación Española de Municipios y Provincias, así como otras asociaciones regionales de municipios.	Labor de difusión a a nivel local
Dirección General de Pesca Sostenible (MAPA)	Colaboración en la detección temprana, control y eliminación
Consejerías con competencias en pesca en aguas interiores	Coordinación con cofradías de pescadores, colaboración en la detección temprana,

### 10.3. Requerimientos de la coordinación

La coordinación entre las administraciones implicadas se realizará en el marco de un grupo específico de *Rugulopteryx okamurae*. Este grupo de trabajo, dependiente del Comité de Flora y Fauna Silvestres, está integrado por representantes con competencias en la gestión de especies exóticas de las CCAA, el MITECO y sus organismos autónomos. Cuando así se requiera, este grupo podrá contar con la participación de representantes de la administración local (incluyendo Diputaciones Provinciales, Diputaciones Forales, Cabildos y Consejos Insulares), organismos públicos relacionados con esta problemática, expertos y sectores afectados.

La estrategia debe contemplar la incorporación activa de todos los actores relacionados con la temática y que se incluyen en la tabla 1. Asimismo, la estrategia debe estar abierta a la participación de otros agentes sociales y económicos interesados (asociaciones pesqueras, colectivos ambientales, grupos de desarrollo rural, sindicatos, empresas, fundaciones, etc.), a través de programas sociales, financiación privada o voluntariado, y siempre con la coordinación del organismo responsable en cada caso. Cabe mencionar que siempre deben existir responsables técnicos autorizados dirigiendo las actuaciones bajo la tutela del organismo competente.

Para el desarrollo y aplicación de esta Estrategia se requiere:

- Elaborar y actualizar protocolos de trabajo en relación con la prevención y detección precoz de *R. okamurae*.
- Recopilar información facilitada por comunidades autónomas y otros organismos.
- Informar a las distintas administraciones sobre el desarrollo de las actuaciones.
- Fomentar la interacción y el intercambio de información entre las distintas administraciones, al objeto de poder difundir la información.
- Fomentar el establecimiento de medidas de coordinación y colaboración con otros países que tengan problemática similar. Se fomentará, asimismo, la participación e implementación de las resoluciones y recomendaciones en esta materia de los convenios internacionales suscritos por España.
- Contemplar el desarrollo de instrumentos normativos que permitan la mejor coordinación administrativa de las medidas a adoptar. Especialmente relevantes parecen los aspectos relacionados con el control del movimiento de embarcaciones y con la práctica de la pesca como vectores de dispersión secundaria.
- Contemplar la posibilidad de crear un equipo técnico de asesoramiento in situ de intervención inmediata para que actúe en los casos de pronta detección, al objeto de eliminar focos incipientes. Así mismo, la coordinación debe contemplar herramientas de respuesta rápida presupuestaria para la implementación de actuaciones de emergencia.



## 11. SEGUIMIENTO DE LA EFICACIA DE LA APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Para el seguimiento de la eficacia de la aplicación de la presente estrategia, el Grupo de Trabajo de *R. okamurae*, deberá realizar informes periódicos sobre:

- La situación y evolución de la problemática de la especie.
- El nivel de cumplimiento, funcionamiento y aplicación de la propia estrategia y los planes y proyectos relacionados con la especie.

Para el seguimiento de la situación y evolución de la problemática de la especie, será necesario crear los canales de coordinación necesarios para recopilar de manera centralizada, la información disponible y actualizada de la distribución de la especie en el litoral español, y su volcado en una única base de datos, que debería permitir ser usada en una aplicación informática asociada, que permitiera la creación de mapas de distribución a tiempo real. Para esto es necesaria la implicación de las administraciones competentes, con la coordinación del MITECO. Además, se debería poder aplicar dentro de esta misma base de datos, un filtro que permitiera identificar aquellos tramos del litoral español afectados por eventos de arribazón.

Para realizar el seguimiento en la aplicación de esta estrategia, es necesario aplicar un conjunto de indicadores o descriptores, que deberán informar sobre el grado de aplicación de las diferentes actuaciones, así como del nivel de éxito en la consecución de sus objetivos. Esto implica la necesidad de una eficiente coordinación entre todas las administraciones responsables de la ejecución de actuaciones dentro de esta estrategia, de tal manera que informen de manera centralizada sobre las mismas y sus resultados, permitiendo con ello la creación de una base de datos de actuaciones que permita evaluar la consecución de los objetivos globales de la estrategia en su conjunto. Las actuaciones deberían de ser clasificadas en función de sus objetivos (prevención, control, gestión, erradicación, investigación, coordinación, etc), y aplicar para cada grupo los mismos indicadores de éxito, independientemente de los protocolos o métodos utilizados, con el fin de evaluar de manera objetiva la efectividad de cada una de ellas. Se proponen a continuación algunos indicadores para cada tipo de actuación:

- Prevención: número de nuevos focos de infección, frecuencia temporal de aparición de nuevos focos, embarcaciones en cuarentena, biomasa retirada como consecuencia de la actividad pesquera.
- Erradicación: superficie erradicada, cobertura, abundancia de individuos (densidad y/o biomasa), nº de áreas erradicadas, biomasa eliminada
- Control y contención: superficie invadida y su evolución en el tiempo, cobertura, abundancia de individuos (densidad y/o biomasa), nº de focos nuevos.
- Investigación: nº de proyectos financiados, importe destinado a investigación, investigadores y centros implicados.
- Coordinación: nº de administraciones implicadas, nº de actuaciones conjuntas, nº de reuniones.
- Comunicación, sensibilización, educación y formación: nº de eventos y tipo realizados, nº de participantes, nº de noticias, nº seguidores en redes sociales.

## 12. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTES DE LA APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

El coste económico de cualquier actuación de gestión de *R. okamurae* nunca debería superar al coste económico de los impactos que quiera minimizar, aplicado esto al coste global de la estrategia en su conjunto, de ahí la importancia de la estimación del impacto económico antes de la actuación.

Al estar *R. okamurae* todavía en un proceso activo de expansión en el litoral español no es posible realizar una valoración precisa de los costes de la aplicación de la presente estrategia, máxime cuando los modelos predictivos de la distribución de la especie indican una alta favorabilidad de buena parte de nuestras costas para la especie. Además, la propuesta de una licitación para el uso de biomasa retirada de *R. okamurae* por parte de entes privadas, pueden suponer una mitigación del impacto económico de la especie, en relación con los costes de la aplicación de la presente estrategia, desconociéndose hasta el momento la cuantificación económica que implicaría dicha demanda.

Hay que considerar, que en comparación con las estrategias centradas en especies exóticas invasoras terrestres, la gestión de especies marinas, supone un coste más elevado por la dificultad que implica realizar trabajos con buceo con escafandra autónoma, por ejemplo, y la limitación del tiempo efectivo de trabajo.

No obstante, sería interesante crear una base de datos de las inversiones que se realicen para la gestión de *R. okamurae*, por un lado con el fin de evaluar la relación coste-beneficio de la estrategia en su conjunto, y por otro por la posibilidad de solicitar subvenciones europeas de compensación, en el caso de que existieran.

## 13. VIGENCIA Y REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA

El ámbito de aplicación de la estrategia abarca todo el territorio nacional. Su vigencia es indefinida, realizando su revisión cada cinco años y, de cualquier forma, cuando lo exija la situación de la especie objetivo. El órgano encargado de supervisar el grado de cumplimiento de la estrategia será la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad. No obstante, se recomienda evaluar periódicamente su cumplimiento y revisar en qué fase se encuentra. De esta forma, la estrategia tiene que ser flexible para ir adaptando el trabajo e intensidad según los resultados obtenidos, así como a cambios de la especie en relación con el Reglamento (UE) Nº1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014.

En la medida en que se produzcan y conozcan variaciones sustanciales respecto al control de esta especie exótica invasora, se podrá ir revisando el contenido, redefiniendo las directrices o medidas previstas que se estimen necesarias, con objeto de evaluar la respuesta a las medidas de gestión, control y posible erradicación propuestas.

## 14. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

Acevedo, P., & Real, R. (2012). Favourability: concept, distinctive characteristics, and potential usefulness. *Naturwissenschaften*, 99 (7), 515-522.

Agatsuma, Y., Kuwahara, Y., & Taniguchi, K. (2005). Life cycle of *Dilophus okamurae* (*Phaeophyceae*) and its associated invertebrate fauna in Onagawa Bay, Japan. *Fisheries Science* 71, 1107–1114.

Agencia EFE, (2021). “*Rugulopteryx okamurae*, alga invasora que puede convertirse en salsa picante”. <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/rugulopteryx-okamurae-alga-invasora-que-puede-convertirse-en-salsa-picante/10004-4580069#:~:text=La%20Rugulopteryx%20Okamurae%2C%20una%20alga,del%20problema%20medioambiental%20que%20supone>. En prensa, accedido el 02/06/2022.

Altamirano, M., De La Rosa, J., & Martínez, F.J. (2016). Arribazones de la especie exótica *Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee and H.S. Kim (*Dictyotales, Orchrophyta*) en el Estrecho de Gibraltar: primera cita para el Atlántico y España. *ALGAS* 52, 20.

Altamirano, M.J., De La Rosa, J., Martínez, F.J.G., & Muñoz, A.R.G. (2017). Prolifera en el Estrecho un alga nunca citada en nuestro litoral de origen asiático. *Quercus* 374, 32-33.

Altamirano, M., de La Rosa, J., Carmona, R., Zanolla, M., & Muñoz, A. R. (2019). Macroalgas invasoras en las costas andaluzas. *Algas* 55 e, 10-13

Andersen, M.C., Adams, H., Hope, B., & Powell, M. (2004). Risk analysis for invasive species: general framework and research needs. *Risk Analysis* 24, 893-900.

Anderson, L. W. (2005). California’s reaction to *Caulerpa taxifolia*: a model for invasive species rapid response. *Biological Invasions* 7 (6), 1003-1016.

Aquenal (Aquatic Environment Analysts) (2007). Pre-developing technology for marine pest emergency eradication response: review of current technology. Report for the Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, 39–44.

Cabanellas-Reboredo, M., Blanco, A., Deudero, S., & Tejada, S. (2010). Effects of the invasive macroalga *Lophocladia lallemandii* on the diet and trophism of *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) and its guests *Pontonia pinnophylax* and *Nepinnotheres pinnotheres* (Crustacea: Decapoda). *Scientia Marina* 74, 101-110.

CAGPyDS (2020). Resultados de los Trabajos con *Rugulopteryx okamurae* en la ZEC y PN del Estrecho en el marco del Convenio Suscrito Entre Amaya, Agapa y Ocean Cleaner Technology S.L., Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. Sevilla: Agencia de medio Ambiente y Agua de Andalucía.

Carney, L.T., & Edwards, M.S. (2006). Cryptic process in the sea: a review of delayed development in the microscopic life stages of marine macroalgae. *Algae* 21, 161–168.

- Casal-Porras, I., Zubía, E., & Brun, F. G. (2021). Dilkamural: A novel chemical weapon involved in the invasive capacity of the alga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 257, 107398.
- Casirola, D. M., & Ferraris, R. P. (2006).  $\alpha$ -Glucosidase inhibitors prevent diet-induced increases in intestinal sugar transport in diabetic mice. *Metabolism* 55 (6), 832-841.
- Carlton, J. T., & Geller, J. B. (1993). Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261 (5117), 78-82.
- Choi, C.G., Oh, S.J., & Kang, I.J. (2010). A Study on the Community Structure of Subtidal Marine Algae in Kijang, Korea Chang. *Journal of Faculty Agriculture Kyushu University* 55, 39-45.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2017). Informe: Presencia del alga invasora *Rugulopteryx okamurae* en el Parque Natural del Estrecho. Junta de Andalucía. Sevilla, 15.
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2019). Informe: Actualización de los datos sobre la presencia de *Rugulopteryx okamurae* en el P.N. del Estrecho y otras zonas del litoral andaluz. Junta de Andalucía. Sevilla, 18.
- Coutts, A.D.M. (1999). Hull fouling as a modern vector for marine biological invasions: investigation of merchant vessels visiting northern Tasmania. Master Thesis, Australian Maritime College, Launceston, Tasmania, Australia 283.
- Cuevas, B., Arroba, A. I., de Los Reyes, C., Gómez-Jaramillo, L., González-Montelongo, M. C., & Zubía, E. (2021). Diterpenoids from the brown alga *Rugulopteryx okamurae* and their anti-inflammatory activity. *Marine Drugs*, 19 (12), 677.
- Dana, E. D., García-de-Lomas, J., Verloove, F., & Vilà, M. (2019). Common deficiencies of actions for managing invasive alien species: a decision-support checklist. *NeoBiota* 48, 97-112.
- David, M., Gollasch, S., Cabrini, M., Perkovič, M., Bošnjak, D., & Virgilio, D. (2007). Results from the first ballast water sampling study in the Mediterranean Sea—the Port of Koper study. *Marine Pollution Bulletin* 54 (1), 53-65.
- David Smith, L., Wonham, M. J., McCann, L. D., Ruiz, G. M., Hines, A. H., & Carlton, J. T. (1999). Invasion pressure to a ballast-flooded estuary and an assessment of inoculant survival. *Biological Invasions* 1 (1), 67-87.
- Dawson, E.Y. (1950). Notes on some Pacific Mexican Dictyotaceae. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 77, 83-93.
- De Clerck, O. (2003). The genus *Dictyota* (*Dictyotales*, *Phaeophyta*) in the Indian Ocean. *National Botanic Garden* 13, 205.
- De Clerck, O., Leliaert, F., Verbruggen, H., Lane, C.E., De Paula, J.C., Payo, D.A., & Coppejans, E. (2006). A revised classification of the *Dictyoteae* (*Dictyotales*, *Phaeophyceae*) base on rbcL and 26S ribosomal DNA sequence analysis. *Journal of Phycology* 42, 1271-1288.
- De la Lama-Calvente, D., Fernández-Rodríguez, M. J., Llanos, J., Mancilla-Leytón, J. M., & Borja, R. (2021). Enhancing methane production from the invasive macroalga *Rugulopteryx okamurae* through anaerobic co-digestion with olive mill solid waste: process performance and kinetic analysis. *Journal of Applied Phycology* 33 (6), 4113-4124.

De Paula, J.C.D., Vallim, M.A., & Teixeira, V.L. (2011). What are and where are the bioactive terpenoids metabolites from *Dictyotaceae* (*Phaeophyceae*). *Revista Brasileira de Farmacognosia* 21, 216-228.

Deudero, S., Blanco, A., Box, A., Mateu-Vicens, G., Cabanellas-Reboredo, M., & Sureda, A. (2010). Interaction between the invasive macroalga *Lophocladia lallemandii* and the bryozoan *Reteporella grimaldii*. *Biological Invasions* 12, 41–52.

El Aamri, F., Idhalla, M., & Tamsouri, M.N. (2018). Occurrence of the invasive brown seaweed *Rugulopteryx okamurae* (EY Dawson) IK Wang, WJ Lee and HS Kim (*Dictyotales, Phaeophyta*) in Morocco (Mediterranean Sea). *MedFAR* 1, 92–96.

[https://www.europasur.es/tarifa/Junta-proyecto-alga-invasora-plantillas-zapatos\\_0\\_1599740796.html](https://www.europasur.es/tarifa/Junta-proyecto-alga-invasora-plantillas-zapatos_0_1599740796.html) EuropaSur (2021). La Junta da el visto bueno a un proyecto para convertir el alga invasora en plantillas de zapatos.

Faria, J., Prestes, A.C.L., Moreu, I., Cacabelos, E., Martins, G.M. (2022). Dramatic changes in the structure of shallow-water marine benthic communities following the invasion by *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) in Azores (NE Atlantic). *Marine Pollution Bulletin* 175. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113358>

Flagella, M.M., Verlaque, M., Soria, A., & Buia, M.C. (2007). Macroalgal survival in ballast water tanks. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1395-1401.

French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (2016). Green algae, risks to surrounding populations, walkers and workers. <https://www.anses.fr/en/content/green-algae-risks-surrounding-populations-walkers-and-workers>

Forrest, B. M., & Blakemore, K. A. (2006). Evaluation of treatments to reduce the spread of a marine plant pest with aquaculture transfers. *Aquaculture* 257 (1-4), 333-345.

Fusetani, N. (2004). Biofouling and antifouling. *Natural Product Reports* 21, 94-104.

García-Gómez, J. C. (2015). A guide on environmental monitoring of rocky seabeds in Mediterranean marine protected areas and surrounding zones.

García-Gómez J.C., Florido M., Olaya-Ponzzone L., Rey Díaz de Rada J., Donázar-Aramendía I., Chacón M., Quintero J.J., Magariño S. & Megina C (2021b) Monitoring Extreme Impacts of *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) in El Estrecho Natural Park (Biosphere Reserve). Showing Radical Changes in the Underwater Seascapes. *Front. Ecol. Evol.* 9:639161. [doi.org/10.3389/fevo.2021.639161](https://doi.org/10.3389/fevo.2021.639161)

García-Gómez J.C., Garrigós M. & Garrigós J. (2021c) Plastic as a Vector of Dispersion for Marine Species With Invasive Potential. A Review. *Front. Ecol. Evol.* 9:629756. [doi.org/10.3389/fevo.2021.629756](https://doi.org/10.3389/fevo.2021.629756)

García-Gómez, J.C., González A.R., Maestre M.J., & Espinosa F. (2020a). Detect coastal disturbances and climate change effects in coralligenous community through sentinel stations. *PloS One*, 15(5). [doi.org/10.1371/journal.pone.0231641](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231641)

García-Gómez, J.C., Sempere-Valverde, J., Ostalé-Valriberas, E., Martínez, M., Olaya-Ponzzone, L., González, A.R., Espinosa, F., Sánchez-Moyano, E., Megina, C., & Parada, J.A. (2018). *Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee & H.S. Kim (Dictyotales,

Ochrophyta), alga exótica “explosiva” en El Estrecho de Gibraltar. Observaciones preliminares de su distribución e impacto. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibaltareños* 49, 103-119.

García-Gómez, J. C., Sempere-Valverde, J., González, A. R., Martínez-Chacón, M., Olaya-Ponzzone, L., Sánchez-Moyano, E., Ostalé-Valriberas, E., & Megina, C. (2020b). From exotic to invasive in record time: The extreme impact of *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) in the strait of Gibraltar. *Science of The Total Environment* 704, 135408.

García-Gómez, J. C., Floridon, M., Olaya-Ponzzone, L., Sempere-Valverde, J., & Megina, C. (2021). The invasive macroalga *Rugulopteryx okamurae*: Substrata plasticity and spatial colonization pressure on resident macroalgae. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9, 1-15.

Glasby, T. M., Creese, R. G., & Gibson, P. T. (2005). Experimental use of salt to control the invasive marine alga *Caulerpa taxifolia* in New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 122 (4), 573-580.

Gollasch, S., Lenz, J., Dammer, M., & Andres, H. G. (2000). Survival of tropical ballast water organisms during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea. *Journal of Plankton Research* 22 (5), 923-937.

Gollasch, S., Mac Donald, E., Belson, S., Botnen, H., Christensen, J.T., Hamer, P.J., Houvenaghel, G., Jelmert, A., Lucas, I., Masson, D., Mccollin, T., Olenin, S., Persson, A., Wallentinus, I., Wetseyn, L.P.M.J., & Wittling, T. (2002). Life in ballast tanks. In: Leppä-Änköski, E., Gollasch, S., Olenin, S. (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe, Distribution, Impact and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, ND, 217–231.

Gómez-Zaldúa, C., Carmona, R., de la Rosa, J., & Altamirano, M. (2021). Cambios estacionales en reproducción y biomasa del alga invasora *Rugulopteryx okamurae* (Dictyotales, Ochrophyta) en el estrecho de Gibraltar. III Congreso de Jóvenes Investigadores del Mar, Motril, 160-161.

Guiry, M.D. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2019). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 2 June 2022.

Gunthorpe, L., Mercer, K., Rees, C., & Theodoropoulos, T., (2001). Best practices for the sterilisation of aquaculture farming equipment: a case study for mussel ropes. *Marine and Freshwater Resources Institute Report* 41.

Harada, H., & Kamei, Y. (1997). Selective cytotoxicity of marine algae extracts to several human leukemic cell lines. *Cytotechnology* 25, 213.

Hay, C. H. (1990). The dispersal of sporophytes of *Undaria pinnatifida* by coastal shipping in New Zealand, and implications for further dispersal of *Undaria* in France. *British phycological journal* 25 (4), 301-313.

Hewitt, C. L., Campbell, M. L., & Schaffelke, B. (2007). Introductions of seaweeds: accidental transfer pathways and mechanisms. *Botanica Marina* 50, 326-337.

Hind, C., Oxenford, H., Cumberbatch, J., Fardin, F., Doyle, E., Cashman, A. 2016. *Sargassum muticum* Management Brief. Golden Tides: Management Best Practices for Influxes of *Sargassum* in the Caribbean with a focus on clean-up. United Nations Environment Programme.

- Hörnig, I., Schnetter, R., & Prud'homme van Reine, W.F. (1992). The genus *Dictyota* (*Phaeophyceae*) in the North Atlantic. I. A new generic concept and new species. *Nova Hedwigia* 54, 45-62.
- Huang S.F. (2000). Seaweeds of northeastern Taiwan. National Taiwan Museum, Taipei, 233.
- Hwang, I.K., Lee, W.J., Kim, H.S., & De Clerck, O. (2009). Taxonomic reappraisal of *Dilophus okamurae* (*Dictyotales, Phaeophyta*) from the Western Pacific Ocean. *Phycologia* 48 (1), 1-12.
- Jeong, S. Y., Qian, Z. J., Jin, Y. J., Kim, G. O., Yun, P. Y., & Cho, T. O. (2012). Investigation of  $\alpha$ -Glucosidase Inhibitory Activity of Ethanollic Extracts from 19 Species of Marine Macroalgae in Korea. *Natural Product Sciences* 18 (2), 130-136.
- Junta de Andalucía (2014). Informe sobre la presencia e intento de erradicación del alga exótica invasora *Caulerpa racemosa* en Punta Javana, Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería). Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz.
- Junta de Andalucía. 2015. Informe final Resultados 2016. Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz. En red: [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-documento/-/asset\\_publisher/jXKpcWryrKar/content/informes-regionales-sobre-gesti-c3-b3n-sostenible-del-medio-marino-andaluz-2008-2018-/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-documento/-/asset_publisher/jXKpcWryrKar/content/informes-regionales-sobre-gesti-c3-b3n-sostenible-del-medio-marino-andaluz-2008-2018-/20151)
- Kajimura, M. (1992). Vegetative propagation in *Dilophus okamurae* and *Zonaria flabellata* (*Dictyotaceae, Phaeophyta*). *Shimane University* 26, 95-106.
- Kim, M.S., Kim, J.Y., Choi, W.H., & Lee, S.S. (2008). Effects of seaweed supplementation on blood glucose concentration, lipid profile, and antioxidant enzyme activities in patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Research and Practice* 2, 62-67.
- Klein, J., & Verlaque, M. (2008). The *Caulerpa racemosa* invasion: A critical review. *Marine Pollution Bulletin* 56, 205-225.
- Kolwalkar, J.P., Sawant, S.S., & Dhargalkar, V.K. (2007). Fate of *Enteromorpha flexuosa* (Wulfen) J. Agardh and its spores in darkness: implications for ballast water management. *Aquatic Botany* 86, 86-88.
- Lee I.K., & Kang J.A. (1986). A check list of marine algae in Korea. *Korean Journal of Phycology* 1, 311-325.
- Leukart, P., & Lüning, K. (1994). Minimum spectral light requirements and maximum light levels for long-term germling growth of several red algae from different water depths and a green alga. *European Journal of Phycology* 29, 103-112.
- Lewis, P. N., Riddle, M. J., & Hewitt, C. L. (2004). Management of exogenous threats to Antarctica and the sub-Antarctic Islands: balancing risks from TBT and non-indigenous marine organisms. *Marine pollution bulletin* 49 (11-12), 999-1005.
- Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (2007). Boletín Oficial del Estado, 299, sec. I, 51275-51327, de 14 de diciembre de 2007. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21490>
- Liulea, S. (2021). Invasion of the Reds? Long-term shifts on intertidal seaweed at distribution limits. *Mestrado em Biologia Marinha. Universidade do Algarve*.

- Madl, P., & Yip-Wong, M. (2005). National Management Plan for the Genus *Caulerpa*: Literature Review of the Aquarium Strain of *Caulerpa taxifolia*. *Aquatic Nuisance Species Control*, 87-135.
- Marine Pest Sectoral Committee (2015). Rapid response manual for '*Undaria pinnatifida*'. Department of Agriculture, Canberra, December. CC BY 4.0
- Mercado, J. M., Gómez-Jakobsen, F., Korbee, N., Aviles, A., Bonomi-Barufi, J., Muñoz, M., Reul, A., & Figueroa, F. L. (2022). Analyzing environmental factors that favor the growth of the invasive brown macroalga *Rugulopteryx okamurae* (*Ochrophyta*): The probable role of the nutrient excess. *Marine Pollution Bulletin* 174, 113315.
- Mineur, F., Belsher, T., Johnson, M.P., Maggs, C.A., & Verlaque, M. (2007). Experimental assessment of oyster transfers as a vector for macroalgal introductions. *Biological Conservation* 137, 237-247.
- Muñoz, A. R., Martín-Taboada, A., De la Rosa, J., Carmona, R., Zanolla, M., & Altamirano, M. (2019). La modelación de la distribución de especies como herramienta en la gestión de invasiones biológicas en el medio marino: el caso de *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotaceae*, *Ochrophyta*) en el Mediterráneo. *Algas* 55e, 37-40.
- Navarro-Barranco, C., Muñoz-Gómez, B., Saiz, D., Ros, M., Guerra-García, J. M., Altamirano, M., Ostalé-Valriberas, E. & Moreira, J. (2019). Can invasive habitat-forming species play the same role as native ones? The case of the exotic marine macroalga *Rugulopteryx okamurae* in the Strait of Gibraltar. *Biological Invasions* 21 (11), 3319-3334.
- Navarro-Barranco, C., Moreira, J., Espinosa, F., Ros, M., Rallis, I., Sempere-Valverde, J., Ostalé-Valriberas, E., Altamirano, M., García-Gómez, J.C., & Guerra-García, J. M. (2021). Evaluating the vulnerability of coralligenous epifauna to macroalgal invasions. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31 (9), 2305-2319.
- Norris, J.N. (2010). Marine Algae of the Northern Gulf of California: *Chlorophyta* and *Phaeophyceae*. *Smithsonian Contributions to Botany*, 141.
- Ocaña, O., Afonso-Carrillo, J., & Ballesteros E. (2016). Massive proliferation of a dictyotalean species (*Phaeophyceae*, *Ochrophyta*) through the Strait of Gibraltar. *Rev. Acad. Canar. Cienc.* 28, 165-170.
- Oficialdegui, F. J., Delibes-Mateos, M., Franch, N., Altamirano, M., & Clavero, M. (2021). Prohibir o no prohibir, ¿no hay más opciones para legislar sobre invasiones biológicas?. *Ecosistemas* 30 (3), 2272-2272.
- Okamura, K. (1916). List of marine algae collected in Caroline and Mariana Islands, 1915. *Shokubutsugaku Zasshi*, 30 (349), 1-14.
- Omori, M., Taniguchi, K., Shiraishi, K., & Seki, T. (2000). Distribution of benthic invertebrates in relation to zonal structure of algal communities in a rocky subtidal area, Tomari-hama, Oshika Peninsula, northern Japan. *Benthos Research* 55, 69–83.
- O'Neill, K. M., Schreider, M. J., Redden, A. R., & Glasby, T. M. (2007). Lack of epifaunal response to the application of salt for managing the noxious green alga *Caulerpa taxifolia* in a coastal lake. In *Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats*, 135-142. Springer, Dordrecht.



Patón D., García-Gómez J.C., Loring J., Torres A. (2022). Composting the invasive toxic seaweed *Rugulopteryx okamurae* using five invertebrate species, and a mini-review on Composting Macroalgae. *Waste Biomass Valor.* doi.org/10.1007/s12649-022-01849-z

Patzner, R. A. (1998). The invasion of *Lophocladia* (*Rhodomelaceae*, *Lophotaleae*) at the northern coast of Ibiza (Balears, western Mediterranean Sea). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 75-80.

Piazzì, L., & Balata, D. (2009). Invasion of alien macroalgae in different Mediterranean habitats *Biological Invasions* 11, 193–204.

Plan de acción sobre las vías de introducción y propagación de las especies exóticas invasoras en España (2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Pulido, C. (2017). *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales*, *Ochrophyta*): Morfología, anatomía y estrategias reproductoras de una nueva especie exótica de macroalga en el Estrecho de Gibraltar. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Málaga 34.

Pulido, C., & Altamirano, M. (2017). *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales*, *Ochrophyta*): una posible invasión críptica en el Estrecho de Gibraltar. II Congreso de Biodiversidad y Conservación de la Naturaleza, Almería.

Querellou, E., Jaffrelot, M., Savary, D., Savry, C., & Perfus, J.P. (2005). Fatal outcome of an hydrogen sulfide poisoning. In *Annales Francaises D'anesthesie et de Reanimation* 24 (10), 1302–13004.

Ramos, A. (2019). Qué hacer con el alga asiática invasora. *El Faro de Ceuta.* <https://elfarodeceuta.es/que-hacer-alga-asiatica-invasora/>. En prensa, accedido el 02/06/2022.

Real Decreto 1143/2007, de 31 de agosto, por el que se modifican los Reales Decretos 634/1993, de 3 de mayo, sobre productos sanitarios implantables activos; 414/1996, de 1 de marzo, por el que se regula los productos sanitarios; y 1662/2000, de 29 de septiembre, sobre productos sanitarios para diagnóstico in vitro (2007). *Boletín Oficial del Estado*, 210, sec I, de 1 de septiembre de 2007, 36289-36296. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15890>

Real Decreto 630/2013 de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras (2013). *Boletín Oficial del Estado*, 185, sec I, de 2 de agosto de 2013, 56764-56786. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-8565>

Real, R., Barbosa, A.M., & Vargas, J.M. (2006). Obtaining environmental favourability functions from logistic regression. *Environmental and Ecological Statistics* 13, 237–245.

Reglamento (UE) N°1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo (2014). Sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras, del 22 de octubre de 2014.

Reglamento de ejecución (UE) 2016/145 de la comisión (2016). Por el que se adopta el formato del documento que ha de servir de prueba para el permiso expedido por las autoridades competentes de los Estados miembros que permita a los establecimientos llevar a cabo ciertas actividades sobre las especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión de conformidad

con el Reglamento (UE) Nº1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 4 de febrero de 2016.

Resiere, D., Valentino, R., Nevière, R., Banydeen, R., Gueye, P., Florentin, J., Cabié, A., Lebrun, T., Mégarbane, B., Guerrier, G., & Mehdaoui, H. (2018). *Sargassum* seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. *The Lancet* 39, 2691.

Resiere, D., Mehdaoui, H., Névière, R., & Mégarbane, B. (2019). *Sargassum* invasion in the Caribbean: the role of medical and scientific cooperation. *Revista Panamericana de salud pública* 43, e52.

Ribera, M.A. (2003). Pathways of biological invasions of marine plants. In: *Invasive species. Vectors and management strategies*. Ed. G.M. Ruiz & J.T. Carlton. Island Press, Washington, DC, 183-286.

Rierra, F., Pou, S., Grau, A. M., Delgado, O., Weitzmann, B., & Ballesteros, E. (1994). Eradication of a population of the tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean): methods and results. In 1<sup>st</sup> International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Nice, 17-18.

Robles, R. (2010). *Conservación y desarrollo sostenible del mar de Alborán*. IUCN.

Rosas-Guerrero, J., Meco, Y.E., & Altamirano, M. (2018). Could *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales, Ochrophyta*) have been introduced by ballast waters? *Algas* 54, 52.

Rosas-Guerrero, J., Carmona, R., & Altamirano, M. (2020). Efecto de la temperatura y la irradiancia sobre el crecimiento, la propagación vegetativa y la actividad fotosintética del alga invasora *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales, Ochrophyta*). *Algas* 56, 106.

Rosas-Guerrero, J., Carmona, R., & Altamirano, M. (2022). Efecto de los nutrientes y la temperatura sobre el crecimiento y la fotosíntesis del alga invasora *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales, Ochrophyta*). *Contribuciones al conocimiento de las Especies Exóticas Invasoras*. GEIB 6 (90), 93.

Ruitton, S., Blanfuné, A., Boudouresque, C. F., Guillemain, D., Michotey, V., Roblet, S., Thibault, D., Thibaut, T., & Verlaque, M. (2021). Rapid Spread of the Invasive Brown Alga *Rugulopteryx okamurae* in a National Park in Provence (France, Mediterranean Sea). *Water* 13 (16), 2306.

Ruiz, G.M., Carlton, T.J., Grosholz, E.D., & Hines, H.A. (1997). Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent and consequences. *American Zoologist* 37, 621–632.

Salido, M., & Altamirano, M. (2021). Variabilidad temporal de la morfología e invasividad de *Rugulopteryx okamurae* (*Dictyotales, Ochrophyta*) en el estrecho de Gibraltar. III Congreso de Jóvenes Investigadores del Mar, Motril, 166-167.

Sano, M., Omori, M., Taniguchi, K., & Seki, T. (2001). Age distribution of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz) in relation to algal zonation in a rocky coastal area on Oshika Peninsula, northern Japan. *Fisheries Science* 67, 628-639.

Santana, I., Félix, M., Guerrero, A., & Bengoechea, C. (2022). Processing and Characterization of Bioplastics from the Invasive Seaweed *Rugulopteryx okamurae*. *Polymers* 14 (2), 355.

- Santelices, B., Aedo, D., & Hoffman, A. (2002). Banks of microscopic forms and survival to darkness of propagules and microscopic stages of macroalgae. *Revista Chilena de Historia Natural* 75, 547–555.
- Sempere-Valverde, J., García-Gómez, J.C., Ostalé-Valriberas, E., Martínez, M., Olaya-Ponzzone, L., González, A.R., Sánchez-Moyano, E., Megina, C., Parada, J.A., & Espinosa, F. (2019). Expansion of the exotic brown algae *Rugulopteryx okamurae* (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee & H.S. Kim in the strait of Gibraltar. In 1st Mediterranean Symposium on the Non-Indigenous Species. Antalya, Turkey, 108.
- Schaffelke, B., Smith, J. E., & Hewitt, C. L. (2006). Introduced macroalgae—a growing concern. *Journal of applied phycology* 18 (3), 529-541.
- Silva, P.C., Meñez, E.G., & Moe, R.L. (1987). Catalogue of the benthic marine algae of the Philippines. *Smithsonian Contributions to Marine Sciences* 27, 1–179.
- Sun, Z., Hasegawa, K., & Tanaka, J. (2006). A Morphological Study of *Dilophus okamurae* (*Dictyotales, Phaeophyceae*) in Japan. *Journal of Japanese Botany* 81, 235-244.
- Suzuki, M., Yamada, H., & Kurata, K. (2002). Dictyterpenoids A and B, Two Novel Diterpenoids with Feeding-Deterrent Activity from the Brown Alga *Dilophus okamurae*. *Journal of Natural Products* 65, 121-125.
- Thibaut, T. (2001). Etude fonctionnelle, contrôle et modélisation de l’invasion d’une algue introduite en Méditerranée: *Caulerpa taxifolia*. PhD, Université de Paris VI, Paris, France.
- Thresher, R. E., & Kuris, A. M. (2004). Options for managing invasive marine species. *Biological Invasions* 6 (3), 295-300.
- Tseng, C.K. (1984). Common seaweeds of China. Science Press, Beijing, 318.
- Uchimura, M., Rival, A., Nato, A., Sandeaux, R., Sandeaux, J., & Baccou, J. C. (2000). Potential use of Cu<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> for the destruction of *Caulerpa taxifolia*: differential effects on photosynthetic parameters. *Journal of Applied Phycology* 12 (1), 15-23.
- Van de Laar, F.A., Lucassen, P.L., Akkermans, R.P., van de Lisdonk, E.H., Rutten, G.E., & van Weel, C. (2005). Alpha-glucosidase inhibitors for patients with type 2 diabetes: results from a Cochrane systematic review and meta-analysis. *Diabetes Care* 28, 154-163.
- Verlaque, M., Boudouresque, C.F., & Mineur, F. (2007). Oyster transfers as a vector for marine species introductions: a realistic approach based on the macrophytes. In CIESM Workshop Monographs, Monaco 32, 39-48.
- Verlaque, M., Steen, F., & De Clerck, O. (2009). *Rugulopteryx* (*Dictyotales, Phaeophyceae*), a genus recently introduced to the Mediterranean. *Phycologia*. 48, 536-542.
- Verlaque, M., Ruitton, S., Mineur, F., & Boudouresque, C.F. (2015). CIESM Atlas of exotic species of the Mediterranean. Macrophytes 4, 362. Monaco: CIESM Publishers.
- Williams, S. L., & Schroeder, S. L. (2004). Eradication of the invasive seaweed *Caulerpa taxifolia* by chlorine bleach. *Marine Ecology Progress Series* 272, 69-76.
- Woods, C., Floerl, O., Fitridge, I., Johnston, O., Robinson, K., Rupp, D., Davey, N., Rush, N., & Smith, M. (2007). Efficacy of hull cleaning operations in containing biological material. MAF

Biosecurity New Zealand Technical Paper Series 08/11 prepared for BNZ Pre-clearance Directorate by The National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd.

Worm, B., Lotze, H.K., & Sommer, U. (2001). Algal propagule banks modify competition, consumer and resource control on Baltic rocky shores. *Oecologia* 128, 281–293.

Wotton, D. M., O'Brien, C., Stuart, M. D., & Fergus, D. J. (2004). Eradication success down under: heat treatment of a sunken trawler to kill the invasive seaweed *Undaria pinnatifida*. *Marine pollution bulletin* 49 (9-10), 844-849.

Yamase, H., Umemoto, K., Ooi, T., & Kusumi, T. (1999). Structures and absolute stereochemistry of five new secospatanes and a spatane isolated from the brown alga *Dilophus okamurai* DAWSON. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 47, 813-818.

Yoo, J.S. (2003). Dynamics of marine benthic community in intertidal zone of Seoam, Busan. *Journal of Korean Society Oceanography* 8, 420–425.

Yoshida T., Nakajima Y., & Nakata Y. (1990). Check-list of marine algae of Japan (revised in 1990). *Japanese Journal of Phycology* 38, 269–320.

Zanolla, M., Altamirano, M., Carmona, R., De La Rosa, J., Souza-Egipsy, V., Sherwood, A., Andreakis, N. 2018a. Assessing global range expansion in a cryptic species complex: insights from the red seaweed genus *Asparagopsis* (*Florideophyceae*). *Journal of Phycology* 54: 12-24.

Zanolla, M., Altamirano, M., De La Rosa, J., Niell, F.X., Carmona, R. 2018b. Size structure and dynamics of an invasive population of lineage 2 of *Asparagopsis taxiformis* (*Florideophyceae*) in the Alboran Sea. *Phyc. Research* 66: 45-51.

Zanolla, M., Carmona, R., De La Rosa, J., Altamirano, M. 2018c. Structure and temporal dynamics of a seaweed assemblage dominated by the invasive lineage 2 of *Asparagopsis taxiformis* (*Bonnemaisoniaceae*, *Rhodophyta*) in the Alboran Sea. *Mediterranean Marine Science* 19: 147-155.

Zanolla, M., Carmona, R., Kawai, H., Stengel, D.B., & Altamirano, M. (2019). Role of thermal photosynthetic plasticity in the dispersal and settlement of two global green tide formers: *Ulva pertusa* and *U. ohnoi*. *Marine Biology* 166, 123.

Zuljevic, A., & Antolic, B. (1999a). Appearance and eradication of *Caulerpa taxifolia* in the Barbat Channel. In 4th International workshop on *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea, February 1999.

Zuljevic, A., & Antolic, B. (1999b). Partial eradication of *Caulerpa taxifolia* in the Stari Grad Bay (Croatia). In 4th International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Lerici, 1-2.

#### **OTRAS FUENTES Y ENTIDADES CONSULTADAS:**

Federación Andaluza de Cofradía de Pescadores (FACOPE)

Federación de Cofradías de Málaga

Cofradía de Caleta de Vélez (Málaga)

Organización de Productores Pesqueros de Almería OPP71

Organización de Productores Pesqueros Artesanales APP6

AndMuPes

Cofradía de Pescadores de Marbella (Málaga)

Cofradía de Pescadores de Tarifa (Cádiz)

Cofradía de Pescadores de Estepona (Málaga)

Cofradía de Pescadores de Fuengirola (Málaga)

Federación Andaluza de Asociaciones Pesqueras, FAAPE

Asociación Andaluza de Mujeres del Sector Pesquero y Acuícola (Asopesxa)

Ayuntamiento de Fuengirola (Málaga)

Ayuntamiento de Manilva (Málaga)

Ayuntamiento de Mijas (Málaga)

Ayuntamiento de Marbella (Málaga)

Ayuntamiento de Estepona (Málaga)

Ayuntamiento de Tarifa (Cádiz)

Ayuntamiento de La Línea de la Concepción (Cádiz)