







**MEDITERRÁNEO  
ECONÓMICO**

**33**

**LA BIODIVERSIDAD MARINA  
RIESGOS, AMENAZAS Y OPORTUNIDADES**

**Coordinador**  
Manuel Toharia

# MEDITERRÁNEO ECONÓMICO

## CONSEJO ASESOR

*Joaquín Auriolas Martín  
Horacio Capel Sáez  
Francisco Ferraro García  
José María García Álvarez-Coque  
Jordi Nadal i Oller  
Antonio Pérez Lao  
Manuel Pimentel Siles*

## DIRECTOR DE LA COLECCIÓN

*Manuel Gutiérrez Navas*

## COORDINADOR [NÚM. 33]

*Manuel Toharia*

## MEDITERRÁNEO ECONÓMICO [NÚM. 33]

### LA BIODIVERSIDAD MARINA: RIESGOS, AMENAZAS Y OPORTUNIDADES

© 2020 de la edición: Cajamar Caja Rural

© 2020 del texto: los autores

**Edita:** Cajamar Caja Rural

*www.mediterraneoekonomico.com*

*mediterraneo@mediterraneoekonomico.com*

**Diseño de la Colección:** Francisco J. Fernández Aguilera

**Maquetación:** Beatriz Martínez Belmonte

**Imagen de cubierta:** Gettyimages

**Imprime:** Escobar Impresores

**ISSN:** 1698-3726

**ISBN-13:** 978-84-95531-46-9

**Depósito legal:** AL-314-2020

**Fecha de publicación:** febrero de 2020

Impreso en España / *Printed in Spain*

*Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.*

*© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita del editor.*

PRESENTACIÓN.....	7
<i>Manuel Gutiérrez Navas</i>	
INTRODUCCIÓN.....	11
<i>Manuel Toharia</i>	
I. LA IMPORTANCIA DEL MAR PARA LA HUMANIDAD	
EL PLANETA <i>AGUA</i> EMPIEZA A QUEJARSE .....	17
<i>Manuel Toharia</i>	
NAVEGACIÓN, AVENTURA, EXPLORACIÓN. EL MAR SOMOS TODOS .....	35
<i>Juan Antonio Romero</i>	
MARES POLARES .....	59
<i>Javier Cacho</i>	
EL MEDITERRÁNEO AYER Y HOY: DE OCÉANO A MAR INTERIOR .....	79
<i>Manuel Toharia</i>	
EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS MARES .....	103
<i>Javier Martín Vide</i>	
EL DESCONOCIDO CASO DE DESCOMPRESIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS.....	119
<i>José Luis Crespo-Picazo, Vicente Marco-Cabedo y Daniel García Párraga</i>	
CALENTAMIENTO GLOBAL E IMPACTO HUMANO SOBRE LOS MAMÍFEROS MARINOS....	143
<i>Alicia Borque-Espinosa</i>	
II. DEBILIDADES Y AMENAZAS	
LA CONSERVACIÓN COMO FIN, LA INVESTIGACIÓN Y LA INTERPRETACIÓN COMO MEDIO .....	167
<i>Francisco Torner</i>	
EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL, TERRITORIO DE RIESGO. AUMENTO DE LA VULNERABILIDAD Y LA EXPOSICIÓN A LA PELIGROSIDAD NATURAL.....	197
<i>Jorge Olcina Cantos</i>	
PARÁSITOS. LA BIODIVERSIDAD OLVIDADA .....	213
<i>Ana E. Ahuir-Baraja</i>	
LA MAR DE PLÁSTICO.....	235
<i>Ignacio Fernández Bayo y Mercedes Jiménez</i>	
PELIGROS QUE ACECHAN AL MAR: VERTIDOS Y MAREAS NEGRAS .....	253
<i>Pura C. Roy</i>	

### III. FORTALEZAS Y OPORTUNIDADES

OCÉANO, DESPENSA AZUL.....	271
<i>Mónica G. Salomone</i>	
LA ACUICULTURA COMO ACTIVO ECONÓMICO Y SOCIAL.....	289
<i>Francisco Espinós</i>	
IMPORTANCIA DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA EN ESPAÑA.....	309
<i>Alicia Villauriz Iglesias</i>	
UNA PESCA SOSTENIBLE Y RESPETUOSA CON LA BIODIVERSIDAD MARINA .....	319
<i>Javier Garat</i>	
PROBLEMÁTICA DEL AGUA DULCE. ¿ES LA DESALACIÓN UNA POSIBLE SOLUCIÓN? ...	337
<i>Elvira del Pozo Campos</i>	
EL FONDO DEL MAR Y EL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES .....	357
<i>Chola Mateos</i>	

### EPÍLOGO

AL FINAL DEL CAMINO... ESTÁ LA MAR.....	373
<i>Ramón Núñez Centella</i>	



## PRESENTACIÓN

*Manuel Gutiérrez Navas*  
Director de Mediterráneo Económico

*La tercera década del siglo XXI estará sin duda condicionada por la omnipresencia de la sostenibilidad como referencia obligada en cualquier ámbito de la economía y la sociedad globales, como eje central de la agenda pública en todo el mundo. Hay incluso quien ya ha comenzado a llamarla la década de la sostenibilidad.*

*Si los primeros años del tercer milenio estuvieron marcados por las consecuencias de la Gran Recesión y el salto adelante que ha dado impulso a la transformación digital, de cara a 2030 el gran reto planetario es cómo asegurar, sin quebrar la capacidad de carga de la biosfera, la demanda de agua, alimentos, materiales y combustibles de una población que no para de crecer y de consumir, y por tanto de explotar activos naturales y producir desechos y emisiones. Cómo avanzar, en resumidas cuentas, hacia una economía descarbonizada, mucho más eficiente en el uso de unos recursos naturales cada vez más escasos y más caros, siendo capaz de producir y distribuir bienes y servicios con mayor equidad y gestionar los residuos que genera minimizando su impacto negativo en el medioambiente. Y todo ello bajo la amenaza del cambio climático, cuyo alcance y consecuencias son todavía impredecibles, pero cuyo impacto en los sistemas productivos y en nuestras vidas comienza a ser evidente, según el consenso casi unánime de la comunidad científica internacional.*

*Nuestro planeta azul es un sistema biofísico en frágil equilibrio y en el que el agua es el elemento fundamental para la vida. El agua dulce, evidentemente; pero también la que da forma a nuestros mares y océanos. Estos ocupan las tres cuartas partes de la superficie y acogen a buena parte de la biodiversidad global, además de ejercer un papel clave en la regulación del clima y en la renovación del oxígeno que respiramos, siendo los verdaderos pulmones de la Tierra. En estas grandes masas de aguas se localizan muchos de los hábitats ecológicamente más ricos del globo al que seguimos llamando terráqueo, que son al mismo tiempo algunos de los más vulnerables. Entre los factores que amenazan la salud de nuestros mares están, por supuesto, las toneladas de vertidos contaminantes que reciben cada día, pero también las actividades extractivas incontroladas como la sobrepesca, o la acidificación derivada del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, y el deshielo que conlleva, a un ritmo preocupante, el calentamiento global.*

*Ahora, en el umbral de esta década de la sostenibilidad, hemos querido dedicar este número de Mediterráneo Económico a reflexionar sobre el futuro de los océanos entendidos como espacios de vida, teniendo en cuenta no solo las amenazas que la actividad humana y el deterioro ambiental arrojan sobre ellos, sino también las oportunidades de aprovechamiento económico sostenible que*

*pueden brindarnos los nuevos desarrollos tecnológicos, como la desalación y la industria piscifactora. Y lo hacemos precisamente desde el Mediterráneo, considerado el mar más contaminado del mundo y uno de los puntos calientes del planeta en materia de cambio climático, debido a las consecuencias traumáticas que tendría, sobre un territorio sometido desde hace siglos a una intensa presión humana, un aumento de las temperaturas y del nivel del mar, así como la generalización de fenómenos meteorológicos extremos, y hasta antagónicos, como las sequías prolongadas y las lluvias torrenciales.*

*El responsable de coordinar este proyecto ha sido Manuel Toharia, periodista científico, decano de los divulgadores del conocimiento en nuestro país, que a su impecable trayectoria como referencia mediática para varias generaciones de españoles, suma su experiencia profesional, entre otras cosas, como responsable de uno de los acuarios más importantes del mundo, el Oceanogràfic de València. Un curioso sin límites y un comunicador compulsivo, pionero de lo que ahora llamamos educación ambiental, y que combina una envidiable capacidad para hacer inteligibles —e interesantes— para el gran público las cuestiones más complejas, con un escepticismo tan crítico como fundamentado, provocador en el mejor sentido de la palabra. Para abordar nuestro encargo se ha rodeado además de una veintena de investigadores, científicos, expertos y divulgadores apasionados del mar en todas sus vertientes, que aportan rigor y contexto a una de las urgencias de nuestra época.*

*Casualmente, la fase final en la preparación de este nuevo volumen de Mediterráneo Económico vino a coincidir con la celebración, en diciembre de 2019, de la edición número 25 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la Cumbre del Clima de Madrid. A pesar de todo el revuelo mediático que la rodeó, y como temían los expertos más pesimistas, o mejor informados, la COP25 se saldó con más incertidumbres que compromisos, dejando en el aire, al menos a corto plazo, el llamamiento universal en torno al que había sido convocada: «Es tiempo de actuar por el planeta».*

*Es, sin duda, tiempo de actuar. Los costes sociales y económicos de la crisis ambiental a la que nos enfrentamos van camino de ser inasumibles para la humanidad, y para afrontarlos será necesario un cambio cultural de gran calado y en el menor espacio de tiempo posible. Nuevos hábitos de consumo y reutilización a todos los niveles, nuevas formas de relacionarnos con la movilidad, y una reestructuración profunda de nuestro tejido productivo que haga posible esa transición hacia una economía verde para la que no tenemos un plan b. Tan solo en el ámbito de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la lucha contra el cambio climático, la Comisión Europea calcula en unos 270.000 millones de euros anuales la inversión necesaria en energías renovables y consumo eficiente, transporte sostenible y gestión del agua y los residuos para hacer cumplir los Acuerdos de París de 2015. Y en este propósito colectivo el sistema bancario tiene una enorme responsabilidad, como herramienta especializada en la selección de inversiones, tanto a la hora de incentivar la realización de proyectos empresariales y pautas de consumo sostenibles, como por su capacidad para evaluar riesgos y penalizar aquellas otras que no cumplan con criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental.*





*La entidad que edita esta publicación, Cajamar, como caja rural y cooperativa de crédito que es, nació de la mano de los sectores más dinámicos de la economía social y precisamente en un territorio habitado por personas acostumbradas a enfrentarse a difíciles condiciones ambientales y a hacer de la eficiencia en el uso de los recursos disponibles el centro de su estrategia de futuro. Es por ello que, desde el inicio de su actividad financiera y social, se ha dirigido a fomentar la cultura de la sostenibilidad, tanto desde el punto de vista productivo, atendiendo las necesidades de financiación de empresas y familias, como desde la perspectiva del conocimiento, la innovación y el desarrollo tecnológico, como palancas de desarrollo territorial, profesional y personal.*

*Así, hoy día, además de aportar soluciones de negocio y productos y servicios financieros especializados a los millones de socios y clientes que en toda España confían en su modelo de banca cooperativa, en su desempeño social promueve iniciativas científicas, académicas, formativas y culturales de todo tipo encaminadas a estos fines; a las que vino a sumarse, hace ya casi 20 años, esta colección de estudios socioeconómicos, volcada en el análisis de aquellos aspectos de nuestra realidad más cercana que inciden directamente en la salud de nuestro modelo de sociedad y en su viabilidad futura.*

*Con Manuel Toharia compartimos muchas inquietudes, preocupaciones y ocupaciones. Él sabe cómo agradecemos la generosidad con la que se ha sumergido en la labor de coordinación de esta obra sobre el futuro de los mares y océanos como espacios de vida, y el entusiasmo con el que todos los autores que participan en las páginas que siguen se han sumado a nuestra iniciativa, ayudándonos a repensar el futuro desde la crítica científica y el impulso ético que tanto necesitamos como vacuna contra el vértigo, la viralidad y el sensacionalismo tan presentes en la sociedad digital.*





## INTRODUCCIÓN

*Manuel Toharia*

Ciudad de las Artes y las Ciencias y Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia

*El mar está enfermando; no conocemos del todo bien, ni con suficientes detalles, cuál es el mal que le aqueja porque es obvio que se trata de un síndrome más que de un problema concreto. Incluso viviendo tierra adentro y lejos de cualquier costa hemos acabado por darnos cuenta de que estamos ante un conjunto variado y aparentemente grave de síntomas que aquejan a los mares y océanos del mundo entero. Las noticias al respecto son recurrentes, y están produciendo ya en la ciudadanía, al menos en los países más desarrollados, cierta sensación de alarma que nadie sabe muy bien cómo encauzar.*

*Es cierto que los medios de comunicación tienden, desde siempre, a destacar más las malas noticias que aquellas que pudieran aportar algún apaciguamiento anímico a unos ciudadanos ya suficientemente agobiados por el día a día de sus respectivas vidas privadas. Pero aun descontando esa especie de anestesia informativa que produce la cansina repetición de los aspectos más desfavorables de la actualidad, es obvio que, por lo que a los mares del mundo respecta, las cosas no parecen ir nada bien.*

*¿En qué sentido? La pregunta parece obvia, incluso levemente desconfiada. De acuerdo, las cosas parecen ir mal, pero, insistimos, ¿en qué sentido? ¿Cómo es de grave esa enfermedad? Porque no todos los síntomas que detectamos son igual de graves, ¿no?*

*Y, ya puestos, sin duda los expertos están dando la voz de alerta, pero ¿qué soluciones existen? ¿Hay soluciones acaso? ¿Las conocemos y no las aplicamos por pura ignorancia o, lo que sería peor, por su coste económico?*

*Así, muy por encima, es muy probable que entre esos síntomas negativos casi todos acabemos aludiendo al plástico y sus famosas grandes 'islas' en medio de los grandes océanos; es posible incluso que haya quien recuerde la cifra, que se mide en millones de toneladas, de residuos plásticos que acaban en el mar cada año. Seguro que muchos aludirían también al petróleo y su transporte y extracción por las autopistas del mar; accidentes como el de la plataforma marina del Golfo de México, los derrames de chapapote en las costas gallegas o bretonas, y tantos otros, que hacen pensar en daños casi infinitos, son casi siempre primera página en los medios de comunicación de casi todo el mundo... Y habrá quienes citen los vertidos químicos y de basuras urbanas que acaban tarde o temprano, y directamente o a través de los ríos, desembocando en el mar, donde contaminan no solo las zonas costeras sino también los fondos oceánicos.*

*En todas estas noticias negativas y en muchas otras que nos asaltan cada día, siempre aparece un determinado sensacionalismo, a menudo tintado de crítica política, que no todo el mundo percibe como tal. ¿Quizá se dramatiza en exceso la noticia para darle más relevancia a la crítica de las autoridades políticas que no nos gustan? Y, al margen de ese aspecto sin duda real, ¿serán las consecuencias de todos esos problemas tan graves como se nos dice?*

*Remontándonos a los orígenes, quizá algunos se pregunten por qué seguimos siendo pescadores cuando ya hemos dejado de ser cazadores y recolectores para convertirnos en ganaderos y agricultores. Y eso en apenas unos miles de años... Es obvio que la alimentación del mundo moderno ya no depende de lo que cazamos o de lo que recolectamos en la naturaleza, sino que depende de la actividad ganadera y agrícola. ¿Por qué en la pesca no?*

*Obtener productos del mar no es fácil; nosotros somos terrícolas, no seres marinos. Y en un barco, por primitivo que sea, hemos de usar artificios que nos ayuden a extraer habitantes de los mares que puedan servirnos de sustento. Lo cual no es obviamente fácil. También podemos hacerlo desde la orilla, pero la cuantía total en este caso es poco significativa. Y queda embarcarse durante mucho tiempo, claro; antes no era fácil, ahora lo es bastante más. Y las grandes potencias del sector disponen de poderosos buques industrializados que pescan, preparan y congelan el pescado de forma masiva y, lástima, esquiladora. Todo lo cual ha hecho obligatoria una regulación cada vez más estricta a escala tanto local como internacional.*

*En suma, los mares del mundo entero empiezan a verse afectados por un mal genérico que podríamos llamar 'humanitis'; un neologismo que puede incluir todas las amenazas derivadas directa o indirectamente de la actividad humana.*

*Pero en el problema mismo podría estar implícita la solución, o al menos la posibilidad de ir mejorando poco a poco una situación que ha venido empeorando en paralelo con nuestra potencia tecnológica y el incremento de nuestra población.*

*Sin entrar a fondo en todos y cada uno de los problemas que afectan a los mares del planeta, y sus posibles soluciones, a abordar de forma coordinada mediante acuerdos internacionales de obligado cumplimiento, parece obvio que, en algunos casos, tanto el diagnóstico como el tratamiento serán menos problemáticos que en otros.*

*Puestos a buscarle el lado bueno a las cosas —por qué no, quizá deberíamos considerar que no es cierto, digan lo que digan los noticiarios, que vivamos en el peor de los mundos posibles—, cabe señalar que el mar es enorme. Y que los humanos tendemos a ser solidarios y capaces de autorregularnos; eso sí, con notables y sonoras excepciones.*

*Que el mar es grande suena de lo más evidente; basta recordar que en conjunto las aguas libres ocupan el 71 % de la superficie total del planeta. Los continentes e islas ocupan, pues, solo el 29 % restante.*

*Además, el mar es muy profundo. No es una capa superficial de agua, sino que en promedio, su profundidad es de casi cuatro kilómetros, con simas de más de once. ¡Menudo volumen de agua!*



*La vida nació en el mar, como es sabido. Y hoy alberga todavía en su seno muchísimos más seres vivos, de cualquier tamaño y especie, que los que existen sobre tierra firme.*

*O sea, puestos a comparar, el caso de la pesca no es exactamente el mismo que el de la caza y la recolección. Lo que no nos exime de mirar con interés creciente esa actividad relativamente reciente que pretende «cultivar» seres vivos del mar; realizada de forma sostenible y controlada por regulaciones estrictas en cuanto al alimento y el engorde de los peces ‘acuicultivados’, como las haya o debería haberlas para el mismo proceso en aves o mamíferos comestibles, la acuicultura parece muy interesante. Y puede convivir perfectamente con la pesca, si esta está controlada de forma que sea una actividad ambientalmente sostenible.*

*En esencia, frente a las diversas amenazas que se ciernen sobre el conjunto de los mares, explotando unas debilidades que pudieran parecernos inicialmente insólitas, dada su extensión, es obvio que tendremos que valorar al máximo las fortalezas derivadas precisamente de ese tamaño gigantesco. Solo así podremos explotar el sinfín de oportunidades que nos ofrece el mar de cara a un uso tan útil como comprometido con el mantenimiento de su integridad.*

*De todo ello tratan los diversos autores que hemos seleccionado para abordar aspectos concretos, pero sustanciales, de todas las cuestiones que tienen que ver con nuestro conocimiento, sin duda todavía insuficiente, del mar y sus debilidades, y de los problemas que le amenazan. También querríamos presentar diversos aspectos de las oportunidades que nos brinda el conjunto de la hidrosfera planetaria, de cara a un presente y un futuro más sostenibles que ahora, con el fin de potenciarlas para ir poco a poco buscándole solución a los problemas, y eliminando hasta donde nos sea posible las amenazas.*

*Las conclusiones que se pueden extraer de los trabajos incluidos en la presente obra son todavía preocupantes, pero también esperanzadoras. Las cosas no van todavía por buen camino, pero comienzan a encauzarse, quizá insuficientemente. Las oportunidades para hacerlo mejor sin perder nada de lo ya conseguido no faltan, ni deben faltar en el futuro. Y debemos conseguir que la sostenibilidad de los mares sea la base de esa sostenibilidad ecológica de la presencia del hombre sobre la Tierra que hasta ahora hemos venido ignorando. Solo así podremos ir remediando los muchos problemas que nosotros mismos nos hemos ido creando.*

*Porque si en el mar nació y se desarrolló toda la vida que conocemos, conviene recordar, como bien dice Moncho Núñez en su epílogo, que al final del camino siempre está la mar...*

*Ya lo decía Jorge Manrique: «Nuestras vidas son los ríos que van a dar a la mar, que es el morir».*





MEDITERRÁNEO  
ECONÓMICO

33

- I. La importancia del mar para la humanidad
- II. Debilidades y amenazas
- III. Fortalezas y oportunidades







# EL PLANETA AGUA EMPIEZA A QUEJARSE

*Manuel Toharia*

Ciudad de las Artes y las Ciencias y Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia

## Resumen

Sin duda, hay razones para preocuparnos por la salud de los océanos, que es como decir del planeta entero porque incluso la vida tierra adentro tiene siempre relación, aunque sea por vía indirecta, con lo que ocurre en los mares. Múltiples amenazas de origen humano han acabado por poner de manifiesto las debilidades de ese entorno natural único porque solo tenemos un planeta, el nuestro. Se impone un cambio de enfoque con vistas a ir remediando lo ya deteriorado y evitar que siga ese proceso; y eso es lo que hoy suele llamarse desarrollo sostenible. No es utópico, pero exige replantearse la forma de desarrollo industrial que hemos venido teniendo desde hace un par de siglos.

## Abstract

*Undoubtedly we have good reason to be concerned about the health of the oceans, which is as much as to say of the entire planet, given that life on land is always linked, however indirectly, to what is happening in the oceans. Multiple human-caused threats have finally exposed the weaknesses of the unique ocean environment-unique because we only have one planet, this one. To repair the damage already done and prevent any further deterioration we need a change of approach. The new approach is what is known as sustainable development. This is not a utopian fantasy; it does, however, require that we rethink the kind of industrial development we have seen over the last couple of centuries.*

## 1. Un planeta más Agua que Tierra

No cabe duda de que nuestro planeta está mal bautizado. Si la superficie solo está cubierta de tierra firme apenas un 29 % del total, y el resto es agua, parece obvio que debió llamarse planeta *Agua*, no *Tierra*. Es cierto que por debajo del agua hay tierra igualmente, suponiendo que podamos llamar tierra al magma fundido del manto que llega hasta los 3.500 grados, y del núcleo férreo que sube hasta casi 7.000 grados, una temperatura superior incluso a la de la superficie del Sol –en su interior, nuestra estrella particular está a muchos millones de grados—. Pero, al menos en superficie, que es donde únicamente podemos estar los seres vivos, estamos en un planeta Agua mucho más que en un planeta Tierra.

Pero intentemos ser ecuanímes, dándole la importancia justa, que seguramente no es mucha, a un dato que después de todo es puramente geométrico ya que solo compara superficies de agua y tierra. Por ejemplo, podríamos considerar igualmente el volumen sólido, o sea a base

de tierra y rocas, de nuestro planeta comparado con el de agua. Los geólogos suelen decir que el conjunto del agua apenas supondría una cabeza de alfiler frente al volumen de materia del planeta del tamaño de un balón de fútbol. Pero, claro, la comparación no tiene sentido porque no hay vida por debajo de unos pocos metros en el subsuelo, ni por encima de la superficie, salvo algunas especies voladoras que tampoco pueden irse muy arriba.

Puestos a jugar con la geometría simple, ¿por qué no comparar el volumen de suelo 'vitalmente habitable' con el volumen de agua en el cual hay muy diversas formas de vida? Ahí sí que gana el agua, y por una mayoría aplastante. Porque llamar tierra al magma fundido del manto terrestre o al núcleo de hierro y algo de níquel que hay en el centro del planeta es como mínimo abusivo. Lo que conocemos por tierra, aquel elemento de segunda división de los griegos tras el aire, el agua y el fuego, solo existe en la superficie, como mucho en la llamada corteza. Que es una fina capa por encima del manto, de unos 50 a 100 kilómetros de espesor en los continentes y apenas unos pocos kilómetros bajo los mares más profundos.

No hay que olvidar que esa materia mineral bajo la capa superficial de la tierra se encuentra a temperaturas de miles de grados y presiones insoportables. En cambio, en el seno de la hidrosfera, incluso bajo los hielos flotantes, existen muy diversas formas de vida; incluidas las fosas abisales más profundas, sumidas en una permanente oscuridad y unas presiones que casi ningún ser vivo conocido podría aguantar.

Por si hiciera falta algún dato más, piénsese que la cumbre más alta del Himalaya ni siquiera alcanza los nueve kilómetros por encima del nivel medio de la superficie del planeta, que solemos llamar geoide y se aproxima mucho a una esfera levemente achatada por los polos. En cambio, solo en el Pacífico occidental hay al menos seis fosas oceánicas que bajan a más de diez kilómetros, y el récord, hasta donde sabemos, lo tiene la famosa fosa de las Marianas, entre Japón y Australia, con 11.034 metros de profundidad, seguida a muy poca distancia por la fosa de Tonga, al norte de Nueva Zelanda, que baja hasta 10.880 metros bajo el nivel del mar.

Por cierto, a esas profundidades el cuerpo humano quedaría aplastado como una hoja de papel, a una inimaginable presión de más de mil atmósferas. En cambio, al Everest se puede subir, con suficiente entrenamiento, sin necesitar siquiera oxígeno suplementario... Hasta ese punto estamos bien adaptados al suelo y al aire, y no al agua: subimos a casi 9.000 metros de altura sin oxígeno, pero si bajáramos a una profundidad igual en el mar quedaríamos aplastados casi como una oblea.

Y aún hay más. Para subrayar la trascendencia que tiene y ha tenido el agua respecto a las tierras emergidas, solo queda añadir que toda la vida existente en el planeta nació en el mar hace casi 4.000 millones de años, y habitó allí, y solo allí, durante el 90 % de ese tiempo. Lo sigue haciendo hoy, pero una pequeña parte de la actual biodiversidad lo hace en tierra firme.

Tampoco hace falta recordar que la vida es un fenómeno único, hasta donde sabemos, en todo el cosmos. Es decir, planetas rocosos como el nuestro conocemos al menos otros tres grandes –Mercurio, Venus, Marte– y todos los planetas menores y meteoritos, empezando por el destronado Plutón. Incluso hemos identificado ya unos miles de planetas extrasolares,

algunos de los cuales podrían asemejarse a la Tierra. Pero lo que importan no son las rocas y otras propiedades, sino si allí hay o no agua.

## 2. La hidrosfera del planeta Tierra

¿De dónde sale tanta agua? ¿Apareció en la Tierra junto a los demás elementos minerales semifundidos, a una temperatura de cientos, miles de grados, en aquel planeta naciente de hace 4.500 años? ¿Acaso vino del espacio de nadie sabe dónde?

La tesis más comúnmente admitida hasta hace poco tiempo postulaba que ni en la Tierra ni en los demás planetas pudo haber tanta agua cuando aparecieron, como elementos residuales expulsados de un Sol naciente en forma de pavesas incandescentes. Su temperatura era elevadísima y el agua, vaporizada, si la hubiera, se perdería en el espacio.

Pero poco a poco estos residuos ardientes fueron enfriándose y, a base de chocar unos con otros, acabaron conformando grandes esferas de materia más o menos sólida, con otras pequeñas masas girando en torno suyo: los planetas y sus satélites. Todo el conjunto quedó, a su vez, dándole vueltas a la estrella recién aparecida, debido a su atracción gravitatoria. La prueba más evidente que se puede aducir es que en ningún planeta ni grande ni pequeño hay demasiada agua líquida.

Es cierto, sí; pero en cambio parece que abunda el agua helada o incluso en forma de vapor. Y no es de extrañar; la molécula de agua es una sencilla combinación, muy estable químicamente, del más frecuente de los elementos del universo, el hidrógeno, y del tercer elemento más abundante, el oxígeno. Otra cosa es que el margen para que exista agua en fase líquida es muy estrecho. Conviene recordar que, entre el cero absoluto,  $-273,15$  °C, y el cero Celsius, el agua es sólida; y entre el 100 °C y muchos cientos de grados es vapor. Y ya a temperaturas altísimas, la energía térmica puede ser capaz de desagregar las moléculas de agua en sus componentes básicos. Tendríamos un plasma a base de iones de hidrógeno y oxígeno, además de otros compuestos ionizados del entorno donde eso ocurra. Es obvio, por ejemplo, que en el interior de las estrellas, Sol incluido, hay plasma con iones de hidrógeno y de otros elementos.

O sea que el margen del agua líquida es estrecho, esos cien grados a los que en la Tierra en cambio estamos bastante acostumbrados, pero que son muy poca cosa, y además muy insólitos por no decir exóticos, en el resto del universo; las temperaturas son muchísimo más altas que cien grados, o muchísimo más bajas que cero Celsius.

Y eso incluye a los planetas más cercanos a nosotros. En Marte hay un poco de agua helada en los polos, y unos vestigios de vapor de agua en su tenue atmósfera, la centésima parte de la terrestre. Y Venus tiene mucho vapor de agua en su atmósfera, pero hace tanto calor —en promedio, 400 °C— que es imposible que haya agua líquida; solo vapor, principal responsable de buena parte de ese infernal efecto invernadero, junto a otros gases como el dióxido de carbono y algunos otros.

En lugares muy alejados del Sol, como algunos de los más importantes satélites de los grandes planetas exteriores, hay mucha agua; mejor dicho, hielo. Destaca a este respecto Europa, el menor de los cuatro satélites grandes de Júpiter (3.122 km de diámetro; la Luna tiene 3.476 km). A pesar de ser mucho más pequeño que nuestro planeta, este satélite joviano alberga en cambio el doble de agua que aquí; eso sí, congelada en superficie. Se supone que por debajo hay inmensos océanos de agua líquida. Pero aún más llamativo es el caso de Titán, el satélite de mayor tamaño de Saturno, cuyo diámetro de 5.162 km es algo inferior al del planeta Marte, que mide 6.787 km de diámetro (recordemos que la Tierra tiene un diámetro de más de 12.756 km). Pues bien, Titán alberga en su atmósfera, en sus mares y en sus continentes helados mucha agua en forma de vapor, quizá de agua líquida y sobre todo de hielo, en una cantidad once veces mayor que la que tenemos nosotros aquí. Y tiene, además, mucho metano también en las tres fases... Titán es fascinante; para Carl Sagan era un buen candidato para tener algún tipo de vida con una estructura biológica de base diferente a la que conocemos en la Tierra basada en moléculas con cadenas de carbono.

Los cometas también tienen mucho hielo; se hace visible al vaporizarse cuando se acercan al Sol. La cola de los cometas no es, pues, una estela derivada de su rápido deambular por el espacio sino un chorro de vapor que se congela luego en el espacio haciéndose visible; un chorro que se sitúa al otro lado del núcleo del cometa, situándose por así decirlo «a la sombra» del astro y apuntando al espacio en dirección opuesta a la del Sol.

¿De qué están hechos los cometas? No son realmente cuerpos sólidos sino una aglomeración de elementos minerales disueltos o agregados a una gran cantidad de agua helada; los expertos los definen de forma muy expresiva como «bolas grandes de nieve sucia».

Parece, pues, que el agua que hoy observamos en la Tierra procede de otros cuerpos celestes; probablemente los cometas, que fueron muy abundantes y ubicuos en los primeros tiempos del sistema solar. Otra cosa es saber de dónde procede el agua de esos cometas; se asume que todos ellos pertenecen al Sistema Solar, es decir nacieron poco después de aparecer el Sol.

Están mucho más lejos que los planetas que conocemos, en una zona esférica muy poblada por elementos ligeros expulsados del Sol naciente, que precisamente por su ligereza se fueron muy lejos; se llama *nube de Oort*.

En aquel viaje inicialmente explosivo, hubo energía de sobra para que se pudieran combinar esos átomos –el hidrógeno y otros elementos ligeros como el litio, el berilio, el boro, el carbono, el nitrógeno, oxígeno y flúor– para formar moléculas simples que se estabilizaron al alcanzar lugares alejados a temperaturas muy frías. Hemos excluido el helio y el neón, que no se combinan con otros átomos; son gases nobles.

Como ya hemos visto que el hidrógeno y el oxígeno son muy abundantes, parece lógico suponer que abundaran mucho las moléculas de agua, helada por supuesto, ya que en los confines del sistema solar la temperatura espacial es del orden de 270 grados bajo cero. En esa nube de Oort se encuentran, pues, los componentes de los futuros cometas que luego, una

vez que escapan por algún tipo de perturbación gravitatoria, acaban siendo atraídos por el Sol en un solo viaje de ida, o en varios viajes periódicos.

Hace unos 4.500 millones de años se formaron los planetas y la nube de Oort –además de una zona intermedia, llamada cinturón de Kuiper, habitada por otros residuos del Sol naciente pero con elementos más pesados, en forma pulverizada, también con mucha agua helada. De ahí salen los cometas de periodo corto, los demás vienen de Oort. Pues bien, en aquellos primeros tiempos del sistema solar, debieron abundar los choques entre todos esos residuos espaciales que quedaron atrapados, más cerca o más lejos de la estrella recién nacida y girando en torno a ella.

O sea que la hipótesis de que el agua viniera a la Tierra a lomos de miles de cometas no es en absoluto descabellada.

Sin embargo, al analizar los isótopos del agua de algunos cometas, son diferentes en masa a los del agua de nuestros océanos; o sea que si no toda, una parte al menos de la hidrosfera terrestre tiene otra procedencia. Quizá el cinturón de asteroides que circunda al Sol entre Marte y Júpiter; son unos cien mil pequeños objetos rocosos que no se sabe bien cómo se formaron. Algunos, como el llamado 24-THEMIS, contienen mucho hielo; quizá el choque de algunos de aquellos asteroides primitivos con la Tierra aportó parte del agua que ahora tenemos...

Y hay quien defiende la hipótesis de que el agua haya podido aparecer aquí mismo, en la Tierra. Según esta idea los océanos se formaron debido a que el planeta en formación tenía muy alta temperatura y mucho hidrógeno combinado a los óxidos de las rocas semifundidas. Así pudieron formarse las moléculas de agua, en forma de vapor, que luego al enfriarse el conjunto acabó condensándose en los huecos de la superficie medio fundida, acabando por formar lagos, mares y océanos. No es una idea que tenga unanimidad entre los expertos porque no hay evidencias de esa abundancia de hidrógeno en la Tierra inicial; si estaba libre, al ser tan ligero habría escapado al espacio antes de combinarse con oxígeno y otros elementos. Pero ¿quién sabe?

### 3. La vida nace y evoluciona en los mares

Cuando la Tierra era ya un planeta relativamente estable, pero todavía con temperaturas muy altas, lo justo para que hubiese aún muchísimas nubes, una enorme actividad tormentosa y algunas zonas con agua líquida muy caliente, espesa, con múltiples elementos minerales disueltos, habían pasado casi 500 millones de años desde que el Sol había aparecido expulsando en torno suyo aquellas pavesas incandescentes que luego se aglomerarían para dar planetas, satélites, cometas, la nube de Oort, el cinturón de Kuiper, los asteroides...

Y no mucho tiempo después, en aquella «sopa primordial», como la llamó en 1924 el bioquímico ruso Alexander Oparin (1894-1980), pudo aparecer un extraño conglomerado de moléculas minerales capaces de autorreplicarse; por así decirlo, de tener descendencia. Una

idea que curiosamente también tuvo en 1929 el químico británico John Haldane (1892-1964). Se supo luego que la obra del ruso no fue traducida al inglés hasta mucho más tarde, o sea que Haldane tuvo la misma idea, unos años más tarde y a miles de kilómetros de distancia. Él reconoció la prioridad de la obra del ruso años más tarde.

La idea de ambos se basaba en el hecho, que ya hace casi un siglo parecía evidente, de que la atmósfera primitiva era muy diferente a la actual, además de abundar notablemente las descargas eléctricas muy energéticas y la energía ultravioleta del Sol, sin freno alguno en la atmósfera como lo hay ahora. Descartaban así otra idea emitida en 1908 por el químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), muy famoso por haber recibido en 1903 el Nobel de Química por su trabajo sobre los iones, que afirmaba que las moléculas orgánicas esenciales solo pudieron venir desde el espacio. Aunque quedaba sin explicar cómo pudieron formarse más allá de nuestro planeta.

Esa idea fue retomada bastante más tarde por otros científicos como el controvertido astrónomo Fred Hoyle (1915-2001), defensor de teorías opuestas a la existencia del Big Bang. Lo que defendieron Arrhenius y luego Hoyle fue una especie de ‘panspermia cósmica’, que sembró la Tierra de elementos complejos de los que derivamos los primeros seres vivos.

En todo caso, con o sin panspermia cósmica, el mecanismo que acabó aglomerando moléculas muy distintas para dar una protocélula capaz de reproducirse parece similar: mucha energía eléctrica y ultravioleta, en un agua muy caliente con superabundancia de todo tipo de moléculas minerales y orgánicas básicas.

Bastante más tarde pareció quedar demostrada definitivamente la teoría con los experimentos del químico norteamericano Stanley Miller (1892-1964), quien simuló en su laboratorio a mediados del siglo pasado las condiciones que se suponía tenía la superficie de la Tierra hace 4.000 millones de años. Pudo así obtener moléculas orgánicas similares a las que podemos hoy identificar en algunos seres vivos, partiendo de moléculas inorgánicas. No fue una prueba definitiva, como no lo son las que vinieron después con mayor éxito aún; pero es obvio que tales experimentos demuestran no tanto cómo se formó la vida espontáneamente en el planeta recién nacido, sino cómo pudo haberse formado...

El caso es que tenemos constancia fósil de que hubo ya seres vivos autónomos que se reproducían en los mares del planeta hace algo menos de 4.000 millones de años. Seres vivos monocelulares y muy primitivos; que proliferaron en el mar con pocos cambios durante muchos millones de años. Hoy se acepta que pertenecían a dos de los tres dominios de la vida agrupados en un solo grupo, las Moneras. Viene del griego *monos*, uno. Es decir, seres de una sola célula.

Ahora distinguimos en ellas dos grandes dominios: las Arqueas y las Bacterias. Siguen existiendo hoy, con escasas evoluciones, allí donde hay agua: no solo en mar sino a veces en el agua confinada que existe en el interior de seres vivos multicelulares. Y contienen material genético, pero diluido en toda la célula; se les llama células *procariotas*.

El tercer dominio de la vida es bastante posterior y está compuesto por seres vivos con una sola célula o con muchas. Pero esas células tienen ya en su interior un núcleo en el que se concentra el material genético; se les llama células *eucariotas*. Las Protistas se subdividen en cuatro reinos. El reino Protista, de igual nombre, que agrupa muchas especies, pero esencialmente protozoos y determinados tipos de algas. Y los tres reinos bien conocidos: hongos, vegetales y animales.

Los seres vivos más complejos aparecieron muy tardíamente, pero algunas protistas simples monocelulares o en colonias, e incluso algunas plantas primitivas son antiguas, quizá existen desde hace 2.500 millones de años porque fueron los primeros seres vivos con clorofila, junto a algunas bacterias aún más antiguas como las bacterias azules, o cianobacterias.

El caso es que, por esa época, entre 2.000 y 2.500 millones antes de ahora, proliferaron en el mar de tal manera que, como resultado de la acción fotosintética catalizada por la clorofila, comenzó a haber mucho oxígeno en la atmósfera, como primera gran contaminación de la vida al planeta. No es necesario recordar que el oxígeno, por su obvio poder oxidante, es corrosivo y, al combinarse con muchas moléculas orgánicas, podían alterar gravemente la fisiología de los seres vivos. En esa fecha los expertos dan por concluido el eón Arcaico, para dar comienzo al eón Proterozoico.

Todavía era monocelular la vida en los mares terrestres. Si acaso, había colonias de bacterias, pero sin especialización de ningún tipo. Los primeros seres vivos complejos, o sea no solo multicelulares sino con órganos distintos para ejercer funciones concretas, tardarían todavía bastante en aparecer. Según los más recientes descubrimientos de los geobiólogos, los primeros registros fósiles de vida compleja datan este paso trascendental en unos 600 millones de años.

Eran animales invertebrados, pero algunos de gran tamaño, cuyos fósiles datados en poco más de esos 600 millones aparecieron en unas colinas del sur de Australia, llamadas Ediacara. Quizá fueron la respuesta de la vida, agazapada en el fondo del mar durante la enorme glaciación un poco anterior, durante la cual toda la Tierra estuvo cubierta de hielo durante millones de años. El caso es que esa fauna ediacareense desapareció, pero fue seguida no mucho después entre 570 y 535 millones de años por la aparición de nuevos seres vivos complejos, y al final animales vertebrados, con esqueleto. En esa fecha se suele considerar que se produjo la explosión de biodiversidad del Cámbrico, que inicia el último gran periodo de la vida en la Tierra, el Fanerozoico. Hoy lo dividimos en tres grandes eras: Paleozoico (antes era primaria), Mesozoico (antes era secundaria) y Proterozoico (antes eras terciaria y cuaternaria).

Al principio toda esa vitalidad en forma de animales, plantas, quizá hongos y, por supuesto bacterias y arqueas, seguía siendo marina. Pero gracias al oxígeno atmosférico, comenzó a haber ozono en la estratosfera capaz de filtrar, en parte al menos, la letal radiación ultravioleta. Y los primeros seres anfibios pudieron sufrir ciertas mutaciones al azar que los llevaron a sintetizar el oxígeno del aire tal y como ya lo hacían desde mucho antes con el oxígeno disuelto en el agua, esencial para ciertas reacciones como por ejemplo la síntesis del colágeno.

El caso es que una pequeña parte de la vida acabó viviendo fuera del mar; eso ocurrió en una fecha no muy bien determinada, pero probablemente en torno a 400 millones de años antes de ahora, antes del periodo carbonífero. La evolución de esos seres terrestres dio lugar a la actual biodiversidad de animales, plantas y hongos que habitamos la tierra emergida. Por supuesto, también siguió proliferando la vida en el agua, evolucionando del mismo modo pero un hábitat mucho más extenso: el conjunto de mares y océanos, a todas las profundidades.

De aquellos primeros seres anfibios que conquistaron tierra firme descendemos nosotros y todos los demás seres vivos que ahora viven fuera del agua. Y como desde siempre hemos vivido ahí, sobre islas y continentes, creímos que todo el planeta merecía llamarse como el terruño en el que nacimos y sin el que somos incapaces de seguir vivos. O sea, la tierra. Sin duda esa es la razón por la que hemos bautizado nuestro planeta como Tierra. En inglés, *Earth*; así llaman al cuarto elemento de los griegos: aire, agua, fuego y... tierra.

Pero, ya hemos visto que existen poderosas razones para que este planeta Tierra nuestro debiera ser llamado planeta Agua... Aunque, por supuesto, no se trata de convertir esta disquisición en ningún *casus belli* ni nada parecido. Se trata, si acaso, de un divertimento de una mentalidad científica con ligera tendencia a la provocación.

## 4. El planeta tiene la misma agua desde hace miles de millones de años

El agua no se renueva en el planeta. Es cierto que muy esporádicamente puede caer del cielo un residuo de cometa, con hielo, o algún meteorito con algo de agua helada. Pero es despreciable el incremento del agua ya existente, como lo es la posible pérdida de agua evaporada en los altos niveles de la atmósfera.

El agua total de la Tierra está en forma líquida o sólida en los mares y en las zonas polares y grandes glaciares montañosos. Y, claro, en el suelo y subsuelo, en los seres vivos... Una pequeña cantidad se encuentra en las capas más bajas del aire, en forma de vapor que, al condensarse, puede formar nieblas o nubes que se componen de gotitas de agua líquida. Y cuando precipita, repone el agua evaporada en otros lugares.

Por cierto, el vapor de agua es invisible; cuando se hace visible ya no está en forma de gas sino de agua líquida, aunque sean en forma de gotas minúsculas.

Pero asumiendo que hay mucha, ¿cuánta agua quiere decir «mucha»?

La cifra más reciente que difunde el Servicio Geológico de los Estados Unidos, que es reputada agencia oficial para estos temas, es de 1.386 millones de kilómetros cúbicos (ver Tabla 1).



Tabla 1. Las cifras de la hidrosfera terrestre

Agua total	Km <sup>3</sup>	Total de agua dulce (%)
Mares y océanos	1.386.000.000	0
Hielo continental	24.000.000	69
Agua subterránea	23.400.000	
<i>Salada</i>	12.900.000	0
<i>Dulce</i>	10.500.000	30
Suelos helados	300.000	0,86
Lagos	42.300	
<i>Agua salada</i>	20.500	
<i>Agua dulce</i>	21.800	0,007
Humedad del suelo	16.500	0,005
Atmósfera (vapor y nubes)	12.900	0,002
Suelos pantanosos	11.470	0,001
Ríos y embalses	2.120	0,0002
Seres vivos	1.120	0,0001

Esos casi 1.400 millones de km<sup>3</sup> suponen, obviamente, una tal cantidad de agua que, medida con los parámetros habituales, por ejemplo, en litros, resulta imposible de imaginar porque supone 1.400 trillones de litros. Escrita con todos sus ceros, la cifra es: 1.400.000.000.000.000.000.000 litros.

Sí, muchísima agua. Pero seguimos sin tener una idea clara, siquiera sea aproximada, de lo que eso significa. Quizá podríamos utilizar otra unidad de medida, por ejemplo la que empleamos para medir la capacidad de los embalses. Esa unidad es el hectómetro cúbico (hm<sup>3</sup>), que equivale a mil millones de litros. Pues bien, la hidrosfera contiene casi un billón y medio de hectómetros cúbicos, 1.400.000.000.000.

Aunque es una unidad enorme, el hectómetro cúbico tampoco nos ayuda a imaginar cuánta agua hay en el planeta. A guisa de comparación, el embalse más grande de España (La Serena, Badajoz, sobre el río Zújar) tiene una capacidad máxima de 3.220 hm<sup>3</sup>. Hagan la división y verán cuántos embalses como este cabrían en la hidrosfera terrestre...

En la tabla que acompaña a estas líneas vemos que el agua del planeta es mayoritariamente agua salada, se estima que en torno al 97 %. El resto es agua dulce, la mayor parte en forma de hielo en la Antártida (en torno al 90 % del hielo total), en Groenlandia (en torno al 10 % de los hielos) y el resto en glaciares de montañas no polares.

Con un simple vistazo puede verse que el agua que hay en forma de vapor de agua en la atmósfera terrestres no es mucha; aunque este adjetivo conviene relativizarlo, porque dadas las inimaginables cifras de agua total, sí que no es mucha, pero aun así supone nada menos que casi 13.000 kilómetros cúbicos; mucha más que la de ríos y embalses. Y esa masa está flotando en el aire, sobre nosotros, casi siempre invisible; recuérdese que el vapor es invisible, solo es visible el agua de las nubes y nieblas, y de las precipitaciones, cuando ese vapor se condensa en el aire.

¿Cuánto pesa en toneladas el agua que hay en el aire? No es difícil de calcular, sabiendo que un kilómetro cúbico de agua condensada (nubes, precipitación) pesa más o menos mil millones de toneladas. Por supuesto, el vapor de agua pesa mucho menos, pero aún hablamos de cifras de miles de toneladas gravitando por encima de nuestras cabezas...

Ese vapor se encuentra confinado en las capas bajas del aire, la zona que llamamos troposfera. Por encima, ya en la estratosfera, no hay humedad; o como mucho puede haber algo de humedad residual que a una altitud de un centenar de kilómetros da lugar al fenómeno óptico de las *nubes noctilucentes*, generalmente visibles de forma muy esporádica en la atmósfera de las zonas polares.

El famoso ciclo del agua –en esencia, el agua se evapora en el mar, se condensa luego en nubes, precipita como lluvia o nieve, y acaba de nuevo en el mar– es tal que la cantidad total de agua del planeta es constante. Eso sí hay un permanente intercambio entre las aguas superficiales y atmosféricas, bastante rápido ya que ocurre varias veces en un año. En cambio, con las aguas de las simas oceánicas o del subsuelo profundo, ese intercambio es mucho más lento o simplemente no existe.

Los océanos contienen disueltos o en suspensión la mayor parte de los 92 elementos químicos naturales de la tabla periódica. Entre ellos predominan obviamente el cloro y el sodio, y ya en mucha menor cuantía el magnesio y el bromo. Solo estos cuatro elementos son explotados industrialmente por la humanidad. También revista interés la explotación de minerales depositados en el fondo marino; por ejemplo, nódulos de manganeso casi puro, además de algunos metales como hierro, níquel, cobre, cobalto, zinc, cromo, wolframio, plomo e incluso uranio.

En suma, todos los seres vivos somos seres de agua, dependientes del agua. Y los humanos, además, hemos sido capaces de idear sistemas de todo tipo para aprovechar ese medio líquido que nos rodea, a pesar de sernos hostil como terrícolas que somos. El agua no solo es la vida, sino que sin agua, no hay vida.

## 5. Pero, entonces ¿por qué dañamos nuestro entorno?

Todo lo que hemos visto hasta aquí nos ayuda a ponderar la enorme importancia del medio acuoso del planeta para la vida misma. Y, por extensión, la importancia que reviste hoy el entorno natural para la vida humana, que es la que nos pilla más cerca y la que más nos importa.

Solo que los humanos dependemos de la naturaleza, también del mar... Hasta tal punto que hoy comienza por fin a vislumbrarse algo de cordura en unas conductas desarrollistas que se iniciaron con la revolución industrial y que ahora han desembocado en un desarrollo sin duda deseable, pero probablemente ya insostenible, al menos con las mismas premisas previas. Y menos mal que ya se alzan voces, incluso en foros internacionales, reclamando una visión menos miope, más sostenible, sin perder lo mucho que algunos hemos conseguido tener, y buscando que ese bienestar sea compartido por cada vez más congéneres, contemporáneos y descendientes nuestros.

Aludíamos antes medio en broma al nombre del planeta, que debería haber sido Agua y no Tierra. Una anécdota que supone, apenas, un mero juego del intelecto, convengámoslo. Pero tiene algún interés si al menos sirve para recordarnos que esa enorme masa de agua se enfrenta a graves problemas precisamente por culpa de la mano del hombre.

No obstante, lejos de algunos catastrofismos propios de esta época de grandes amenazas globales cuando la humanidad nunca ha vivido más y mejor que ahora, conviene decir que los problemas de la sostenibilidad ambiental del desarrollo de los pueblos, los que ya somos ricos y los que quieren serlo, tienen visos de solución. El mar posee no pocas fortalezas, y ofrece aún oportunidades muy variadas como para hacer las cosas mejor de lo que veníamos haciéndolo en los dos últimos siglos.

Pero, sin duda, hay razones para preocuparnos por la salud de los océanos, que es como decir del planeta entero porque incluso la vida tierra adentro tiene siempre relación, aunque sea por vía indirecta, con lo que ocurre en los mares. La principal de esas preocupaciones es que nacen de una constatación desoladora: el daño que podemos estar infligiendo los humanos al entorno natural de todo el planeta ha sido y sigue siendo, en su inmensa mayoría, involuntario. Es decir, muy pocas veces contaminamos para hacer daño de forma consciente; al contrario, lo hacemos casi sin darnos cuenta a través de mecanismos casi siempre relacionados con nuestros comportamientos desperdiciadores de bienes y recursos naturales que usamos profusamente.

Y es que la naturaleza –recordemos que los mares suponen más del 70 % de ese entorno natural– se ve amenazada por el hecho de que nuestra vida actual se aprovecha de algunas de sus características más preciadas como fuente de sustento, como soporte de nuestro transporte, comunicaciones y otras actividades, y sobre todo como depositario final de muchos de nuestros residuos. Este último aspecto, claramente agresivo para la vida marina y para los suelos continentales, se basa en la idea apenas intuida de que el campo y el mar, así en genérico, son muy grandes y lo aguantan todo.

Pero no. Múltiples amenazas de origen humano han acabado por poner de manifiesto las debilidades de ese entorno natural único porque solo tenemos un planeta, el nuestro. Se impone un cambio de enfoque con vistas a ir remediando lo ya deteriorado y evitar que siga ese proceso; y eso es lo que hoy suele llamarse desarrollo sostenible. No es utópico, pero exige replantearse la forma de desarrollo industrial que hemos venido teniendo desde hace un par de siglos.

Conocemos mejor el medioambiente terrestre que el marino, pero incluso de este último vamos adquiriendo a pasos agigantados unos saberes que nos llevan no solo a darnos cuentas de las amenazas que se ciernen sobre él sino, sobre todo, a comenzar a apreciarlo por lo mucho que vale, a admirarlo e incluso amarlo por sus muchas virtudes, y a conservarlo precisamente para no perder todo eso. El turismo, la industria y sus residuos, los desechos urbanos, la sobrepesca, el plástico casi indestructible... Todo eso puede ser corregido sin por ello tener que renunciar a los beneficios ya alcanzados, mediante un tipo de desarrollo diferente en el que, por resumir, se tienda a una economía lo más circular posible –nada se tira, todo se recicla– en la que los recursos no renovables puedan ser poco a poco transformados en recursos secundarios renovables.

Eso no es fácil en el mundo de la energía que hoy sigue dependiendo mayoritariamente, en cuanto a energía primaria bruta, de las combustiones de productos fósiles irremplazables.

Pero las soluciones, tanto las que ya se están poniendo en marcha como las que habrán de venir, requieren ante todo la complicidad positiva de la población. Que solo puede conseguirse con educación informal, con mensajes de concienciación en positivo, huyendo de dramatismos espectaculares pero nada eficaces. Una labor en la que han de jugar un papel preponderante no solo las instituciones públicas y privadas que conocen y se ocupan del problema, sino también los medios de comunicación y la sociedad civil misma, a través de acciones directas de voluntariado y dispersión de los conocimientos.

Un buen ejemplo de este quehacer en positivo lo constituyen los modernos zoos y sobre todo los grandes acuarios, que además de mostrar las bellezas naturales en tierra y mar, también divulgan conocimientos formativos, a la vez que investigan, conservan y difunden el amor por los valores ambientales. Lástima que no proliferen los esforzados divulgadores como el llorado comandante Cousteau, cuyas filmaciones seguimos contemplando con deleite e incluso reverencia, al igual que ocurre con las del también llorado Félix Rodríguez de la Fuente, en este caso defendiendo el medioambiente más bien terrestre y sus criaturas.

La ciencia aún tiene mucho que aprender de los mares, de sus mecanismos y de las formas de vida de sus habitantes de todos los tamaños y especies. Porque hemos de ser conscientes de que de nosotros, los humanos del siglo XXI, de nuestra ciencia y de nuestro poderío tecnológico, si conseguimos encarrilarlo por vías más sostenibles, dependerá la posibilidad de ir reduciendo esas amenazas que, en algunas cuestiones, se nos antojan alarmantes.

## 6. ¿Cómo puede la humanidad estar dañando tan gravemente al planeta?

La alerta mundial en torno al daño que estamos provocando a la masa líquida del conjunto del planeta y a las tierras emergidas está presente casi a diario en los informativos de todo el mundo. Pero hay quien se pregunta, con cierto escepticismo, si eso es realmente posible...

Porque es obvio que los seres humanos somos primates inteligentes, sí, pero no estamos dotados de una fuerza y un tamaño excesivos —en eso nos ganan muchos animales y plantas— y, además, tenemos increíbles limitaciones en cuando abandonamos nuestro entorno natal, la tierra firme. No estamos a gusto ni podemos sobrevivir lejos del suelo porque ni sabemos volar ni podemos bucear más allá de un tiempo muy limitado bajo las aguas, y a no mucha profundidad.

Desde luego, nuestra inteligencia ha sabido proveernos de aviones, barcos y submarinos que surcan con seguridad los cielos y las aguas, en superficie y bajo ella. Pero, aun así, esas naves voladoras, flotantes o submarinas solo pueden afectar a una porción limitadísima de los océanos y de la atmósfera. El resto está libre, aparentemente al menos, de esa presencia humana siempre esporádica, aunque no por ello menos agresiva e impactante, tanto directa como indirectamente.

En todo caso, nuestra intuición parece indicar que no debe ser fácil contaminar tales masas de agua y aire en el conjunto del planeta. Alguien podría incluso decir que suena casi soberbio, presuntuoso. No somos tan poderosos, ¿no?...

Lo malo es que, de cierta manera generalmente sin querer, sin casi darnos cuenta, ya hemos adquirido la posibilidad sí, de dañar al planeta entero. Bueno, al planeta no; a la biosfera, en la que y de la que vivimos.

No podemos desplegar fuerza y potencia brutas, capaces de destruir el conjunto de la vida marina o terrestre. Pero sí hemos llegado a hacerlo a base de aplicar nuestra inteligencia con logros tecnológicos inauditos, que nos han proporcionado medios y herramientas para conseguir a gran escala múltiples bienes y servicios. Eso sí, con cierta inconsciencia despreocupada respecto a algunas consecuencias de esas actividades que buscan mejorar nuestra forma de vida tanto en cantidad como en calidad. Por ejemplo, todo tipo de residuos que acaban en el suelo, las aguas y el aire en cantidades ingentes; o el agotamiento de los recursos no renovables y que no reciclamos.

En todo caso, esa culpabilidad derivada del desarrollo industrial debe ser matizada. Porque con ese proceder una parte de la humanidad, más o menos la quinta parte, que somos los pobladores de los países más ricos, ha más que doblado la esperanza media de vida de nuestra especie desde finales del siglo XIX. Una esperanza de vida que, antes de eso, apenas creció unos pocos años en los últimos veinte siglos. Un resultado inconcebible que ha desembocado en un fenómeno probablemente único en la biosfera: un crecimiento incontrolado del número de individuos de nuestra especie. Un crecimiento explosivo.

Sí, nadie podrá negar que ahora vimos mucho más y mucho mejor que antes. ¿Antes? ¿Con que fecha del pasado nos comparamos? La respuesta es sencilla: cualquiera. Cualquier tiempo pasado fue peor. Lo que de ningún modo pudo prever Jorge Manrique cuando escribió aquellos versos famosos de su elegía a la muerte del maese don Rodrigo, su padre:

Recuerde el alma dormida, avive el seso y despierte  
contemplando cómo se pasa la vida, cómo se viene la muerte,  
tan callando, cuán presto se va el placer,  
cómo, después de acordado, da dolor;  
cómo, a nuestro parecer,  
cualquiera tiempo pasado fue mejor.

Por supuesto, Manrique vivió en el siglo XV, en plena Reconquista y participando activamente en las intrigas de la reciente fusión de los reinos de Castilla y Aragón, con el común objetivo de combatir entre sí, y ya si acaso luchar contra los moros invasores... Vivió menos de 40 años, y su pesimismo, tan bellamente expresado, estaba justificado en aquella época.

Pero hoy sería imposible afirmar, con un mínimo de veracidad, eso de que «*cualquiera tiempo pasado fue mejor*». Vivimos en todo el mundo, incluidos los países más pobres, mejor que nunca. Eso sí, los ricos hemos progresado muy deprisa, y los pobres lo han hecho también, pero mucho más despacio...

Entonces ¿dónde está el problema? Todo lo dicho suena bien para la especie humana. Y no parece probar que tengamos la capacidad de dañar la vitalidad de los océanos del planeta, ni aún menos la del planeta entero.

Pero si nos vamos al origen de ese progreso exponencial de los humanos, observamos que todo se inició con una revolución industrial basada en transformaciones energéticas a base de máquinas muy eficientes que convertían el calor de combustión en otras energías útiles para el transporte y muchas otras tareas. De la máquina de vapor y luego los motores de explosión interna, además de muchas otras energías secundarias como la electricidad, derivaron directa o indirectamente todos los adelantos que, en pocos decenios, consiguieron mejorar increíblemente las condiciones de vida de los humanos. Pero ese proceso también favoreció el crecimiento exponencial de los individuos de nuestra especie. No es que aprendiéramos a reproducirnos como conejos, simplemente dejamos de morirnos como moscas gracias a los adelantos de la ciencia biomédica. Vivir más años y ser cada vez más numerosos conlleva necesidades globales crecientes, en un mundo en el que, además, el desarrollo iba exigiendo tener y gastar cada vez más... de todo.

Lo malo es que en todos esos procesos productivos se generaban residuos, que hoy llamamos contaminantes porque dañan al entorno natural, que con su mera presencia alteraban las condiciones de vida de todas las especies de la biosfera, incluidos nosotros mismos. Una alteración raras veces inocua. Porque esos desechos de todo tipo que eliminábamos —aún lo seguimos haciendo— dispersándolos en el aire, el suelo y las aguas eran los que poco a poco iban dañando no tanto al planeta como a sus moradores. Plantas y animales, desde luego; pero es que hemos llegado a tal nivel de insensatez que nos matamos a nosotros mismos. La ONU

reconoce hoy que hay más víctimas mortales por la contaminación en las grandes ciudades, sobre todo del Tercer Mundo, que por el consumo del tabaco: casi diez millones de personas al año, frente a poco más de siete millones.

Lo mismo ocurre con el suelo y, sobre todo, con las aguas del planeta entero. Los más de 7.700 millones de humanos que habitamos el planeta en el verano de 2019 nos hacíamos en una pequeña superficie. Recordemos que las tierras emergidas ocupan solo el 29 % de la superficie planetaria, pero es que las zonas habitables son mucho menos extensas que todo eso porque habría que restar las altas montañas, los desiertos, los continentes helados como la Antártida... Parece obvio que allí donde podemos vivir se acumule la basura de todo tipo que nosotros mismos y nuestra actividad industrial generamos.

Muchas de esas basuras acaban en las aguas corrientes y, en última instancia, terminan en el mar en las zonas costeras desde donde, gracias al oleaje y las corrientes marinas, acaban difundiéndose hacia el resto del agua. Si a esto sumamos las actividades humanas que contaminan directamente los océanos, como el transporte de crudo, por ejemplo, o la sobrepesca insostenible de recursos marinos comestibles, comprenderemos mejor que sí, aun siendo el mar muy grande, podemos ya estar dañándolo gravemente en su conjunto. Incluidos, por sorprendente que parezca, los mares polares en los que se ha encontrado una densidad de microplásticos similar a otras zonas oceánicas más próximas a las costas donde se produce esa contaminación de origen costero.

Otro aspecto del problema que supone nuestro impacto sobre el entorno natural tiene que ver con el agotamiento de nuestras actuales fuentes de energía y de buena parte de los recursos materiales que obtenemos del planeta. La mayoría de ellos se van agotando y nunca se podrán sustituir ya por haber sido eliminados de manera definitiva. Por ejemplo, el carbón y los hidrocarburos que, almacenados bajo tierra y mar desde hace muchos millones de años, los usamos ahora como proveedores del 80 % de esa energía primaria bruta de la que deriva, directa o indirectamente, todo el bienestar del que disfrutamos. Pero también buena parte de la contaminación que nos aflige y nos preocupa.

De ahí la pertinencia del concepto de *transición energética*: tenemos que iniciar ya, cuanto antes, un proceso de transformación de nuestras fuentes de energía de modo que el sistema sea cada vez menos insostenible. No podremos prescindir de golpe del petróleo o del carbón, eso es obvio; pero sí sabemos ya cómo mejorar la eficiencia de nuestros procesos, cómo ir reduciendo esa dependencia de los combustibles fósiles a base de consumir menos y mejor, e incrementando el uso de energías renovables hasta donde ello sea posible.

## 7. Comer... y beber

Con el desmesurado crecimiento de la población humana a lo largo del último siglo y medio hoy ya no podríamos alimentarnos solo con la caza o la recolección de frutos y vegetales

terrestres. Las especies de interés alimenticio en tierra firme solo pueden encontrarse en suelos fértiles y en climas propicios; y eso nos obliga una vez más a eliminar las zonas improductivas como los desiertos y las altas montañas, las regiones de climas extremos y muchos otros lugares donde no se puede producir alimento. Si viviéramos de la caza y la recolección solo podríamos, pues, explotar apenas un 10 % de la superficie total del planeta. Algo que era ya imposible para los mil millones de humanos de hace poco más de un siglo, y que resulta sencillamente impensable para la humanidad actual casi ocho veces más numerosa.

Si hoy sigue habiendo hambre en el mundo, a pesar de la ganadería y la agricultura, incluso con la pesca que, en algunos aspectos, sobre todo la que se ejerce en alta mar por grandes buques factoría, deberíamos controlar más y mejor... ¿qué solución podríamos encontrar a ese problema, que podría llegar a ser de mera supervivencia de nuestra especie? Porque la humanidad crece y crece. En todo el año 2018 el saldo entre personas nacidas y personas fallecidas fue positivo en más de 80 millones.

Bueno, el mar es muy grande. Y quizá pudiéramos imaginar que toda la humanidad pudiera subsistir alimentándose a base de las criaturas que habitan en su seno, aunque nosotros mismos seamos criaturas de tierra firme. Suena un poco utópico, claro. Fue el viejo sueño del capitán Nemo de Julio Verne y su Nautilus: vivir solamente del mar y en el mar. Eso sí en un submarino gigante, con su órgano de iglesia y todo.

Pero eso, no nos engañemos, era ya difícilmente defendible a finales del siglo XIX –al margen de que Nemo fuera un iconoclasta y un misógino feroz–, pero insistamos en que hoy somos ya sobre la faz del planeta casi ocho mil millones de seres humanos. Todos los cuales aspiran a la máxima exigencia en cuanto a la calidad y cantidad de vida que pueden tener. Que lo deseen los países más pobres, cuya población vive mucho menos, parece comprensible; pero es que también lo demandamos los habitantes de los países más desarrollados. Y sumamos en conjunto, conviene no olvidar la magnitud de estas cifras, 7.715 millones de personas, a fecha 1 de julio de 2019.

## 8. Amenazas humanas, fortaleza de los mares

Es obvio, pues, que las amenazas que se ciernen sobre el conjunto de los mares son de cuantía más que notable, y se deben obviamente a la humanidad industrializada. No por maldad manifiesta ni por afán destructivo voluntario; por simple ignorancia, a veces por pura desidia, en lo que respecta a las consecuencias de un desarrollo que aporta enormes ventajas para la calidad y la cantidad de vida de la mayoría de los habitantes, pero a costa de ir generando poco a poco, pero en cuantías ya amenazantes, unos impactos negativos crecientes sobre el entorno natural, tanto terrestre como sobre todo marino.

Es obvio que la humanidad ha sido siempre depredadora, sobre todo en los últimos miles de años, cuando fuimos poco a poco descubriendo algunas regularidades de la naturaleza que,



asimiladas como leyes naturales, nos llevaron no solo al conocimiento de su esencia sino, sobre todo, a encontrarles aplicaciones cada vez más variadas y sofisticadas. Un proceso progresivo, pero lento. La inteligencia estaba ahí, desde luego; pero el número de humanos listos –los *Homo sapiens sapiens* nos llamamos a nosotros mismos– era reducido, y además las condiciones del entorno no parecían especialmente proclives a mucho más que la mera subsistencia. Conviene recordar que tanto los neandertales como los cromañones –nosotros– vivíamos en un planeta en plena glaciación, la última de las cuatro famosas del último millón de años, en lo que antes llamábamos Cuaternario y hoy conocemos como Pleistoceno.

Pero llegó el Holoceno, que cubre los últimos 11.000 años; un instante a escala geológica pero que se inició cuando la Tierra experimentó un calentamiento brusco y muy considerable, pasando de la más cruda época glacial a las benignas temperaturas que tenemos desde entonces. Eso ha ido posibilitando el progreso cada vez más acelerado de la humanidad; un progreso explosivo en el último siglo y medio.

En nuestra mano está ahora ir poniendo remedios posibles, no utópicos, allí donde ello sea posible. Con formas de desarrollo nada revolucionarias, pero sí trascendentalmente diferentes en cuanto al enfoque. Ya no se trata de producir por producir, cuanto más mejor, sino de mejorar también cualitativamente en pos de la sostenibilidad futura de esos beneficios.

Lo que implica ir cambiando poco a poco el modelo energético para ir disminuyendo todo lo de prisa que se pueda nuestra dependencia de los combustibles fósiles, que se agotan y contaminan en exceso. Y además cuidar las formas del desarrollo económico de una forma lo más cíclica posible, donde se reduzca todo lo que se pueda el uso de procesos, bienes y servicios no renovables. Y conseguir alimentos de forma sostenible, con respeto al entorno natural y su supervivencia, garante de la sostenibilidad de esas producciones. Y reducir al máximo nuestros desechos para que, de una vez por todas, nos convirtamos en una sociedad sostenible en lugar de esa indeseable civilización del desperdicio a la que parecíamos encaminarnos a marchas forzadas.

En el fondo de todas estas cuestiones subyace una reflexión más filosófica que otra cosa: el desarrollo industrial –léase económico– ha olvidado (o lo ignora, sin más) el ciclo habitual de las transformaciones de energía y materia en la biosfera, para fijarse tan solo en la cuestión de la rentabilidad monetaria tan poderosa en la economía de mercado pero que, en realidad, es de tamaño muy reducido si la comparamos con los problemas que le estamos planteando a la Biosfera. Urge enmendar el error; nos va en ello no tanto la supervivencia del planeta, que no van por ahí los tiros, sino el mantenimiento de nuestros actuales niveles de bienestar y, lo que aún resulta más grave, la posibilidad de poderlos extender al resto de la humanidad actual y futura.





# NAVEGACIÓN, AVENTURA, EXPLORACIÓN

## EL MAR SOMOS TODOS

*Juan Antonio Romero*

Biólogo marino. Miembro del Comité Científico Oceanográfico de Valencia, director de la Fundación Azul Marino, del Acuario de Sevilla y de JARmarnine Films Nueva Zelanda

### Resumen

He navegado por prácticamente todos los mares del mundo, he dirigido y dirijo acuarios donde quiero contribuir a trasladar ese entusiasmo por el mar y las criaturas marinas, y la necesidad de conservarlas y protegerlas porque el mundo moderno las está poniendo en peligro. He buceado por muchos de esos mares, he realizado y filmado decenas de documentales submarinos, creo conocer bien la fisiología y el hábitat de las más interesantes o exóticas especies marinas... Son solo algunos aspectos de mi vida que quizá puedan servir para reflejar mi estima hacia el medio marino, compartiéndola con los lectores de un libro como este, que contiene toda clase de trabajos y puntos de vista sobre el mar, sus características y la forma en que podemos estar dañándolo o dejar de hacerlo.

### Abstract

*I have sailed practically all the world's seas. I have managed, and continue to manage, aquariums, through which I aim to inspire enthusiasm for the sea and its creatures and awareness of the need to conserve and protect them, because in the modern world they are endangered. I have dived in many of those seas and have produced and filmed dozens of underwater documentaries. I know the physiology and habitat of the most interesting and exotic marine species. These are just some of the aspects of my life that reflect my love of the marine environment and that I would like to share it with the readers of this book, which contains a variety of studies and points of view about the sea, its characteristics, and the ways in which we may be damaging it and can prevent that damage.*

*«All of us have in our veins the exact same percentage of salt in our blood that exists in the ocean, and, therefore, we have salt in our blood, in our sweat, in our tears. We are tied to the ocean. And when we go back to the sea —whether it is to sail or to watch it— we are going back from whence we came».*

John F. Kennedy

## 1. En primera persona

Aunque vivamos sobre suelo firme y respirando en el aire, es cierto que tenemos un porcentaje de sal en el cuerpo similar al del agua de mar, lo que nos hace parecernos mucho más a los animales marinos que habitan los océanos de lo que podríamos pensar. Desde los orígenes mismos de la vida sobre el planeta, todos los seres que hoy lo poblamos, igual que

los innumerables organismos anteriores a nosotros, estuvimos y estamos relacionados directa o indirectamente con el mar.

Y eso sigue siendo así ahora, aunque probablemente a una escala mucho mayor. La mayoría de los seres vivos siguen estando dentro del mar, pero hay muchos otros sobre tierra firme. Eso sí, para todos ellos el agua sigue formando parte esencial de su fisiología tanto animal como vegetal. Al aire libre o bajo la superficie oceánica.

Los humanos vivimos fuera del agua, tras una lenta evolución de unos 400 millones de años desde que nuestros antepasados, seguramente unos gusanitos anfibios, se atrevieron a abandonar poco a poco el agua que les albergaba. Hoy algunas personas dependen total o parcialmente del mar para subsistir, otros lo han convertido incluso en un medio de vida, pero para la mayoría de los habitantes de tierra adentro los paisajes marinos son más que nada un sueño, quizá un lugar de vacaciones desde la costa o la playa... Y en todo caso, una fuente de proteínas saludables, la de los frutos del mar que comemos, generalmente con agrado.

Pero para unos pocos, entre los que tengo la fortuna de encontrarme, el mar se fue convirtiendo también en una pasión. Aquel ardor juvenil, iniciático, quizá intuitivo pero ya poderoso, se fue luego convirtiendo al llegar la edad adulta en una inmensa fascinación científica, que acabó derivando en una permanente aventura personal en pos del conocimiento que acabó impregnando todos los aspectos de mi vida personal y profesional.

Y sí, he navegado por prácticamente todos los mares del mundo, he dirigido y dirijo acuarios donde quiero contribuir a trasladar ese entusiasmo por el mar y las criaturas marinas, y la necesidad de conservarlas y protegerlas porque el mundo moderno las está poniendo en peligro. He buceado por muchos de esos mares, he realizado y filmado decenas de documentales submarinos, creo conocer bien la fisiología y el hábitat de las más interesantes o exóticas especies marinas...

Para los marinos, sea cual sea su oficio a bordo, el mar es una forma de vida. Incluso en el caso de la marina de recreo, el mar se ha convertido en una forma de diversión de enorme interés, ¿quizá porque nos lleva, sin nosotros saberlo, a los orígenes no ya de nuestra especie sino de nuestra propia fisiología de seres vivientes?

Para otros, sin duda la mayoría, el mar es algo lejano, bello pero con cierta aureola de peligrosidad, incertidumbre, casi infinitud. Aunque a casi todo el mundo le gusta el pescado como alimento gastronómico, y no digamos el marisco. Y asomarse desde un acantilado o una playa para vislumbrar el horizonte lejano, incluso imaginando que somos capaces de apreciar la curvatura de la Tierra.

Pero ya he dicho que para una minoría de personas el mar es mucho más que eso. En mi caso, ha acabado por convertirse al cabo de varios decenios en una dependencia crucial, una necesidad vital para poder seguir existiendo en un mundo en el que los humanos se aferran a vivir en tierra firme, a menudo sin saber siquiera que, directa e indirectamente, consciente o inconscientemente, están dominados por el agua.

Puedo decir que prácticamente desde mi infancia, y sobre todo ya en mis años universitarios, el mar ha guiado toda mi vida. En lo personal, en lo profesional e incluso en lo familiar. Hasta el punto que me gusta imaginarme como una pequeña gota de agua salada, quizá dentro de mis venas o en el fondo de alguna sima del Pacífico, en este inmenso planeta azul, en ese planeta de agua que es, paradójicamente, la Tierra.

Perdonen la presunción, pero espero que las líneas que siguen sean capaces de trazar, asociadas a retazos de mis navegaciones e inmersiones, las distintas facetas de esa fascinación por el mar que me sigue dominando incluso ahora que, afincado en Sevilla, ni siquiera veo la costa nada más que recorriendo un centenar de kilómetros. Cosa que, por cierto, hago varias veces al mes...

Dirigir un acuario, en Asia, en Italia o ahora en la capital andaluza, o bien navegar y bucear junto a Cousteau y otros sabios del mar como Sylvia Earle, haber rodado bajo el agua secuencias de inestimable valor para mí, y espero que también para las productoras que me las encargaron, y haber surcado prácticamente todos los mares del mundo, son solo algunos aspectos de mi vida que quizá puedan servir para reflejar mi estima hacia el medio marino, compartiéndola con los lectores de un libro como este, que contiene toda clase de trabajos y puntos de vista sobre el mar, sus características y la forma en que podemos estar dañándolo o dejar de hacerlo.

Sí, en primera persona. Solo así, personalizándolo para que la única fuente de lo que puedo ser capaz de narrar sea yo mismo, mi vida, mi trayectoria ligada al mar desde casi siempre. Sin atribuirme conocimientos de otros. Solo aquello que recuerdo, que me ha marcado, que ojalá le resulte interesante a quien se digne leer estas líneas.

Por eso me atrevo a compartir con ellos algunas de mis reflexiones, ahora que estoy al borde de eso que llaman *tercera edad*. Son recuerdos que me han quedado impresos en la memoria, retazos de una vida en la que la navegación, la aventura y la exploración han agudizado aún más las ganas de saber, de conocer, de compartir lo que he visto, lo que sigo viendo, lo que me maravilla. Porque, nadie lo dude, el mar somos todos.

## 2. La humanidad debe convencerse: el océano es esencial

Hay muchas leyes, muchas normas tanto a nivel local, como estatal o incluso internacional que, desde muy antiguo, han intentado ir regulando la presencia de los humanos en el mar. Incluso con errores tan anacrónicos como el del Tratado de Tordesillas, dos años después de la primera llegada de Colón a América. Con aquel acuerdo, enmendado en 1504 por el siguiente Papa, dos naciones hermanas pero enemistadas se repartían, por así decirlo, los mares del mundo entero. Un conflicto que tenía que ver con el viaje a las Indias por el sur de África, lo que a su vez planteaba desde mucho antes otros conflictos, por la posesión de las Islas Cana-

rias, por ejemplo. Si la nueva ruta de Colón accedía a las Indias por el oeste y no por el este, las cosas cambiaban mucho.

Lo curioso es que el Tratado decidió, salomónicamente, que la mitad del mar al oeste de la península ibérica fuera española, y la otra mitad, al este, portuguesa, pero incluyendo el viaje rodeando África. Los españoles estaban contentos; ellos creían que el viaje por la América recién descubierta era más corto y menos arriesgado que rodeando África.

Pocos años más tarde ya se vio que aquello no solucionaba nada; primero, porque no contaba con otras potencias marítimas en los siglos XV y XVI, como Inglaterra, Francia o Turquía. Pero, sobre todo, porque por América no se llegaba a Asia tan fácilmente como pensaron. Y lo que es aún más importante: el nuevo continente –para los europeos, que América siempre estuvo allí, claro– resultó ser aún más interesante que Asia, y ese sí que estaba más cerca.

Esta anécdota histórica muestra hasta qué punto desde tierra adentro los humanos hemos deseado siempre regular el tráfico marítimo; porque los océanos se empezaban a convertir ya en auténticas autopistas de agua para transportar mercancías valiosas. Eran motivos poderosamente comerciales. Hoy sabemos bien que existen otras necesidades bastante más perentorias. Aquellos primeros intentos de navegar a grandes distancias se realizaban de manera aventurera, sí, pero con un obvio afán de lucro como eventual recompensa.

Hoy nos preocupa el mar por razones más concretas, relacionadas no solo con su salud, sino incluso con la salud misma de los humanos.

Recordemos en síntesis lo que incluía la famosa declaración que hizo pública el PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) en junio de 2017, exponiendo los ocho puntos en los que debíamos centrar el cuidado de nuestros océanos:

1. Los mares nos dan de comer.
2. Nos protegen del cambio climático.
3. Proporcionan trabajo.
4. Generan el oxígeno que respiramos.
5. Son el hogar de criaturas magníficas.
6. Nos facilitan el transporte.
7. Nos proporcionan el agua que bebemos.
8. Inspiran y conforman culturas y tradiciones.

No son cuestiones baladíes. Y aunque, como ya se esbozaba en los Tratados con o sin el Papa de hace unos siglos, hay aspectos sin duda pragmáticos, preventivos, incluso de valor económico, como el alimento, la protección del aire limpio y del clima, la generación de

empleo, su carácter facilitador de transporte y de la misma agua a través del ciclo global del líquido elemento. Pero también hay referencias a cuestiones que apelan a nuestra sensibilidad como humanos no solo pensantes sino también, y sobre todo, sintientes. Sin ir más lejos, la referencia a la cultura y las tradiciones, o a los maravillosos seres vivos que lo pueblan. En cierto modo, ¿no resulta extraño, y al mismo tiempo reconfortante, que la ONU apruebe una resolución en la que se habla de «criaturas magníficas»?

Cuando Naciones Unidas, o bien otras organizaciones públicas y privadas, e incluso diversos gobiernos de todo el mundo, incluida la Unión Europea y grandes instituciones privadas dedicadas a la conservación del medio marino, como por ejemplo los grandes acuarios, con su campaña OUR OCEAN, Nuestro Océano, que convoca conferencias mundiales cada año desde 2014 –en Washington, Santiago de Chile, Washington de nuevo, Malta, Bali, este año 2019 en Oslo y en 2020 en Palaos, en pleno Pacífico entre Australia y Japón–, la respuesta de los medios de comunicación, por ejemplo, es decepcionante.

Son acciones poderosas que pretenden no solo concienciar sino también recoger fondos e impulsar iniciativas de todo tipo. Poco caso suele hacerseles. La actualidad informativa no va por ahí; se prefieren los titulares alarmantes, escandalosos incluso, sin ofrecer remedios, ignorando las regulaciones internacionales que aunque son solo un primer paso en la buena dirección, resultan imprescindibles como marco legal como elementos justificativos de las acciones que conviene emprender para ir atajando muchas de las agresiones que la humanidad en pleno ejerce sobre los mares.

Y eso que algunas de estas iniciativas son realmente ambiciosas; por ejemplo, la potencia de algunas de ellas, emprendidas por gobiernos y por instituciones privadas, en este caso el resumen de la Misión de la reunión de OUR OCEAN de 2019, en la capital noruega:

*«The conference will build partnerships between government, industry, science and civil society, putting knowledge, technology and finance into action to meet the challenges facing the ocean and enable production and protection to go hand in hand so that the ocean can continue to provide for the needs of future generations».*

Es decir: «La Conferencia promoverá alianzas entre los gobiernos, la industria, la ciencia y la sociedad civil, poniendo en práctica el conocimiento, la tecnología y las finanzas con el fin de afrontar los retos que deben afrontar los océanos y poner en marcha tanto la producción como la protección mano a mano, de modo que el mar continúe satisfaciendo las necesidades de las generaciones futuras».

Se habla de «retos planteados para proteger el mar», de «poner en marcha actividades de protección y producción... para que el mar siga siendo útil».

En suma, para que sea más sostenible.

En el lado opuesto de la balanza, si es cierto que la sociedad acepta e incluso comprende –a pesar de la no muy activa complicidad de los medios, que suelen estar más atentos a lo lla-

mativo que a lo constructivo— la importancia de estos mensajes y de estos problemas, es claro que aún no ha sido capaz de asimilarlos como propios hasta el punto de promover cambios sustanciales en el comportamiento cotidiano, en el día a día de las familias, de las empresas, y por supuesto de los gobiernos, que permitan mejorar y mantener la mejor convivencia entre la especie humana dotada de alta tecnología y los océanos.

### 3. Del *Mare Nostrum* al Pacífico, el Índico, el Caribe...

Para un fanático de la aventura del mar —no tengo inconveniente alguno en definirme así—, tratar todos estos temas supone enfrentarse a la dificultad esencial de separar lo científico de lo meramente descriptivo, de discernir los hechos observados de manera más o menos despersonalizada respecto a las experiencias y las emociones que eso ha supuesto, y todavía lo hace, para mi propia personalidad.



He de confesar que he disfrutado los océanos aún más de lo que los haya podido estudiar, que no ha sido poco. Por eso decíamos al principio que estas líneas reflejan una versión individual del mundo acuático, unos puntos de vista profesionales pero sobre todo personales de alguien que ha vivido mayoritariamente en el mar y del mar, dedicándose a su estudio, su conocimiento y, desde luego, su disfrute; y del que ha conseguido hacer su forma de vida.

No será fácil encontrar en estas líneas una compleja, incluso docta, descripción aséptica de sus problemas, sus fortalezas, sus dolencias actuales y, sobre todo, de las posibles soluciones que podríamos aportar. Todo lo contrario, es un relato personal de viajes a lo largo de varios decenios por los mares de todo el mundo. Si bien es cierto que, como es obvio, de ese mismo relato ya se pueden deducir algunas de esas problemáticas que aquejan al mar, y algunas posibles soluciones que por fortuna ya se están gestando.



Lo cierto es que mi experiencia en el mar se podría definir a base de narraciones de algunos de los hitos que han acabado por satisfacer esa pasión, convirtiéndola en forma e incluso medio de vida. Han sido muchos y diversos; porque cabe pensar en que me crié entre el Mediterráneo y las claras aguas caribeñas, donde desde muy temprana edad descubrí un mundo bien diferente al que gracias al turismo, todavía incipiente, y algunos reportajes en el cine yo creía conocer.

Con poco más de seis años, aquellos paisajes sumergidos de la época se asemejaban, en mi cerebro tan ávido de sensaciones como el de cualquier niño, a algo mágico, una mezcla de fantasía y belleza que superaba ampliamente a todos los medios normalmente encargados de despertar esas vivencias en los niños, como los cuentos y narraciones, las películas de dibujos animados o los libros, cuando ya comencé a leer asiduamente.

No me llamó la atención ninguno de los problemas que hoy citan profusamente todos los medios de comunicación, relacionados con la eventual destrucción de esos hábitats, casi siempre narrado en clave catastrófica; puede que no hubieran alcanzado el nivel que quizá hoy tengan, o simplemente que a los ojos del niño que yo era hace medio siglo, todo aquello era sencillamente fascinante, al estilo de la más pura fantasía que la mente humana jamás podría imaginar.

Algo más tarde, siendo ya adolescente, tuve la suerte de leer un libro que no solo comenzó a descubrirme las maravillas de la vida bajo el agua sino que, entonces, y a partir de entonces, supo llevarme consciente o inconscientemente por terrenos remotos e inexplorados, como en una especie de sueño lúcido que acabaría guiando mi vida. Un sueño que consistía, que todavía me lo recuerda cada día, que tenía que conocer a fondo, en superficie y en profundidad, el conjunto de los mares y océanos de todo el planeta. Descubrir no solo su belleza estética sino comprender su significado y el de sus moradores, como cuna que fue de toda la vida que hoy existe en el planeta, incluida la nuestra, la vida humana.

Aquel libro se titulaba *Dove*, y lo había escrito Robin Lee Graham. Este marino americano nacido en 1949 fue la persona más joven que realizó la vuelta al mundo en solitario por mar, y además en un pequeño bote de vela –un balandro de 24 pies, apenas ocho metros, de eslora–. Conviene decir que Robin llevaba navegando con sus padres desde los seis años por el Pacífico cercano a las costas americanas. Era muy hábil construyendo estructuras de madera, y nada más cumplir los 16 años, en 1965, se echó al mar en un pequeño balandro construido casi totalmente por el en California, llegando a Hawai donde residía por entonces con su familia. Y allí fue cuando inició su extraordinaria aventura que le llevaría a dar la vuelta al mundo en su propio barco en cinco años, con la única compañía de dos gatos.

En el camino se casó con la que todavía hoy es su mujer, Patty, y ambos recorrieron el mundo entero, aunque separadamente ya que el contrato firmado con *National Geographic* no le permitía ir acompañado en su barco de vela; Patty se limitó a seguirle por tierra. El mundo supo de sus hazañas debido a que la revista publicó inicialmente algunos artículos narrando las diversas etapas de aquel viaje, en diversas entregas entre 1968 y 1970. De aquel material surgió luego el libro *Dove*, así llamado porque era el nombre de aquel primer barco que él construyó. Aunque más o menos a la mitad de su periplo la propia *National Geographic Society* le ayudó

a adquirir un barco algo más grande, rebautizado con el mismo nombre que el primero, que pasó a llamarse *Little Dove*, o sea 'Pequeño *Dove*'. Supongo que casi todo el mundo sabe que *dove* significa 'paloma', en inglés...

De todo aquel material escrito salió el libro que tanto me fascinó cuando lo leí, a finales de los años setenta. Había sido editado en 1972 y muy pronto se convirtió en superventas, haciendo volar la imaginación de muchas personas que, como yo, soñaban con el mar como la aventura de sus vidas.

Solo que en mi caso luego tuve la inmensa fortuna de poder alcanzar ese sueño, y hacerlo durar prácticamente durante toda mi vida adulta. Y espero seguir haciéndolo, aunque la edad se va dejando sentir...

Por cierto, resulta curioso que tras algunas otras navegaciones de menor importancia, Robin y su mujer se trasladaran finalmente tierra adentro, bastantes años después: ahora viven en Montana, de un negocio de carpintería de madera para la construcción que nada tiene que ver con el mundo marino. Como si aquella loca y fascinante aventura juvenil hubiera saciado para siempre jamás sus ansias de descubrir el mar.

Un mar que seguramente no conoció por abajo, en profundidad; como yo sí tuve la fortuna de hacerlo desde muy joven, y nada menos que en compañía de Jacques Yves Cousteau, el hoy mítico comandante Cousteau; inventor, por cierto, de la escafandra autónoma, llamada en inglés *aqualung*, o sea, 'pulmón de agua'...

El caso es que yo leí *Dove* siendo bastante más joven que su autor cuando emprendió su aventura. Pero me identifiqué inmediatamente con aquellos paisajes que describía, y me sentí subyugado por aquellas descripciones de la emoción sentida al ver amanecer o anochecer en alta mar, al contemplar y soportar el oleaje embravecido, al realizar las tareas diarias de pesca y preparación de la comida necesaria para sobrevivir. Sumado al necesario racionamiento del agua dulce, a la contemplación de unos paisajes costeros tan exóticos como imposibles de conocer... O eso pensaba yo de adolescente.

Luego, en el colegio y más tarde en la universidad, durante las largas horas pasadas en las aulas de clase no siempre con el aprovechamiento debido en las asignaturas más aburridas, mi mejor escapatoria era la de soñar con aquel mar abierto lleno de sorpresas y aventuras, tan magistralmente descrito por Robin Lee Graham.

Pude averiguar bastante más tarde que el viaje del *Dove* fue toda una inspiración para navegantes, oceanógrafos y amantes del mar que tuve la fortuna de conocer a través de los años. Y supongo que en la actualidad todavía puede seguir siendo toda una inspiración para muchos jóvenes.

¿Cómo fue aquel viaje? ¿Por dónde eligió su camino el joven Robin Graham para darle al mundo?

*Dove* salió de Hawai cruzando el Pacífico en dirección suroeste con destino a Pago Pago, en la Samoa Americana, al sur del Ecuador. A lo largo de su larguísima travesía de más de 3.000 millas náuticas –la distancia recorrida realmente es difícil de calcular porque en la navegación a vela no existen líneas rectas sino que el barco ha de adaptarse a los vientos reinantes en cada momento– pudo descubrir muchas de las facetas que caracterizan al inmenso océano que bautizó Fernando de Magallanes como Pacífico, aunque su comportamiento rara vez puede ser catalogado como tal. Los expedicionarios portugueses y españoles al servicio de la Corona de España habían pasado tales penurias para atravesar el estrecho de Todos los Santos, luego conocido como estrecho de Magallanes, bordeando el sur del continente americano, que por contraste aquella inmensa «mar oceánica» les pareció de lo más pacífica. Era el año 1520... Hoy el estrecho es íntegramente chileno pero este país permite el paso libre a cualquier embarcación.

El océano Pacífico es tan extenso que su superficie equivale a casi un tercio de la superficie total del planeta, y su volumen de agua supone la mitad de toda la hidrosfera terrestre, 715 millones de kilómetros cúbicos.

Robin, en su navegación sobre el frágil velero, describe maravillado la belleza de las playas de la isla de Pago Pago, un auténtico paraíso de propiedad norteamericana puesto que se encuentra en la llamada Samoa Americana. Habla asombrado de una pesca fácil y abundancia, de la variedad de peces y corales, de los parajes descarnados de la isla, situada en una zona volcánica y de elevada sismicidad. Precisamente no hace mucho, en 2009, un terremoto de magnitud Richter superior a 8 en aquellos parajes provocó tres tsunamis sucesivos en la isla que elevaron el agua del mar más de seis metros de altura, invadiendo las tierras del interior en centenares de metros, y arrasándolo todo en su viaje de ida y vuelta a la costa.

En mi caso pude visitar la isla varios lustros después de haber comenzado a soñar con aquellos paisajes cuando leía, siendo apenas un adolescente, el que siempre fue para mí un mítico libro, casi mi libro de cabecera permanente. Y pude confirmar que aquel destino final de muchos navegantes y comerciantes mantenía casi intactas las bellezas descritas en 1972 por el joven navegante Graham.

Pago Pago es el nombre de la principal ciudad de la isla de Tutuila, la mayor de las pequeñas islas e islotes que conforman la Samoa Americana. En total, todas ellas apenas suman 200 km<sup>2</sup> de superficie, en las que viven unas 55.000 personas.

Cuando he podido visitar la principal ciudad del minúsculo archipiélago, cuya población apenas llega a los 40.000 habitantes, me he encontrado siempre con una ciudad cosmopolita lejos de cualquier continente, en medio del Pacífico, que vive del comercio internacional, de un turismo escaso y muy selectivo, y del negocio que suponen las flotas pesqueras de atún, una de las industrias florecientes de la isla desde hace ya tiempo.

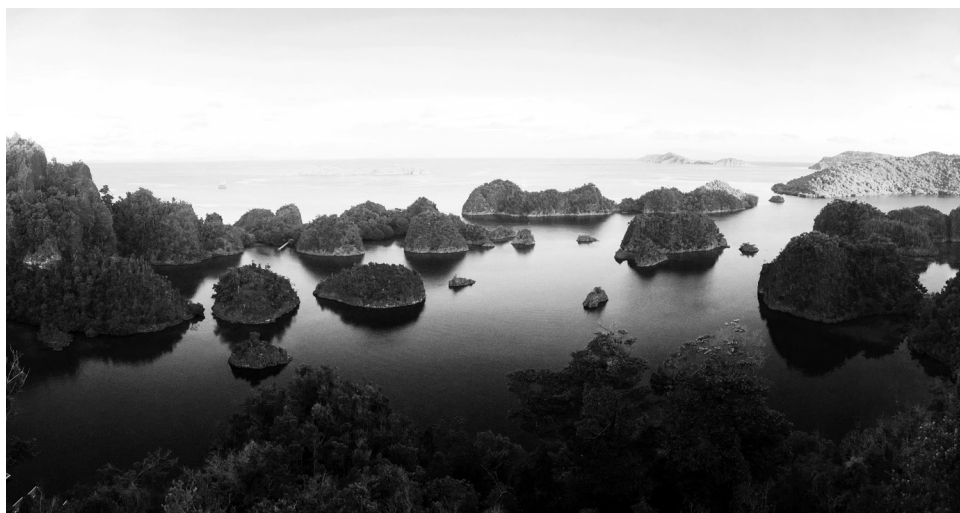
El resto de Samoa es, con islas de mayor tamaño, un país independiente y sus aguas, como las de Pago Pago, son muy ricas en biodiversidad aunque existe un temor creciente por el azote del cambio climático, que se añade al riesgo que supone la sobrepesca que está haciendo ya insostenible una actividad que siempre ha supuesto un medio de vida importante para toda la

región. Una sobrepesca que ya no se ejerce con fines alimenticios sino de pura especulación, debido al elevado valor que adquieren los productos que allí obtienen los ricos y siempre ávidos de más materia prima países asiáticos desarrollados, principalmente China, pero también otros que son popularmente conocidos como ‘países dragones de Asia’.

Y conviene citar las actuales dificultades de adaptación a la vida moderna de una población local que siempre vivió de forma natural y, todo hay que decirlo, saludable. Pero desde la Segunda Guerra Mundial, cuando la población militar americana llegó a superar a la población autóctona —es conocida la importancia estratégica de las islas del Pacífico como escalas de aprovisionamiento de combustible y alimentos para las flotas bélicas del Pacífico— y acabó imponiendo poco a poco un modo de vida incompatible con el que siempre tuvo aquella pequeña isla en medio del inmenso mar.

En el libro, el velero *Dove* acaba despidiéndose de la impresionante y alargada bahía de Pago Pago, y pone rumbo a Vava’u, en el también minúsculo archipiélago de Tonga, a 551 millas náuticas de distancia, al sursuroeste de Pago Pago.

La distancia entre los dos minúsculos archipiélagos es mucho menor que la que se da entre Hawai y Pago Pago, más o menos la cuarta parte. Aun así esas 551 millas equivalen a algo más de 1.000 km; la milla náutica es la distancia que cubre un arco de un minuto de meridiano. Equivale a 1.852 metros, y se sigue usando en navegación marítima y aérea como unidad racional que es; lo que no ocurre con el grado Fahrenheit, para la temperatura, o con la milla terrestre para distancias, unidades arbitrarias que, aun así, se usan todavía de forma generalizada en los Estados Unidos.



Esa travesía entre pequeños archipiélagos en medio de un mar inmenso cruza una zona del Pacífico tropical muy rica en biodiversidad, aunque allí todo el ciclo vital, gobernado por la atmósfera y el mar, depende de las corrientes y de los cambios de temperatura, regulados por

el ciclo de El Niño y La Niña. Un fenómeno de corrientes más o menos cálidas en superficie que ocurre en torno al Ecuador y en un área que va casi desde Australia hasta América del Sur.

No deja de ser curioso que estas extensas zonas ecuatoriales y tropicales del inmenso Pacífico parezcan tener la clave, según los expertos, de ciertas variaciones llamativas del clima en el mundo. Porque su influencia sobre las lluvias, sequías, olas de frío y calor y otros elementos meteorológicos extremos de zonas muy alejadas de aquí es patente. Por ejemplo, afectan a Europa, que se encuentra en las antípodas, al otro lado del mundo. El último gran fenómeno de El Niño se dio en 2016-17; y aunque es un ciclo que ocurre cada tres o cuatro años, los más intensos son poco frecuentes. El anterior fue en 1998...

Entre Pago Pago y Tonga el agua hierve de grupos de peces de todo tipo, como los atunes en su sempiterna migración anual. Probablemente eso se debe a que en el suelo oceánico existe una de las más extensas y profundas líneas de fosas oceánicas, una de cuyas simas es la segunda más profunda del mundo, después de la fosa de las Marianas, más al norte pero también en el Pacífico. Si se pudiera ver el fondo del mar, observaríamos un extensísimo valle de muchísimos kilómetros que nace cerca de Pago Pago, precisamente, luego adquiere su máxima profundidad cerca de Tonga, y prosigue a gran profundidad casi en línea recta hasta Nueva Zelanda, con simas de más de 8.000 km. La de Tonga alcanza hasta 10.000 metros de profundidad. Bajo el agua allí la corteza terrestre es muy delgada, y la existencia de esas fosas es la más clara muestra de una actividad geológica intensa; no es de extrañar que todos estos parajes sean de origen volcánico y sufran frecuentes terremotos.

Como si no supiera lo que se cuece en las aguas más profundas de las proximidades, la travesía de Robin, y de los que hemos surcado luego aquellos mares, tiene lugar sobre aguas azules transparentes en las que se puede contemplar una riqueza animal inimaginable hasta donde llega la luz.

En esas 551 millas, que casi sigue en superficie el mismo rumbo que la famosa fosa oceánica del fondo, uno se ve acompañado por algún albatros, o de vez en cuando los peces voladores que saltan hasta aterrizar en la cubierta, incluso una bandada de corifaenas (*Coryphaena hippurus*, más conocido como *mahi-mahi* o dorado) que siguen como una estela el rumbo del barco, prolongando su casco como una cola móvil de colores brillantes en tonos azules, amarillos y rojos, rompiendo la monotonía de una travesía de varios días.

Cuando arriba al reino de Tonga, Robin Lee Graham vuelve a describir la generosidad de los habitantes de estas islas minúsculas, auténticos paraísos terrenales en los dominios absolutos de Neptuno, sin duda propiciada por la riqueza y abundancia de los recursos vitales, unidas a la encantadora belleza de los paisajes submarinos próximos a la costa, y de la vegetación encima y debajo del agua.

Yo mismo, en la primera de mis travesías por el Pacífico motivado por la excitación que me produjeron años antes los relatos de paisajes de mar e islas del viaje del *Dove*, pude bucear en cada punto que me fue posible en las proximidades de Vava'u.



El pequeño grupo de islas Vava'u se encuentra al norte del extenso archipiélago que conforma el Reino de Tonga. Son muchas islas e islotes, nada menos que 177. Pero solo 37 están habitados. Cuando volví por allí ya habían transcurrido cuarenta años del paso por aquellos lugares del joven navegante escritor, y a pesar del aumento de la población y la presión por parte de la actividad pesca y el turismo, debo decir que todavía mantienen los fondos marinos del archipiélago de Tonga una riqueza y una belleza excepcionales. Desde las aguas someras, a muy pocos metros de la superficie en torno a sus arrecifes, hasta las aguas más profundas situadas solo un poco más lejos de la costa, seguimos pudiendo contemplar todo un carnaval de colores y movimiento que ya había narrado Robin en su épica narración..

Mucho tiempo atrás, cuando llegaron por primera vez los europeos al archipiélago, enseguida se hizo legendaria esta riqueza submarina. Y con asombro se pudo observar el paso anual de las grandes agrupaciones de ballenas jorobadas en Nuku'alofa, capital del Reino de Tonga y situada en la isla mayor de Tongatapu, que no solo consta de una gran laguna cerrada por arrecifes de coral sino que además cuenta con cinco reservas marinas y dos parques insulares protegidos. En estos días un folleto publicitario incitando a visitar aquellas islas dice literalmente: «Jugar con las ballenas jorobadas y escuchar su canto no tiene por qué ser un sueño irrealizable. Eso sí, tendrás que cruzarte el planeta para conseguirlo: viajar nada menos que a Tonga, en la Polinesia, y disfrutar de unas aguas cálidas que rozan la perfección».

Los que hemos estado por allí damos fe de que eso sigue ocurriendo, y hasta donde sabemos, ocurren desde hace muchos decenios, seguramente siglos.

Las ballenas jorobadas o yubartas (*Megaptera novaeangliae*) son mamíferos de la familia de los rorcuales, las grandes ballenas, cuya pesca está prohibida en el Reino de Tonga y en muchos otros lugares del mundo. Incluso el buceo con botella está prohibido con estos animales, y solo es posible obteniendo un permiso muy especial, que exige el uso de recicladores.



Los esfuerzos internacionales para la conservación de estos animales la han puesto en la Lista Roja de especies amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Estos gigantes del mar, cuyos adultos pueden llegar a medir 16 metros y pesar casi 40 toneladas, son animales acrobáticos cuyos machos emiten un canto extraño y complicado, muy largo, y que se repite una y otra vez; se piensa que juega un papel en el cortejo nupcial, pero no se sabe bien si eso es así. Son animales migratorios en casi todos los mares; se nutren de las aguas muy ricas en krill, que son minúsculos crustáceos muy abundantes en los mares polares, y en este caso, en el océano Glacial Austral, en torno al enorme continente de la Antártida. Y luego de un largo viaje migratorio de hasta 25.000 km desde aquellas aguas gélidas hasta las más templadas y acogedoras de las zonas tropicales, acuden a refugiarse cerca de las costas isleñas, como las de la bahía de Nuku'alofa, para que las hembras puedan dar a luz.

El paso de estas ballenas tan vistosas y juguetonas acercándose a esa bahía en grupo constituye uno de esos espectáculos de la Naturaleza que se repite de día en día, de año en año, desde tiempos inmemoriales. Y eso nos hace reflexionar, como lo hace constantemente la inmensidad del mar abierto, en la escasa ayuda o necesidad que tiene de nosotros, los humanos, ese entorno natural del planeta que es el más abundante, el conjunto de mares de océanos.

Por cierto, el ciclo de las ballenas jorobadas no se detiene, obviamente, en el parto de las hembras en aguas tropicales abrigadas. Cuando las jóvenes yubartas adquieren peso y tamaño suficientes, inician de nuevo su largo viaje a las aguas muy frías de la Antártida, ignorando a la raza humana –que no necesitan para nada– pero en cambio no pasando desapercibidas para aquellos que tienen hacia ellas intereses económicos, hoy bajo control severo, o bien la necesidad de saber y conocer que, por fortuna, también nos caracteriza a los humanos y que tanto nos ayuda a entender qué lugar ocupamos en este mundo que habitamos, y que es mucho más complejo de lo que pudiera parecernos desde la óptica un poco miope de tierra adentro.

En realidad, para los amantes del mar y, sobre todo, del buceo, encontrarse con estas ballenas puede llegar a ser como una danza submarina única por su grandeza. Nadar bajo el agua en medio de las ballenas jorobadas, por ejemplo en Tonga, o junto a las ballenas azules en la Baja California mexicana, o con los cachalotes en el Caribe o en el Mediterráneo... Todo ello constituye un espectáculo de primera magnitud, y los que podemos apreciarlo junto a estos magníficos animales somos, sin duda, unos auténticos privilegiados. Eso sí, podemos intentar compartir, aunque sea en parte, esas sensaciones realizando filmaciones de todas estas maravillas que luego podremos contemplar todos, estemos donde estemos. El equipo de Cousteau fue pionero, y maestro, en estas lides, otros hemos intentado seguir después su estela.

Saliéndome de la ruta que siguió el *Dove*, saliendo de Vava'u para dirigirme a Nueva Zelanda, donde está mi hogar y resido desde hace muchos años, antes de trasladarme temporalmente a Sevilla, pude aprender una de esas lecciones que nos hacen respetar al mar aún más. Saliendo ya del Reino de Tonga pero no muy lejos aún, el océano me enseñó algo que jamás pude imaginar que existiera: dos ciclones tropicales juntos, es decir, al mismo tiempo y en el mismo lugar. Este curioso fenómeno se llama 'efecto Fujiwuhara', y se produce cuando las dos masas de aire perturbado y girando en sentido ciclónico tienen similar energía y nacen muy cerca una de la otra. Hasta que una de ellas no adquiera mayor energía, por ejemplo pasando por una zona de agua más cálida o por alguna variación en las condiciones de la alta atmósfera sobre ella, y por eso mismo acabe engullendo a la otra, los dos monstruos marinos seguirán coexistiendo y moviéndose el uno cerca del otro.

Viéndolo retrospectivamente, con mentalidad científica y más analítica, lo más asombroso es que pude sobrevivir a la experiencia, que ahora me parece algo tan insólito como maravilloso. Es inimaginable lo que la combinación de la humedad, el viento, la inestabilidad del aire cálido y el mar muy energético pueden llegar a crear prácticamente de la nada...

¿Maniobras de evasión? Pues lo cierto es que en una travesía de Tonga a Nueva Zelanda de casi 1.500 millas marinas no hay mucho que se pueda hacer para escapar cuando se navega en un velero de 15 metros de eslora, con una tripulación de dos niños de diez y doce años respectivamente, intentando sortear olas de diez metros. Pero contarlo, luego, resulta sin duda de lo más gratificante.

#### 4. Hasta Aotearoa, pasando por Minerva

Más o menos hacia la mitad del viaje o un poco más, nos encontramos con una de esas maravillas del mar que uno no puede ni imaginar que pueda existir: el arrecife de Minerva. Incluso el nombre suena ya casi mágico...

En realidad son dos arrecifes de coral, situados a una distancia de unos 30 km el uno del otro. Están, por así decirlo, en medio de la nada; el del norte, que es un poco más grande, es un



pequeño atolón con una entrada poco profunda y angosta que no permite el acceso a grandes barcos ni, sobre todo, a las flotillas de pesca. Algo que resulta muy afortunado.

Y es que este paraíso olvidado en el tiempo, que es imposible de habitar por su escasa altitud sobre el nivel del mar en marea baja, es sin embargo un refugio lo bastante seguro como para resguardarse del mal tiempo. Fuera, en mar abierto, puede haber olas enormes, de hasta diez metros, en caso de temporal. Pero en el interior el oleaje no sube a más de un metro...

La laguna interior, al ser inaccesible para barcos grandes, solo es visitada por no más de una docena de veleros al año. Y así su ecosistema se ha mantenido virgen, casi totalmente inexplorado y con una biodiversidad única en medio del océano debido a que la mano del hombre no ha intervenido sobre él. Ese océano que fue surcado hace más de ocho siglos por los polinesios y, mucho más tarde, en 1521, por Fernando de Magallanes y los restos de su expedición de vuelta al mundo que pasaron por allí sin poder remediar sus problemas de aprovisionamiento de víveres y agua dulce.

El viaje entre Minerva y Nueva Zelanda es más de lo mismo, aunque ya con un mar algo más tranquilo. Y es que según se sube en latitud hacia el sur, a cada cien millas náuticas recorridas corresponde un descenso en la temperatura de agua de un grado Celsius. Lo que acaba por notarse, de forma muy rápida, en el aire cada vez más fresco y en los instrumentos de navegación. Y conforme vamos hacia el Sur, un aumento notable de vida marina cada vez más diversa como corresponde al agua más fría, hasta llegar por fin a Aotearoa.

## 5. Aotearoa

Aotearoa o ‘Tierra de largas nubes blancas’ en *te reo* o lengua maorí, es lo que hoy conocemos como Nueva Zelanda. En su entorno se encuentran las aguas más ricas en vida marina, visto desde un punto de vista de un biólogo, que jamás haya podido observarse en todo el mundo. Son dos grandes islas, aunque inicialmente los maorís llamaron Aotearoa solo a la isla del norte; y desde hace poco más de un siglo el conjunto se denomina así en idioma maorí.

El porqué de esa riqueza de biodiversidad marina tiene sin duda que ver con la situación geográfica del archipiélago. Por el este, la llegada de los alisios y las corrientes marinas hacen que los fondos marinos cerca de las costas se llenen de una vida compleja, en la que se ha ido desarrollando una ejemplar convivencia de los seres humanos y la naturaleza. En el mar, en las zonas costeras e incluso en el interior de estas islas de relieve torturado por el volcanismo.

Pero es que por el oeste se dan igualmente unas condiciones que permiten una intensificación casi exponencial de la biodiversidad marina, sobre todo por la casi total ausencia del impacto humano negativo en forma de pesca excesiva. Y es que las dificultades de navegación en el llamado mar de Tasmania han permitido la existencia de una deslumbrante variedad de vida marina y aérea, sobre todo cerca de las costas pero también en el fondo volcánico profundo que separa Australia y la isla de Tasmania del continente neozelandés.

Por eso las aguas que rodean a Nueva Zelanda ofrecen ventajas para la vida en el mar que derivan de esa posición geográfica. No hay que olvidar que por el sur llegan las aguas frías del mar antártico, muy ricas en nutrientes en forma de zoo y fitoplancton, y por el este y el norte no hay territorio habitado alguno en miles de kilómetros. Incluso por el oeste, el mar de Tasmania separa a Nueva Zelanda del continente australiano en una distancia considerable, más de mil millas náuticas, unos 2.000 km...

Con todo, la más moderna tecnología de navegación y pesca a gran escala ha ensanchado mucho las fronteras de las capturas masivas por parte de las flotillas dedicadas a esta actividad, en su mayoría asiáticas, y cada día se van acercando más y más a unas aguas territoriales que resultan ser muy difíciles de proteger debido a las grandes distancias entre las tierras habitadas y capaces de ejercer algún tipo de control.

## 6. El Caribe de ayer... y de hoy

Volviendo al rumbo seguido por la fascinante aventura del velero *Dove* y su patrón Robin Lee Graham, pude tener la oportunidad, ya a finales de los años 80, de realizar un viaje similar hacia las costas de Florida y luego a las aguas intensamente transparentes de Bahamas, de las Islas Vírgenes y de Puerto Rico. Un viaje que realizado ahora muestra paisajes en los que se aprecia de forma clara el impacto humano y, por supuesto, del clima de la región caribeña sobre esos asentamientos recientes. Entre las islas Turcas y Caicos y casi hasta la costa de Florida, las Bahamas son, y antes eran muchas más, islas semidesérticas con una sobreabundancia de vida marina y unos corales intensos y espectaculares; un paisaje que está desapareciendo poco a poco bajo nuestras narices por la bendición-maldición del turismo de masas.

A finales de los años 80 no estaba en absoluto generalizada la tecnología del GPS, porque no era ni fácil ni barata de adquirir. Algunos barcos grandes navegaban mediante el sistema SatNav, pero este estaba solo reservado para quien podía permitírselo, por su precio pero también por el mucho espacio necesario en el barco para instalarlo. Lo que quiere decir que en aquella primera singladura de hace treinta años navegábamos al sextante, siguiendo al detalle el tipo de navegación de *Dove*, casi veinte años antes. Algo que, además, requiere también un poco de suerte y bastante sentido común. Por ejemplo, a la hora de abordar los fondos arenosos que existen entre las muchas islas e islotes de Bahamas; solo se puede fondear echando el ancla 'al estilo Bahamas'. Es decir, dos anclas a proa dirigidas en forma de V y que había que asegurar buceando con snorkel para que queden bien enterradas en la arena.

Por cierto, cada vez que se efectuaba la maniobra se podía aprovechar para echar una ojeada al fondo y a sus habitantes, sacando por ejemplo un par de botutos o conchas reinas (*Lobatus gigas*), llamados *conch* en Bahamas. Son enormes y preciosas conchas marinas, de color rosa nacarado, que contienen una carne que, luego de ser bien machacada y frita, se transforma en toda una *delicatesen* allí bautizadas como *Conch Fritters*. Fue en el pasado, antes de la invasión turística y su casi extinción por exceso de pesca, un alimento muy común como excelente fuente

de proteínas; de hecho, las comían a diario los escasos habitantes de estas 700 islas rodeadas por más de 2.700 cayos formados por el coral.

También abundaban extraordinariamente los meros, que nadaban entre el paisaje colorido sin igual de estos arrecifes de coral; la pesca submarina permitía escoger, entre tanta abundancia, el tamaño adecuado del pescado necesario para el menú del día, respetando el resto por puro sentido común. Algo que en la actualidad cada vez se da con menor frecuencia en esta y en muchas otras actividades humanas depredadoras.

De hecho solo está permitida en estas islas la pesca submarina a la antigua, utilizando tan solo el *Hawaiian sling*, un tipo de arpón sin gatillo y de origen polinesio, que requiere una especial habilidad pero impide una sobrepesca dañina para el ecosistema entero.

Unos años más tarde, ya en los años noventa y trabajando esta vez para la NOAA, la Administración Norteamericana para el Océano y la Atmósfera, pude volver a visitar con inmenso placer estas casi interminables piscinas naturales llenas de vida. Pero claro, en esta ocasión ya disponía de GPS, lanchas rápidas, compresores de buceo e incluso un submarino.

Y fue bastante desalentador; en poco más de diez años ya no era posible observar aquella sobreabundancia de meros, langostas, botutos y otras especies antes tan visibles por todas partes. No habían desaparecido, solo eran más escasos; aún quedaban bastante en la reserva en la que estábamos de campaña, pero ya había muchos menos en los cayos e islas adyacentes. Y, además, los anclajes solitarios en las calas eran mucho más difíciles de conseguir, como los botutos... ¡Bienvenida la tecnología... y el turismo!

Y es que donde antes existía apenas una pequeña migración de unos cuantos veleros desde el norte para escapar del invierno americano, pescando algunos meros y disfrutando de las islas, lo que no tenía apenas impacto detectable, ahora, gracias a la llegada del GPS, el cambio había sido radical. Bastante después, en 2015, cuando volví a soltar el ancla en Bahamas no había forma de ver ningún botuto, los meros y las langostas habían desaparecido prácticamente del todo... Asombrado, pude hablar con los pescadores locales que lo atribuían a la existencia de los grandes *resorts* – complejos turísticos– que acogían una media de 600.000 visitantes al año, además de la insaciable demanda de los grandes cruceros, en constante aumento.

Estos pescadores se veían obligados ahora a dirigirse a los cayos más lejanos y solitarios para poder encontrar todavía alguna de estas exquisiteces del mar. Algo que ya no solo ocurre en Bahamas sino que se repite por todo el Caribe, en cada isla, en cada islote y en cada cayo, hasta las proximidades de la costa de Venezuela.

El azote del turismo en el Caribe se suma a la contaminación del suelo, del aire y de las aguas, al blanqueo de los corales debido al parecer al calentamiento del agua, el mismo cambio climático que puede estar alterando la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales... Todo eso disminuye bastante el encanto natural subacuático de todas estas zonas, sobre todo si se compara con lo que había hace tan solo tres o cuatro decenios.

Eso sí, existen excepciones, bien por una buena gestión en alguna zona, por no ahuyentar el turismo e incluso por razones puramente políticas. Un buen ejemplo de conservación de unos de estos paraísos naturales lo constituye el pequeño archipiélago cubano de Jardines de la Reina. Una zona extremadamente protegida en los últimos cincuenta años por haber sido una especie de reserva marina privada de Fidel Castro, quien prohibió la entrada de cualquier persona excepto sus seguidores más cercanos. Se encuentra a una distancia de algo menos de 30 millas (unos 50 kilómetros) de distancia de la costa del suroeste de la gran isla.

Jardines de la Reina es un lugar perdido en el tiempo que solo desde hace pocos años está abierto al público, eso sí de forma muy controlada. Allí se puede bucear en medio de auténticos bosques de coral, junto a extensas poblaciones de múltiples especies de tiburones y hasta cocodrilos de agua salada.

Más al sur se encuentra otra de esas zonas únicas en este mar cubano, Bonaire, que junto a Aruba y Curaçao forma parte de las Antillas neerlandesas, muy cerca ya de la costa norte de Venezuela. Debe su excelente estado de conservación a una buena política de gestión debido a que los arrecifes protegidos forman parte de la economía turística de la zona. Y sí, el turismo puede ser la ruina de los parajes naturales más bellos, pero gestionado adecuadamente puede contribuir igualmente a su conservación. En Bonaire, por ejemplo, se exigen tasas de buceo, con las que se afrontan los gastos de mantenimiento. El estricto control que ejerce la guardia costera permite una gestión eficaz, acompañada de las correspondientes campañas de concienciación... La única batalla que queda por librar tiene que ver con el posible calentamiento del agua y el consiguiente blanqueo del coral.

En las costas de Venezuela nos encontramos en la misma situación que Cuba. Es el caso de uno de los archipiélagos más ricos del Caribe, el de los Roques, a solo 88 millas náuticas, unos 158 kilómetros, de la costa. Esta zona se compone de más de 300 islotes y cayos alrededor de una enorme laguna de 400 kilómetros cuadrados, alberga bajo sus aguas transparentes extensas barreras de coral y gran cantidad de especies depredadoras ápex, o superpredadores, como los tiburones, las langostas o los atunes, además de una variadísima fauna de todos los tamaños y formas.

Pero hace ya más de veinte años que esta zona muestra un claro declive debido a la sobrepesca y al turismo mal gestionado, lo que está convirtiendo a los Roques en un sistema en serio desequilibrio hombre-naturaleza.

En contraste claro aparece la isla La Orchila, también en la costa venezolana y cerca de Los Roques, que fue desde siempre una especie de refugio privado de los dirigentes políticos y militares; un ejemplo similar a los Jardines de la Reina en Cuba. Y también existen muchas otras bastante más distantes que, por fortuna, han cambiado muy poco generalmente debido a razones políticas o estratégicas, lo que ha acabado dando por resultado un mosaico de manchas extensas de zonas protegidas y bien conservadas.

## 7. Indo Pacífico y mar de China

En 1967 llegaba Robin Lee Graham en su *Dove* a Nueva Guinea, ahora en su mayoría territorio de Indonesia. Navegó por las costas del archipiélago de Raja Ampat, antes incluido en Papúa y hoy perteneciente a Indonesia; era en aquella época un conjunto de auténticas zonas vírgenes, inexploradas y, obviamente, intocadas por el hombre moderno.

No fue hasta dos decenios más tarde cuando, ya en 1988, tuve la oportunidad de recorrer esas aguas, esta vez a bordo de la nave oceanográfica *Calypso*, acompañando al comandante Cousteau. En dos periplos: el primero en diversos viajes cortos de reconocimiento para localizar las mejores zonas posibles que pudieran servirnos de estudio y lugar para filmación de documentales, y, más tarde, ya a tiempo completo en el *Calypso*.

Aunque hubiesen pasado dos décadas desde la aventura de Robin, las aguas infinitas de Indonesia, con sus innumerables archipiélagos y grandes islas, se mantenían intocadas y todavía lejos del alcance de la sociedad moderna.

Desde Raja Ampat, Flores, Timor y Komodo, por ejemplo, hasta la mismísima isla de Borneo –la tercera más extensa del mundo, una vez y media la península ibérica–, pudimos efectuar diversos recorridos visitando lugares inéditos y desiertos como sus volcanes submarinos, que en las profundidades parecen revitalizarse con una inmensa variedad de vida que no parece nada fácil que desaparezca.

Cierto es que las zonas más pobladas de la isla de Java, sobre todo en el entorno de Yakarta, y de las islas de Bali y Ambon han sufrido el golpe de la modernización y las artes modernas de pesca, pero aun así es tan grande y está tan repartida la superficie submarina, e incluso de las zonas costeras, que a día de hoy parece difícil que se puedan llegar a destruir de forma irreversible los riquísimos ecosistemas marinos.

El hecho de disponer de un barco oceanográfico bien preparado para la exploración nos permitió pasar muchos meses saltando de isla en isla, de volcán en volcán, de arrecife en arrecife, filmando sin parar todos aquellos fascinantes fondos marinos, sin ningún límite de tiempo que pudiera agobiarnos. Quizá fue la mayor expedición, por variedad y distancia recorrida bajo el agua, dedicada a observar la biodiversidad en los mares del Sudeste asiático. Todo un periplo de intensa actividad en una formidable aventura científica dirigida por la Dra. Sylvia Earle y denominada *Elysium Coral Triangle*, en la que, esta vez como director de fotografía y experto en peces, tuve la oportunidad de volver a aquel fascinante jardín de juegos.

Muy poco después de regresar, Sylvia Earle recibió de manos de los reyes de España el Premio Princesa de Asturias de la Concordia 2018.

Nos llevamos una primera gran sorpresa en Raja Ampat, al noroeste de la isla de Nueva Guinea, y que pertenece desde el punto de vista administrativo a la provincia indonesia de Nueva Guinea Occidental. Como es sabido, este archipiélago formado por cuatro islas principales y más de un millar de islotes, cayos y bancos de arena, se encuentra en el centro del llamado

Triángulo de Coral, y es uno de los mayores parques marinos del mundo con una superficie total, incluyendo tierra y agua, de casi 50.000 kilómetros cuadrados...

Pues bien, en esta reciente expedición nos encontramos múltiples barreras de coral intactas, albergando variedades y cantidades de peces casi infinitas. A excepción de un cierto declive de las poblaciones de elasmobraquios, subclase de peces cartilaginosos que incluye a los tiburones y las rayas, animales mayoritariamente migratorios, el resto de los ecosistemas muestra un excelente estado de salud y sin grandes cambios en los últimos treinta años que hemos podido bucear en aquellos aguas.

Sin duda ese buen estado de conservación de la zona se debe en primer lugar a la dificultad de acceso a estas zonas, con pocos medios de transporte colectivo que pudieran atraer a grandes masas de turistas. Pero debe haber influido también y sobre todo la buena gestión del parque natural de Raja Ampat. Haberlo podido constatar tres decenios después, sumergiéndome de nuevo durante mucho tiempo en aquellas remotas aguas indonesias, nos devuelve a todos un poco la esperanza de que los males ambientales del planeta pueden ser enfocados desde un punto de vista positivo.

Y, por cierto, esta visión –optimista y realista a la vez– la pudimos confirmar luego en el resto de la enorme isla de Irian, o Nueva Guinea (la segunda isla más grande del mundo tras Groenlandia, una vez y media mayor que España), hoy dividida administrativamente en un país independiente, Papúa Nueva Guinea, y una provincia indonesia, Nueva Guinea Occidental).

Más adelante, navegando hacia la India, pudimos apreciar el mismo buen estado de conservación en Bali, en el sur de Borneo (la tercera isla más grande del planeta) y, alejándonos ya de Indonesia, en las islas hindúes de Andaman y en Sri Lanka.

En esta última isla grande, la antigua Ceylán, ya nos habíamos desviado de la ruta de aquella mítica travesía del *Dove* que pobló muchos de mis sueños juveniles. Hoy encontramos allí la misma desoladora imagen que en muchas zonas del mar Caribe: costas esquilmadas por la sobrepesca, barreras de coral blanqueadas, excesivo impacto de la actividad humana, turismo incluido... Eso sí, se mantienen las migraciones transoceánicas de ballenas y atunes, aunque estos últimos cada vez más escasos no tanto por causa de la pesca local como, sobre todo, por culpa de los grandes atuneros de la India y otros países asiáticos para satisfacer la voracidad de los consumidores más pudientes, en Japón y en algunos otros países de la zona.

A pesar de todo ello, estos mares siempre nos sorprenden; por ejemplo, en diversas zonas costeras de Ceilán, tanto al sur como hacia el norte podemos encontrar barreras de coral en buen estado y, sobre todo, numerosos pecios que son la prueba evidente de los rigores de la estación monzónica y sus lluvias torrenciales. Unos pecios que, por cierto, están generosamente colonizados por los corales y llenos de vida submarina de lo más variado.

La migración de atunes en el Índico, muy variable en intensidad y situación, aunque muy bien conocida desde hace mucho tiempo, puede permitirnos atravesar el inmenso océano rumbo a las costas del golfo de Omán y el golfo Pérsico, para alcanzar territorios como

Musamdam, en la punta de Omán que cierra el estrecho de Ormuz, que separa el golfo de Omán del Pérsico. Son zonas pletóricas de biodiversidad marina, lo mismo que, ya mucho más al sur, en el comienzo del golfo de Adén, la costa omaní de Salalah, de muy difícil acceso para pescadores y turistas.

A finales de los años noventa, y trabajando para la BBC cuando aún no se había recrudecido el grave conflicto bélico regional, tuve ocasión de navegar y bucear precisamente por esos paraísos submarinos, rebasando hacia el norte el estrecho de Ormuz hasta alcanzar la isla iraní de Kish. La existencia de unas aguas tan fértiles y ricas en biodiversidad, a pesar de haber sido explotadas localmente desde el punto de vista pesquero, y desde muy antiguo, se debe a lo difíciles que resultan las visitas masivas tanto de turistas como de grandes pesqueros, no solo desde el punto de vista geográfico, por lo escabroso e inaccesible de muchos sectores, como sobre todo por la inestabilidad política y los conflictos bélicos de toda la zona, además de la existencia de una piratería siempre difícil de detectar y erradicar...

En todo caso, obviando las tristes causas de todos esos enfrentamientos humanos, no cabe duda de la beneficiosa influencia de ese ‘descanso’ del impacto humano masivo sobre el medio natural, que siempre repercute favorablemente en la biodiversidad marina.

## 8. Y nuestro Mediterráneo...

Para concluir, y retornando a los orígenes después de tantas singladuras lejanas, quizá merezca la pena volver a las aguas familiares de la infancia y juventud, a las para nosotros nada exóticas ni lejanas regiones mediterráneas. Resulta difícil sustraerse al pesimismo generalizado, debido a la contaminación masiva procedente de los países industrializados de Europa que rodean al *Mare Nostrum* por el norte y el oeste, y a un turismo masivo no solo por parte de la navegación de recreo como sobre todo por las costas mediterráneas, todas ellas invadidas a excepción de las costas de Libia.

Pero a pesar de tan negativas perspectivas, cabe decir que aún quedan esperanzas de mejora. Sobre todo gracias a las recientes políticas de protección, precisamente propiciadas por los países europeos que lo rodean. Por ejemplo, la declaración de áreas protegidas como reservas marinas tanto costeras como submarinas. Quizá la implantación de todas estas normas de conservación suponga todo un punto de inflexión favorable, junto a otras políticas pesqueras cada vez más exigentes y controladoras de la cantidad y la calidad del recurso pesquero.

Nuestro país podría incluso presumir de ser el país europeo con más reservas marinas, a excepción del Reino Unido que, no conviene olvidarlo, es un archipiélago con dos islas de gran tamaño y muchas otras pequeñas. Pues bien, basta con proteger ciertas áreas, las más delicadas desde el punto de vista ambiental, para que el porcentaje de recuperación acabe siendo exponencial. Sobre todo si se potencia con buenas campañas de comunicación y con

el trabajo de los centros educativos especializados que son los acuarios, por una parte, y los centros de interpretación de esas reservas naturales, por otra.

Conviene recordar, finalmente, la muy meritoria actuación en ese sentido de los modernos acuarios. De cara al Mediterráneo destacan, en ese sentido, el Oceanogràfic de Valencia, con el añadido de su Fundación, muy bien dotada económicamente para tareas de investigación y conservación, y sobre todo divulgación. Meritoria labor ha iniciado en su nueva etapa el Acuario de Sevilla, a caballo entre el *Mare Nostrum* y el Atlántico; y merece igualmente mención del acuario municipal de A Coruña, oficialmente llamado Aquarium Finisterrae.

## 9. A guisa de conclusión

El mar no necesita para nada a la especie humana; es más, le somos ajenos. Somos nosotros quienes, al contrario de la mayoría de las especies vivientes terrícolas, necesitamos al mar. Procedemos de él, nos movemos sobre él, explotamos sus recursos de todo tipo, incluidos los alimenticios... Y, sobre todo, posee tal capacidad de recuperación que tal vez nosotros desaparezcamos, pero él siempre existirá. Como lo lleva haciendo desde hace miles de millones de años; los humanos somos unos recién llegados, una vida inteligente, sí, pero ¡tan inexperta si nos comparamos con la vida marina!

En las líneas que anteceden solo he intentado contar, con breves pinceladas que han dejado fuera muchas otras sin duda más documentadas, algunos de los elementos esenciales de aquello que he tenido la suerte de ver con mis propios ojos y de vivir plenamente en el mar en los últimos cuarenta años de mi vida. Pero estas pocas líneas no bastan, ni siquiera una o muchas enciclopedias. Los mares y océanos del planeta son, simplemente, indescriptibles.

Hoy en días surgen por doquier los salvadores del planeta, a menudo basándose en diversas predicciones de catástrofes cuya base real es como mínimo dudosa. Desde luego, es indudable que los humanos hemos proliferado de tal modo, y hemos adquirido una inteligencia tecnocientífica tan sofisticada que hemos acabado por constituirnos, en muchos aspectos, en una especie destructora de muy diversos ecosistemas. Pero hay muchos otros en los que se abre una puerta a la esperanza, y a menudo esa esperanza nace de humanos prudentemente concienciados, que no ceden a la alarma catastrofista sino que ponen en marcha niveles de alerta bajo distintas formas de tal modo que podamos ser capaces de revertir situaciones extremas que nosotros mismo hemos sido capaces de propiciar.

En estas líneas, que recordaban el famoso viaje de Robin Lee Graham en su velero *Dove*, hemos ido señalando algunos de esos lugares que no han sufrido el más negativo de los impactos humanos, o que se han recuperado mediante políticas inteligentes de protección y conservación. Jardines de la Reina, en Cuba; Ranga Ampat en Indonesia, Bonaire en el reino de Tonga... Allí una sencilla política de respeto mutuo entre el mar y el hombre consigue que la naturaleza siga siendo como lo era hace siglos.



La concienciación de las poblaciones del primer mundo, la educación de jóvenes y adultos, las políticas públicas de protección... todas ellas son algunas de las vías de corrección de muchos desmanes que podemos y sabemos poner en marcha. ¿A qué esperamos?

Y como Robin, terminaré mis días en las montañas. Esta vez en los Alpes del sur de Nueva Zelanda, lo puedo considerar mi hogar...





## MARES POLARES

*Javier Cacho*

Escritor y comunicador polar

### Resumen

Mientras que las regiones polares están prácticamente despojadas de vida, las aguas que se encuentran bajo esa capa helada, o que la rodean, bullen de seres vivos. Si bien la variedad de especies es baja, dadas las dificultades de adaptación, el número de ejemplares es extraordinariamente alto. Hasta el punto de que allí tienen lugar las mayores migraciones de biomasa del planeta. Además, en sus aguas se produce tal transferencia de oxígeno que bien pueden ser consideradas como los pulmones de los océanos.

### Abstract

*Although the polar regions are practically devoid of life, the waters beneath or around that frozen layer teem with living creatures. Given the difficulties of adaptation, the variety of species is low, yet the number of specimens is extraordinarily high-so high, in fact, that these regions are home to the largest biomass migrations on the planet. Their waters also transfer oxygen on such a scale that they can be considered the lungs of the oceans.*

Vivimos en una época en la que los desarrollos tecnológicos nos permiten observar y conocer lo que está sucediendo en el lugar más remoto del planeta, incluida esa inmensa masa líquida que cubre la mayoría de la superficie del planeta. Los satélites de teledetección miden la temperatura, la salinidad, la contaminación y otros muchos parámetros de las aguas. Aviones especialmente equipados detectan los bancos de peces y la orografía del fondo marino. El radar de los barcos penetra la noche y la niebla alertando de la proximidad de arrecifes o icebergs. Todo parece escrudiñado, localizado y medido, pero no es así.

La vida y su conexión con los múltiples procesos naturales que se desarrollan sobre el planeta, forman una maraña de interacciones de las que solo conocemos las más elementales e incluso en esas, cuando profundizamos en su conocimiento, nos llevamos sorpresas. Y qué decir de las vastas regiones oceánicas donde el ser humano es poco más que un visitante ocasional. Pese a las innumerables campañas de investigación oceanográfica que se han llevado a

cabo en el último siglo, seguimos sin comprender, y muchas veces sin tan siquiera imaginar, los múltiples procesos que allí se desarrollan.

Si bien las aguas próximas a las concentraciones humanas, donde se desarrollaron las civilizaciones, han sido surcadas por embarcaciones desde hace miles de años, las grandes masas marinas tuvieron que esperar hasta finales del siglo XV para que los primeros intrépidos navegantes osaran surcarlas. Después, durante los tres siguientes siglos se sucedieron los viajes y descubrimientos por todos los océanos del planeta.

Por todos no. Los mares de las regiones polares siempre han supuesto un peligroso desafío para los pocos barcos que intentaron adentrarse en ellos. Las bajas temperaturas, los icebergs, los campos de hielo han representado una barrera en la que se han estrellado los marinos más audaces. Tan solo en los dos últimos siglos, y a costa de grandes esfuerzos y un elevado número de pérdidas materiales y humanas, se ha podido penetrar en los dominios del frío y descubrir las maravillas y riquezas que encierran. De todo ello, de las extensiones de agua que se encuentran en las regiones polares del hemisferio Norte –océano Ártico– y del hemisferio Sur –océano Antártico–, nos ocuparemos a continuación.

## 1. Océano Ártico

Es la más pequeña de las masas oceánicas y representa menos del 3 % de la superficie acuosa del planeta. En cualquier caso, con sus aproximadamente 15 millones de km<sup>2</sup>, una superficie equivalente a casi 30 veces España, es seis veces el tamaño del Mediterráneo, el mayor de los mares del mundo. Pese a sus pequeñas dimensiones, su cuenca y sus aguas son, con diferencia, las menos conocidas debido, lógicamente, a la dureza de su entorno, al largo periodo en el que le envuelve la oscuridad y al estar cubierto con una capa de hielo que las hace inaccesibles durante la mayor parte del año.

### *Entre las grandes masas continentales del planeta*

Se encuentra centrado sobre el Polo Norte y está rodeado por las costas septentrionales de América del Norte, Europa, Asia y Groenlandia que, prácticamente, lo confinan. Dejando tan solo una pequeña conexión con el Pacífico a través del estrecho de Bering (de apenas 80 km de ancho) y con el Atlántico Norte a través del estrecho del Fram (entre Groenlandia y Svalbard) y el mar de Barents por donde la corriente cálida procedente del golfo de México alcanza la zona polar.

Estas masas de tierra hacen que la plataforma continental, que es la zona donde las profundidades son inferiores a los 200 metros, forme un amplio cinturón de más de 1.000 km de ancho que se extiende desde las costas, especialmente en la zona euroasiática, hacia el interior.

Superada la plataforma continental, el fondo se hunde hasta alcanzar más de 4.000 metros en los alrededores del Polo Norte, incluso en algunos puntos la profundidad llega a los 5.450 metros. En cualquier caso, como la plataforma continental es tan amplia, la profundidad media de todo el océano es tan solo de 1.200 metros, cifra muy inferior a la del resto de los océanos que superan con creces los 3.000 metros de media.

### *El lago más grande del mundo*

Hace millones de años esa inmensa cuenca estuvo aislada del resto de los mares del planeta y formaba un gigantesco lago de agua dulce, procedente de los ríos siberianos. En la actualidad, el caudal de esos ríos es de 3.300 km<sup>3</sup> por año, equivalente al 10 % del volumen total del agua que todos los ríos del mundo aportan a los océanos. Aunque los científicos estiman que hace 50 millones de años, con el clima más cálido y húmedo que el actual, ese aporte sería considerablemente mayor.

El lento pero constante alejamiento de las placas americana y euroasiática provocó el hundimiento del puente terrestre que unía Groenlandia con las islas Británicas y Europa. Lo que llevó al establecimiento de dos corrientes marinas, una superficial que comenzó a sacar agua dulce del Ártico y otra más profunda en dirección contraria que hacía entrar enormes cantidades de agua salada procedentes del Atlántico a la cuenca ártica. Este intercambio continuo durante decenas de millones de años, al que luego se unieron los aportes de agua salada procedente del Pacífico al abrirse el estrecho de Bering, terminó por salar sus aguas. Pese a todo, sigue siendo el océano con más baja salinidad del planeta, debido al suministro de agua dulce de los ríos siberianos y a la baja evaporación que se produce en su superficie.

También la temperatura de las aguas árticas, en ese largo periodo de tiempo, era muy superior a la actual. Se cree que hace unos 20 millones de años la temperatura llegaba a los 20 °C, lo que evitaba la formación de hielo incluso en invierno. Esas condiciones de aguas libres de hielo se mantuvieron hasta hace 4 millones de años. A partir de entonces, y según avanzaba la última glaciación, la temperatura descendió y comenzó la formación masiva de hielo en su superficie; se estima que, hace 2,6 millones de años el hielo ya se extendía sobre una superficie similar a la actual.

En este último periodo el planeta, y en consecuencia el océano Ártico, pasó por periodos glaciales a los que sucedieron interglaciares, que tuvieron su origen en la variación orbital de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. La última glaciación terminó hace aproximadamente 12.000 años, y desde entonces se ha producido el lento retroceso de las masas polares en todas las regiones continentales que rodean al Ártico, llegando hasta su total desaparición salvo en Groenlandia. La fusión de esas inmensas cantidades de hielo provocó que el nivel de las aguas se elevara en todo el planeta casi un centenar de metros, lo que llevó a la aparición del estrecho de Bering, entre Asia y Alaska, y el canal de la Mancha que ahora separa las islas británicas de la Europa continental.

### *El misterio del polo norte*

Alejado de las regiones donde se desarrolló la cultura mediterránea, el Ártico fue objeto de especulaciones de todo tipo. Los pensadores griegos lo consideraban poblado por una raza de hombres inmortales, los *hiperbóreos* (habitantes de más allá del viento del norte) que, según ellos, llevaban una vida pacífica, aunque primitiva. Más curiosa todavía, en parte por haber sido postulada a principios del siglo XIX, fue la teoría del norteamericano John Symmes. Según sus ideas nuestro planeta era hueco y se podía llegar a su interior por un ‘agujero’ que se encontraba situado en el polo norte; sorprendentemente 25 miembros del Senado de los EEUU votaron a favor de mandar una expedición para localizar dicho ‘agujero’.

Dejando aparte estas hipótesis, la primera persona en alcanzar los límites del mar ártico fue el griego Piteas en el siglo IV antes de nuestra era que, después de navegar por las islas británicas y alcanzar las Orcadas se dirigió hacia el norte hasta localizar una tierra habitada, a la que denominó Thule, aunque no se ha podido determinar si se refería a Islandia o a la costa noruega. Poco importa el lugar exacto, el valor de su viaje es que asistió a noches que no duraban más que dos o tres horas lo que, considerando que era verano, implica que superó los 64° N. Además, aporta el testimonio de que a un día de navegación de aquel lugar, el mar se convertía en una mezcla de algo parecido a «medusas». Para muchos autores, esa descripción concuerda con el tipo de hielo que se forma sobre la superficie del mar al iniciarse su congelación.

Sus descubrimientos no sirvieron para mucho. Aquellas regiones septentrionales de Europa eran pobres, poco se podía comerciar con sus habitantes y el viaje de Piteas con aquel mar de medusas cayó por siglos en el olvido. Ni siquiera los grandes navegantes del Medioevo, los vikingos, se atrevieron a dirigirse hacia el norte, con excepción de una pequeña partida de caza que, alrededor del 1300, desde sus asentamientos de Groenlandia siguieron la costa y alcanzaron los 73° N.

El desinterés por lo que pudiera haber hacia el norte se prolongó hasta comienzos del siglo XVI, cuando el comercio de las especias, bloqueado por los musulmanes y luego monopolizado por portugueses y españoles, obligó a los demás países europeos a buscar nuevas rutas para alcanzar las riquezas del Lejano Oriente. Una de ellas trató de alcanzar el Pacífico por el norte de lo que ahora es Canadá, que se ha llamado el *paso del Noroeste*; la otra se dirigió hacia el mismo océano por el norte de Rusia, a la que se denominó el *paso del Noreste*. Durante siglos ambas rutas fueron imposibles de franquear, pese a que se utilizaron cuantiosos recursos y los mejores navegantes. El frío, el viento, las tempestades y sobre todo aquel mar repleto de hielos hacían imposible la navegación.

### *Hacia el norte, siempre hacia el norte*

El siglo XIX cambió las cosas. Los avances en construcción naval y en la lucha contra el escorbuto, el más cruel de los azotes en largas navegaciones, permitieron afrontar, con mayores garantías de éxito, aquel mundo helado. La curiosidad científica por saber qué escondía el interior de aquel mar congelado y la ambición de balleneros y foqueros por buscar lugares donde sus competidores no habían llegado, hizo que las expediciones científicas y comerciales se sucedieran. Gobernantes y empresarios, comprendiendo el prestigio nacional o los beneficios económicos que podían conseguir, hicieron posible estas aventuras.

Los riesgos eran enormes. Aquellas aguas permanecían congeladas durante la mayor parte del año, únicamente el corto periodo del verano las hacía navegables y siempre con grandes precauciones. No eran solo el frío, los vientos, las tempestades o los icebergs, aquel monstruo de aguas heladas practicaba un juego mortal con los intrusos que se atrevían a penetrar en sus dominios. En numerosas ocasiones el invierno se adelantaba y los barcos, ya fuesen balleneros, foqueros o de exploración científica, quedaban atrapados en los hielos hasta que una pulsación cruel de aquel monstruo los reducía a astillas. Condenando a sus hombres a vagar sobre el mar congelado en busca del lugar habitado más próximo. Muchos no lograron salvarse.

Finalmente, un barco singular, el *Fram*, logró atravesar toda la cuenca polar. Tardó tres años, pero sus descubrimientos oceanográficos hicieron que mereciese la pena el esfuerzo de sus tripulantes. Casi en paralelo, las expediciones en trineos de perros para conquistar el Polo Norte aportaron nuevos datos geográficos. Más tarde, el desarrollo de la aviación permitió sobrevolar toda la región hasta arrancar sus últimos secretos y configurar la geografía de aquel mundo helado. No había *hiperbóreos* ni *agujero* en el Polo Norte, pero tampoco había tierras en toda su vasta superficie. Todo era un mar que se cubría de hielo de forma estacional y donde diversas especies de animales habían sido capaces de adaptarse a la frialdad de sus aguas y a las terribles condiciones climáticas en su superficie.

### *La vida en el agua*

Las bajas temperaturas del océano Ártico, al borde mismo de la congelación, imponen unas condiciones muy duras para el desarrollo de la vida marina. Con unas aguas cubiertas de hielo y envueltas en la oscuridad la mayor parte del año, podría parecer imposible que albergasen algo de vida. Sin embargo, no es así. Un cierto número de especies, bien es verdad que muy pocas, han sido capaces de adaptarse hasta encontrar la manera de sobrevivir, prosperar y reproducirse en ese entorno. En consecuencia, incluso bajo esas condiciones tan adversas, podemos encontrar desde plancton microscópico a grandes cetáceos pasando por diversas especies de mamíferos, peces e invertebrados.

En el caso de los cetáceos, en el Ártico podemos encontrar tanto dentados como barbados. Los primeros tienen dientes con los que devoran sus presas, mientras que los segundos (los que comúnmente llamamos ballenas) tienen un sistema para filtrar el agua de mar y atrapar los crustáceos que contiene. Entre los cetáceos dentados del océano boreal tenemos desde los que solo se aventuran en el Ártico en el verano (y en las zonas más periféricas) como es el caso del delfín, hasta los que son propios de las aguas árticas como el *narval* y la *beluga*.

### *El unicornio ártico*

Los *narvales* son, como todos los cetáceos, mamíferos que llegan a medir más de 4 metros, se alimentan de peces y crustáceos que capturan en el fondo marino, por lo que se ven obligados a sumergirse hasta 800 metros de profundidad donde pueden permanecer durante 30 minutos. Su rasgo más llamativo es el gran colmillo retorcido de forma helicoidal que tienen los machos en la cabeza, que recuerda al mítico cuerno del unicornio, y que puede medir más de 2 metros de longitud.

La otra especie de cetáceo endémica del Ártico es la *beluga*, a la que erróneamente se le llama *ballena blanca* por el color de la piel de los ejemplares adultos. Lógicamente, es una estrategia adaptativa que le permite camuflarse entre los hielos y pasar desapercibida ante la aguda mirada del oso polar, su enemigo más letal. Tiene un tamaño intermedio entre los delfines y las ballenas, llegando a sobrepasar los 5 metros. Dispone de un sistema de ecolocación que le permite detectar los agujeros entre los hielos por donde poder salir a respirar. Su preferencia por las aguas de poca profundidad, donde abunda su alimento, hace que se quede varada, con relativa frecuencia, viéndose obligada a esperar la subida de la marea para escapar. Ha sido cazada durante siglos por los pueblos esquimales. En ocasiones una congelación temprana de las aguas de un estuario deja aisladas en pequeñas lagunas a manadas enteras de *belugas*, convirtiéndolas en presas fáciles de sus depredadores.

Otros cetáceos que pueblan sus aguas son la *orca*, siempre presente en todos los océanos; el *calderón común*, más conocido como *ballena piloto* porque los balleneros las seguían por su habilidad para encontrar los canales más profundos en las zonas de estrechos y arrecifes, y el *cachalote*. Este último mamífero es el animal con dientes más grande del planeta y, posiblemente el depredador más grande que ha existido. Llega a pesar 50 toneladas y puede medir más de 20 metros. La mitad de esta longitud corresponde a su cabeza, que alberga el cerebro de mayor tamaño de todos los animales. Fue objeto de una cruel cacería por parte de los balleneros, ansiosos por hacerse con el preciado botín del *espermaceti*, que se encuentra abundantemente en las cavidades craneanas de los *cachalotes* y en su grasa corporal. Este compuesto fue usado entre los siglos XVII y XX para la producción de velas, pomadas y cosméticos. Su alimento son calamares gigantes (de más de 30 metros de longitud) que se encuentran a 3.000 metros de profundidad, lo que les convierte en los mejores buceadores del mundo. Durante el verano los *cachalotes* se aventuran hasta los alrededores del Polo Norte. La legendaria novela de *Moby*



*Dick* trata de la lucha sin tregua del capitán Ahab contra un cachalote, al que su autor, Herman Melville, lo imaginó blanco.

### *Un ser diminuto alimenta a las ballenas*

Bajo la aparente esterilidad del hielo ártico discurren unas aguas ricas en *krill* un pequeño crustáceo –la especie boreal no mide más de 25 milímetros de longitud–, pero tan rico en proteínas que es capaz de alimentar a los animales más grandes del planeta. Es tan abundante que las ballenas lo capturan mediante grandes bocanadas de agua que luego expulsan a través de un entramado de *barbas* que, a modo de un cedazo, atrapan a estas pequeñas criaturas. Luego su lengua las compacta en un amasijo que tragan con facilidad.

Precisamente, este sistema de filtrado ha sido una auténtica maldición para estos mamíferos, dado que sus *barbas*, que pueden llegar a medir 5 metros de longitud, son tan resistentes y elásticas que, hasta la invención de los plásticos, se utilizaban como varillas en la fabricación de paraguas y en la confección de corsés y vestidos de señora. De una *ballena de Groenlandia* se podían extraer unas 150 barbas y en una ballena azul este número podía llegar a triplicarse.

En el Ártico la caza de ballenas se remonta a las primeras incursiones de pescadores vascos en el siglo XVI, y se mantuvo durante cuatro siglos llevando a varias especies al borde de la extinción. En la actualidad, en estos mares solo los noruegos continúan con la caza selectiva de ballenas, pero ya no para obtener *espermaceti* o sus *barbas*, sino para vender su carne que es muy apreciada en la comida tradicional. Las especies que se pueden encontrar en las aguas árticas son la *ballena de groenlandia*, la *ballena franca boreal*, la *ballena jorobada* y la *ballena azul*, el animal más grande que ha existido en el planeta y que llega a medir 30 metros y a pesar casi 200 toneladas.

### *Bigotes para detectar el alimento*

El litoral del océano Ártico está poblado por mamíferos marinos anfibios, que necesitan salir del agua, bien a tierra firme o sobre las placas de hielo, para descansar y aparearse. Las mayores poblaciones se corresponden con los diversos tipos de focas, entre las que cabe destacar algunas propias de la región, como la *foca barbuda*, llamada así por poseer unos grandes bigotes que le sirven de sensor para localizar su alimento, principalmente moluscos, entre el fango del fondo del mar donde la visibilidad es baja. Cuando se suben a un témpano, adoptan una postura que simula un plátano apoyado sobre la parte convexa, de modo que minimizan la pérdida de calor corporal que supone el contacto con el hielo. También hay varias especies de *leones marinos* que pueblas las islas y costas del océano polar.

Las focas siempre han sido cazadas por los esquimales que aprovechaban su piel para confeccionar su ropa, la carne para alimentarse y la grasa para cocinar, iluminarse y calentarse. Posteriormente, la demanda de pieles para el mercado mundial llevó a la práctica aniquilación de algunas especies. A diferencia de la caza de la ballena sobre la que hay una moratoria vigente desde 1986, todavía se permite la caza de focas; se estima que en Canadá y Groenlandia se exterminan cerca de medio millón de estas por año. La mayor parte son ejemplares recién nacidos cuya piel es completamente blanca, como forma de camuflarse contra el ataque de los osos, y que tiene una gran demanda en moda femenina.

### *El camaleón polar*

El mamífero anfibio inconfundible y exclusivo del ártico es la *morsa*. Su enorme tamaño, solo superado por el *elefante marino* de aguas antárticas, y sus impresionantes colmillos de la parte superior de su mandíbula, y que alcanzan el metro de longitud, le convierten en un animal de aspecto espectacular. Llegan a pesar 2.000 kg y a medir casi cuatro metros. Como la *foca barbuda*, dispone de unos bigotes con los que detecta su alimento entre el fondo cenagoso y turbio a profundidades que pueden llegar a los 80 metros. Sus largos colmillos y su ferocidad hacen de la morsa un peligroso enemigo que en tierra es capaz de hacer frente a un oso, y en el mar llega a ser ‘respetada’ por las terribles orcas.

Una de las peculiaridades de este mamífero es el cambio de color de su piel, consecuencia del denso sistema de vasos sanguíneos que tiene inmediatamente debajo de su epidermis. Así, cuando están nadando, la cantidad de sangre en esa zona se reduce para disminuir la pérdida de calor, y su piel se torna de color gris; mientras que cuando están en tierra tomando el sol, la sangre fluye hacia la superficie para absorber el calor, haciendo que la piel adquiera un color rojizo tirando a rosa. Se calcula que la población de morsas está próxima al cuarto de millón de ejemplares.

### *Peces con anticongelante y tortugas viajeras*

Las bajas temperaturas del océano Ártico, siempre al borde de la congelación, han obligado a un extraordinario proceso de adaptación a las especies marinas. De ellas, solo un número muy reducido ha logrado completarlo con éxito. En el caso de los peces, estos han evolucionado para producir unas proteínas anticongelantes en todos sus fluidos corporales. De esta forma, evitan que las moléculas de agua formen cristales de hielo aunque la temperatura del mar sea algo inferior a cero grados.

Pese a todas las adaptaciones, en un entorno tan frío el crecimiento de los peces es muy lento, por lo que sus poblaciones pueden ser muy sensibles a la sobreexplotación pesquera.

Este es el caso de los *sálmonidos*, cuya población también se ve afectada por los efectos de la contaminación. En los últimos años, el *abadejo* y el *bacalao ártico* comienzan a sufrir los efectos de la pesca excesiva. Quizás el ejemplo más evidente de la adaptación de estas especies a esos entornos tan fríos, es que se han encontrado ejemplares de este *bacalao* a tan solo 500 km del Polo Norte.

Entre los peces árticos se encuentra también el *tiburón de groenlandia*, que es la especie marina más longeva del planeta, pudiendo alcanzar los 500 años de edad. Crece poco más de un centímetro por año, alcanza la madurez sexual a los 150 años, y en estado adulto mide más de seis metros. Sin embargo es una criatura lenta y casi ciega, que está sufriendo los efectos devastadores de la pesca de otras especies. La población actual todavía se está recuperando de la pesca intensiva a la que se les sometió durante la Segunda Guerra Mundial.

Las aguas árticas todavía nos deparan una sorpresa más. Entre las criaturas que deambulan por la zona podemos encontrar nada menos que tres tipos de tortugas. Dos de ellas solo se acercan a sus aguas durante el verano, siguiendo la corriente cálida del Golfo, pero la tercera es capaz de pasar largas temporadas en las gélidas aguas boreales. Para poder afrontar tal desafío cuenta con una doble ventaja: su sangre es parcialmente caliente y tiene una gruesa capa de grasa que hace de aislante y le permite sobrevivir en aguas muy frías.

### *El rey de los hielos*

En un sentido estricto no podemos considerar al *oso* como un mamífero marino, porque la mayor parte de su existencia la pasa fuera del agua, pero su porte le ha convertido en un animal icónico de la región polar ártica. Con sus 700 kg de peso y más de dos metros de longitud, su gran fortaleza y elasticidad le convierten en el gran depredador de la región ártica. Es capaz de desplazarse cientos de kilómetros andando o nadando en busca de sus presas. Su sensible olfato le permite localizar los agujeros que las focas hacen en el hielo para respirar; allí puede permanecer en actitud estática durante horas hasta que la desventurada foca asoma el hocico para llenar sus pulmones de aire. Entonces, de un preciso manotazo, la atrapa por la cabeza y tira de ella bruscamente para sacarla del agua.

Para mantener su corpulencia debe consumir unos 30 kilogramos de carne al día. Curiosamente, no necesita beber agua dado que la hidratación que necesita la obtiene de la sangre de sus presas. Tradicionalmente todos los pueblos árticos le han dado caza, tanto para aprovechar su piel y carne (salvo el hígado, que puede contener cantidades letales de vitamina A) como para demostrar ante el clan la valentía y destreza del cazador. En el último medio siglo su número se ha reducido en un 30 % debido a la caza masiva. Por fortuna, en la actualidad está prohibida en casi todos los países y regulada en el resto. Su población se estima en torno a los 25.000 ejemplares. El proceso de la pérdida de hielos que está viviendo toda esta región puede convertirse en un nuevo enemigo para su supervivencia.

### *La disminución del hielo ártico*

Desde lo que consideramos el final de la última glaciación, hace 12.000 años, el hielo que cubre el océano Ártico, al que nos solemos referir como *banquisa*, ha ido retrocediendo progresivamente con algunas excepciones relevantes. La más importante tuvo lugar hace aproximadamente 5.000 años cuando por diversas razones, entre ellas la menor insolación durante el verano, la banquisa volvió a extenderse y a ocupar por completo la cuenca ártica de forma permanente. Estas condiciones se han mantenido desde entonces, con excepción de algunas fluctuaciones, como fue el Óptimo Climático Medieval (800-1300 d. C.) cuando los hielos volvieron a retroceder considerablemente.

En época más reciente, tenemos constancia de que durante la Pequeña Era Glacial, que se desarrolló en torno a mediados del siglo XIX, la banquisa ártica llegó a extenderse de nuevo sobre una superficie similar a la del final de la glaciación. Desde entonces ha comenzado una nueva fase de disminución de la extensión de hielo marino que, con altibajos, ha llegado hasta finales del siglo XX, cuando el retroceso de la banquisa se ha acelerado considerablemente adquiriendo ritmos muy superiores a los conocidos.

Durante décadas, la extensión de la banquisa se calculaba a partir de las observaciones realizadas por los barcos que recorrían su periferia. Con el comienzo de la era espacial, el seguimiento se hace mediante instrumentos embarcados en satélite que cubren periódicamente toda la superficie del Ártico midiendo la extensión de la superficie helada y el espesor de los hielos. Este hecho ha supuesto un aumento espectacular del número de datos y la precisión de los mismos, y con ello la información que reciben los científicos para detectar y cuantificar tendencias. Por desgracia, el resultado de este estudio indica que el Ártico está perdiendo su cubierta helada.

Para una mejor aproximación al problema, se debe diferenciar entre la evolución de la extensión máxima del hielo (que tiene lugar al final del invierno) con la del mínimo de hielo (que, lógicamente, tiene lugar a comienzos del otoño). Para la primera se ha observado un retroceso del 10 % en los últimos 40 años, mientras que para el mínimo otoñal esta pérdida llega a superar el 40 %. Sin embargo, pese a la espectacularidad de estas cifras es necesario considerar que la tendencia en las últimas décadas no ha sido siempre la misma. Así, mientras que durante los últimos 20 años del siglo XX la superficie de hielo se manifestó estable, con las lógicas fluctuaciones interanuales, los primeros años del presente siglo vieron cómo el hielo ártico se retraía considerablemente, para volverse a estabilizar en los últimos años, aunque en valores muy inferiores a los registrados en las últimas décadas del siglo pasado.

## Nuevas rutas de navegación

Una importante parte de la navegación marítima comercial mundial tiene lugar entre Europa y la costa oriental de Asia (China, Japón, Corea...) a través del canal de Suez, o entre la costa occidental de Norteamérica y Europa atravesando el canal de Panamá. La disminución del hielo en el Ártico ha hecho resurgir la vieja idea de navegar por el *paso del Noroeste*, sobre el archipiélago canadiense, o por el *paso del Noreste*, siguiendo la costa siberiana, evitando de esa manera los largos recorridos actuales y los elevados costes por atravesar estos canales. En cuanto al *paso del Noroeste*, y pese a las informaciones que suelen aparecer en la prensa sobre los barcos que lo están navegando, la realidad es que se trata únicamente de barcos de pequeño calado y lo han logrado en contadas ocasiones. Incluso en los últimos años, cuando se han registrado los niveles más bajos de hielo, el *paso del Noroeste* ha estado prácticamente bloqueado por hielos de un espesor considerable.

Más prometedor pudiera parecer el *paso del Noreste*, cuya ruta reduciría sensiblemente las distancias a recorrer por los mercantes. Así, la navegación entre Róterdam (Holanda) y Yokohama (Japón), que ahora se hace a través del canal de Suez, se reduciría a menos de la mitad; reducción que todavía sería mayor para los barcos que no cruzan por Suez y prefieren navegar rodeando el sur de África. De la misma manera, la navegación entre Róterdam y San Francisco (EEUU), que se realiza a través del canal de Panamá, se reduciría en una cuarta parte.

Lógicamente, menor distancia implica menor gasto de combustible y una disminución del tiempo de entrega de la mercancía, ambos de gran interés para la economía de una naviera. De hecho se calcula que, para los barcos portacontenedores de gran tamaño, el ahorro en combustible podría llegar a los 200.000 euros por recorrido, y la disminución de 15 días en el trayecto permitiría aumentar el número de fletes anuales. Sin embargo, no parece que la ruta ártica, pese a lo atrayente que pueda parecer, se convierta en una alternativa real al transporte de mercancías.

En primer lugar, y pese a la disminución del hielo ártico, serían muy pocos los meses en que la ruta estuviese abierta, lo que no significaría que estuviera completamente exenta de hielo. Durante otros periodos del año el recorrido tendría que hacerse con la ayuda de rompehielos; incluso podría haber meses en los que la navegación fuera prácticamente imposible. Por otra parte, la costa norte de Rusia no dispone de suficientes puertos con instalaciones adecuadas para hacer frente ni a una reparación en caso de avería, ni a un rescate si tuviera lugar un accidente. Sin contar los daños al frágil medio ambiente ártico que podrían derivarse de los habituales vertidos de combustible. Todo lo cual hace pensar a los analistas que la ruta ártica no será viable a medio plazo.

En cualquier caso, los países ribereños de este océano están comenzando a adecuar sus infraestructuras previendo que esta ruta se convierta en una realidad en el futuro. En particular lo está haciendo Rusia, la más beneficiada dado que la mayor parte de la navegación se realizaría frente a sus costas, lo que redundaría en importantes beneficios económicos para toda la región. Aunque también Europa se prepara, y dentro de esa estrategia se enmarca el proyecto de ferrocarril que atravesaría Finlandia para alcanzar el puerto noruego de Kirkenes en el Ártico, y el túnel submarino más largo del mundo que uniría Helsinki con Tallin (Estonia). De este modo, las mercancías de los barcos que hicieran esta ruta podrían alcanzar con rapidez el centro de Europa.

### *Geopolítica en el Polo Norte*

Desde hace tiempo se tiene constancia de que en la cuenca ártica se almacenan grandes cantidades de hidrocarburos y otros minerales estratégicos como estaño, níquel, manganeso, oro y platino, que pudieran llegar a alcanzar la cuarta parte de las reservas mundiales. De cumplirse las predicciones del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) la menor extensión de hielo prevista para mediados de este siglo podría permitir el acceso a dichos recursos, convirtiendo al océano Ártico en una región de alto valor económico y de una importancia geoestratégica vital para el futuro.

Según la legislación internacional, todos los países ribereños son propietarios, y por lo tanto tienen derecho de extracción, de los minerales que se encuentren en el subsuelo de la Zona Económica Exclusiva (EEZ, en sus siglas en inglés) de 200 millas (370 km) desde sus costas (al igual que la pesca en estas aguas). De hecho, tanto Rusia como Noruega ya tienen plataformas petrolíferas en los mares periféricos del Ártico que se encuentran en sus respectivas EEZ, y la administración norteamericana actual parece dispuesta a comenzar la explotación de hidrocarburos al norte de Alaska.

Fuera de los límites de la EEZ nos encontramos con aguas internacionales en las que cualquier país, según la legislación vigente, podría aprovechar sus recursos. Para impedir esta posibilidad, por el momento bastante remota porque el fondo en esas zonas se encuentra a gran profundidad, varios países de la región han solicitado a la ONU que se les reconozca la ampliación de sus EEZ hasta abarcar toda la cuenca ártica. En este sentido se enmarca la acción ejecutada en 2007 por un batiscafo ruso de plantar la bandera de su país, a más de 4.000 metros de profundidad, sobre el lecho marino del Polo Norte.

Sería deseable que un tratado internacional dejase al menos parte del océano Ártico como patrimonio de la humanidad y, por lo tanto, que no se permitiese la extracción de minerales. Por desgracia, son tales los intereses en juego, que no parece posible alcanzar un acuerdo similar al que se logró para la Antártida y que permite garantizar que aquel continente sea un territorio para la paz y la ciencia.

## 2. Océano Antártico

Con sus 20 millones de kilómetros cuadrados de extensión es una de las masas oceánicas más pequeñas, aproximadamente la décima parte de la superficie del océano Pacífico. Sin embargo, presenta una característica que le hace diferenciarse del resto. Mientras que los demás espacios marinos se encuentran limitados por masas continentales: el océano Ártico, encerrado por Eurasia y Norteamérica; el Pacífico, cuya periferia está principalmente ocupada por Asia y América; el Atlántico, encajado entre América, Europa y África; o el Índico, rodeado por las costas de África, del Asia continental e insular y por la gran isla de Australia (que muchos opinan que debía ser considerada también como otro continente); no ocurre así con el océano Austral, que si bien rodea a la Antártida, haciendo de sus costas su límite natural meridional, hacia el norte se abre a las tres grandes extensiones marinas del planeta.

### *La frontera invisible*

Esto pudiera hacer parecer que no existe un límite septentrional a las aguas antárticas y de existir, que fuera como una de esas líneas imaginarias trazadas sobre los mapas de los desiertos por las potencias colonialistas para delimitar sus posiciones. No es así. Existe una franja de decenas de kilómetros de ancho, a la que se denomina *convergencia antártica*, que separa las aguas calientes del norte de las más frías del sur, y que se detecta con facilidad por el brusco cambio de temperatura de sus aguas cuando se atraviesa. Sobre ella, las gélidas aguas superficiales australes se hunden bajo las más calientes procedentes de los otros océanos. Su importancia, como veremos más adelante, es determinante para la distribución de la fauna y la flora marinas de esa región polar.

Al igual que el Ártico sufrió una lenta evolución que le hizo pasar de un gigantesco lago de agua dulce al océano actual, también en las aguas que rodean la Antártida tuvo lugar una transformación. Aunque en este caso tenemos que retroceder hasta hace 21 millones de años, cuando se hundió la franja de tierra que conectaba la Antártida con el continente suramericano y comenzó la formación de lo que ahora se conoce como *paso de Drake* o *mar de Hoces*.

Este acontecimiento fue de importancia trascendental para la historia de la evolución climática, biológica y oceanográfica de todo el planeta. Dado que con la apertura de este paso, de casi 1.000 km de ancho, tuvo lugar la unión efectiva de los tres grandes océanos: el Pacífico, el Atlántico y el Índico. Una vez intercomunicados, y en un lento proceso que se prolongó durante millones de años, los fuertes vientos del oeste pusieron en movimiento las aguas que rodean la Antártida, terminando por lograr que fluyesen en un movimiento circular (en el sentido de las agujas del reloj) y permanente alrededor del continente helado, con un recorrido que se estima en unos 25.000 km.

### *Una corriente ciclópea*

Aunque la velocidad de esta corriente en superficie es de tan solo 3 km/hora, relativamente pequeña si se la compara con la de otros océanos donde pueden llegar a ser cuatro veces mayores, es uniforme en toda su profundidad, lo que hace que el volumen de agua que transporte sea gigantesco. Se estima que este flujo de agua, al que se conoce como *corriente circumpolar antártica*, transporta una media de 130 millones de metros cúbicos de agua por segundo, un caudal equivalente a 40 veces el del río Amazonas.

Sin obstáculos significativos, dadas las inmensas distancias que separan la Antártida de África, de Australia, de Nueva Zelanda y en menor medida de Suramérica, esta corriente de agua comenzó a girar alrededor del continente y a actuar como una barrera para las aguas más cálidas del resto de los océanos. Privadas de ese calor, en un proceso similar al del Ártico, las aguas australes se fueron enfriando debido a la oscuridad de los largos meses de invierno y a la baja incidencia de los rayos solares durante el verano. El mar helado comenzó a expandirse lentamente, en un proceso que duró una decena de millones de años. Este descenso de temperatura de las aguas australes llevó emparejado un proceso similar en el continente antártico. Sin aguas cálidas que templasen sus costas, las condiciones climáticas se fueron deteriorando y el casquete polar comenzó a extenderse, aniquilando las plantas y animales terrestres que lo poblaba hasta terminar por eliminarlos por completo. Se calcula que hace tres millones de años, después de cubrir todo el continente de una capa de hielo de varios kilómetros de espesor, este proceso se estabilizó. Desde entonces la Antártida y su océano circundante han permanecido, con excepción de algunos altibajos, en condiciones similares a las actuales.

### *Un océano con dos tipos de hielo*

En el Ártico, con excepción de los alrededores de Groenlandia, no existe más que un tipo de hielo, al que se llama ‘hielo marino’ y al que nos referimos como *banquisa*. Se origina al congelarse el mar en invierno y suele tener unos dos metros de espesor. Sin embargo, las aguas australes, además de tener su correspondiente banquisa, se encuentran sembradas de inmensos bloques de hielo procedentes del interior de la Antártida, a los que se denomina *iceberg*, palabra inglesa procedente del holandés y que significa ‘montaña de hielo’. Los icebergs se forman cuando se rompe el frente de los glaciares al llegar a la costa, o bien al fraccionarse las llamadas *plataformas de hielo*, que a su vez también tuvieron su origen en los aportes de los glaciares.

A diferencia del hielo marino, estos, a los que llamamos icebergs, tienen un espesor de unos 200 metros, aunque por razones de flotabilidad únicamente asoman del agua, aproximadamente, una cuarta o quinta parte. La proporción de 1/9 que enseñan en las escuelas solo es aplicable al hielo formado a partir de agua líquida, mientras que el hielo del continente antártico procede de nieve prensada, lo que aumenta su porosidad y disminuye su densidad final.



Continuamente se desprenden icebergs del continente antártico. Unos son atrapados por la *corriente circumpolar* y allí permanecen hasta que el envite de las olas los va desmenuzando y termina por convertirlos en un granizado de hielo. Otros se desplazan en dirección noreste y alcanzan aguas más cálidas, donde su proceso de destrucción se acelera. Algunas de estas moles de hielo han sido avistadas en medio del Atlántico a 35°S, es decir, casi llegando al Brasil.

Los icebergs tienen tamaños y formas muy variados, aunque en el océano Antártico predominan los llamados *tabulares*, por ser plana su superficie superior. Pueden medir kilómetros de longitud. El más grande registrado hasta el momento se desprendió en 2017, medía más de 200 km de longitud y tenía una superficie próxima a los 6.000 km<sup>2</sup>, casi dos veces el tamaño de la isla de Mallorca. Se estima que era 300.000 veces mayor que el que hundió al Titanic.

Siguiendo un pulso ancestral, las aguas antárticas, como ocurría con las árticas, se congelan cada invierno y se funden durante el verano. La superficie helada alcanza su máxima extensión en septiembre, cubriendo 19 millones de kilómetros cuadrados, es decir la práctica totalidad de la superficie del océano Austral, llegando los hielos a los 60° S, una latitud donde en el hemisferio Norte se encuentran ciudades como Oslo y Estocolmo.

La mínima extensión de los hielos marinos se produce en febrero, en los que solo ocupan 3 millones de kilómetros cuadrados (en el hemisferio Sur el mes de febrero equivale a nuestro agosto). Es decir que entre el máximo y el mínimo de hielo tiene lugar una pulsación próxima al 85 % de su máxima extensión, algo muy por encima de la pulsación ártica que, salvo en los últimos años, no disminuía más del 50 %. Por término medio al llegar el invierno, el frente de hielos en el océano Antártico avanza desde la costa a un ritmo diario de 4 km, es decir se congelan unos 100.000 km<sup>2</sup> de mar cada día, una superficie mayor que Andalucía.

### *Los pulmones de los océanos*

El Antártico, junto con el océano Ártico, son los mayores acumuladores y distribuidores de oxígeno entre las aguas del planeta. Según los científicos, esto es debido a que las bajas temperaturas y, en el caso del Antártico la agitación de sus aguas, incrementan considerablemente su capacidad de retención de gases, entre ellos el oxígeno.

Cuando estas aguas frías y cargadas de oxígeno llegan a la zona de la *convergencia antártica* y se topan con las más cálidas procedentes del norte, y por lo tanto más livianas, se hunden bajo estas antes de continuar su camino hacia el ecuador. Durante el mismo se van calentando paulatinamente y por lo tanto desprendiendo el oxígeno que contienen, hasta que alcanzan la suficiente temperatura para ascender a la superficie y verse atrapadas por las aguas que se dirigen en dirección contraria, hacia la Antártida.

Este proceso también tiene lugar en el océano Ártico, por lo que ambas regiones pueden ser consideradas como auténticos pulmones para las masas de agua de todas las latitudes.

## La vida en el agua

Las formas de vida en el océano austral no se diferencian mucho de las que habitan en el otro océano polar. Los mamíferos marinos vuelven a dividirse en dentados y barbados. Entre los del primer tipo, en su tamaño más pequeño, volvemos a tener delfines, aunque en mucho menor número, dado que solo el *delfín cruzado* es capaz de internarse en estas aguas tan frías. Su aspecto exterior es muy parecido al de las *orcas*, aunque es un animal más estilizado y de un tamaño considerablemente menor.

Entre los cetáceos dentados de tamaño medio, hasta los 10 metros, encontramos especies similares a las del océano boreal, pero en este caso propias de las aguas australes, también *orcas* que, literalmente, se encuentran en todos los océanos. En el grupo de los dentados de gran tamaño, que pueden alcanzar los 20 metros de longitud, nos encontramos con el *cachalote*, cuya población se distribuye por todos los mares del planeta, aunque solo los machos adultos se aventuran en las aguas polares.

En cuando a los cetáceos barbados que pueblan las aguas antárticas, son básicamente los mismos de las aguas árticas. La evolución de su anatomía exterior hacia formas muy aerodinámicas, unida al inmenso impulso que su aleta caudal proyecta cuando nadan, les permiten esas largas migraciones de un océano polar al opuesto para aprovechar la abundancia de alimento durante los cortos veranos polares. Por lo tanto, es posible encontrar los mismos individuos en ambos hemisferios con seis meses de diferencia.

## Elefantes en esas aguas

Al igual que en las aguas boreales, en las australes también encontramos mamíferos carnívoros que si bien su hábitat es el mar, tienen que salir fuera del agua para descansar y reproducirse. Lo mismo que en la zona ártica, aquí también se encuentran distintos tipos de focas. Todas ellas presentan la característica anatómica común de poseer dos pequeñas aletas ubicadas lateralmente, que si bien les son útiles dentro del agua, no son funcionales cuando están fuera. Por lo que, en las playas o sobre los hielos, tienen que desplazarse arrastrándose con movimientos muy poco garbosos que recuerdan el avance de las orugas.

Los diferentes tipos de focas australes se alimentan de calamares, peces y *krill*, aunque alguna incluye en su dieta a los pingüinos. La más extendida, es la *foca cangrejera*, que se considera el mamífero de gran tamaño más abundante del planeta (en estado libre), estimándose su población en cerca de 15 millones de ejemplares. Curiosamente, pese a que su nombre parece indicar que se alimenta de cangrejos, la realidad es que se alimenta únicamente de *krill*, que aunque también es un crustáceo, se parece mucho más a una pequeña gamba que a un cangrejo.

Aunque en la Antártida no existen morsas, se puede encontrar otro mamífero igualmente espectacular por su tamaño: la *foca elefante*. También conocida como *elefante marino*, cuyos

machos adultos pueden alcanzar más de seis metros de longitud y hasta 4.000 kg de peso. Se las llama así porque su piel recuerda a la de un elefante terrestre y además, los machos están dotados de un respetable apéndice nasal, con una cierta forma de trompa, que hinchan cuando compiten por las hembras.

También abundan en todas las aguas australes la *foca de Weddell*, calculándose que su población puede llegar a sobrepasar el millón de ejemplares. Son gregarias, relativamente mansas y puesto que no consideran al ser humano como su depredador permiten que se les acerquen cuando descansan sobre los hielos; hace dos siglos, esa indiferencia las convirtió en un blanco fácil de sus cazadores. La gruesa capa de grasa que las protege y su capacidad para hacer con los dientes agujeros en el hielo por donde respirar, hace que no tengan necesidad de migrar hacia aguas abiertas durante el invierno. Son capaces de bucear hasta los 600 metros de profundidad, y contener la respiración durante una hora, para buscar su alimento.

### *El terror de los pingüinos*

Existe un tipo de foca que, por su carácter agresivo, se ha ganado una merecida fama de terrible depredador, capaz de atacar incluso a otras focas y que ha hecho de los pingüinos su plato favorito: la *foca leopardo*. Su nombre hace alusión a su piel moteada, a su comportamiento solitario y a la precisión, agilidad y fiereza que manifiesta en sus tácticas de caza. Tiene un tamaño similar al de la *foca de Weddell*, pero es mucho más estilizada, tanto que casi recuerda a un reptil. Además, posee una boca enorme en comparación con su tamaño. Su hipotética presencia escondida entre los hielos, es lo que hace que los pingüinos sean tan precavidos a la hora de abandonar un bloque de hielo para zambullirse en el mar.

Las aguas antárticas también están pobladas por '*leones marinos*', una especie de otáridos que, aunque emparentados con las focas, presentan una doble característica que les diferencia. Por una parte cuentan con un pequeño pabellón auditivo, pequeñas orejas, perfectamente visibles que contrastan con el simple orificio que presentan las focas. Si bien la diferencia más importante es que sus aletas son mucho más robustas que las de las focas y se localizan debajo del cuerpo. Lo que les permite, además de propulsarse con agilidad debajo del agua, erguirse sobre ellas, a modo de patas delanteras, y desplazarse por tierra, dándoles mucha más movilidad que las focas, aunque su caminar tampoco es muy elegante.

Como las focas, se alimentan de *krill*, pequeños peces y calamares, aunque no desprecian a un pingüino si están hambrientas. El tamaño de los machos puede alcanzar los 2 metros y pesar 200 kg. Los machos también presentan una densa capa de pelo sobre el cuello semejante a una melena, lo que hace que normalmente sean conocidos como *leones marinos*. Precisamente, la demanda de esta melena para confeccionar abrigos de pieles fue una de las causas que casi les llevó a la extinción hace dos siglos, aunque indirectamente fue lo que también permitió la exploración del océano austral y de las costas antárticas.

### *Las peores aguas del planeta*

Desde el siglo XVI los barcos europeos comenzaron a navegar por todos los mares del mundo, atravesando las mayores distancias oceánicas, e incluso adentrándose en el Ártico. Solo los mares australes suponían un desafío difícil de vencer. Sus vientos huracanados, impetuosas corrientes y turbulentas aguas hacían temblar incluso el corazón de aquellos navegantes acostumbrados a las peores tempestades.

Tuvieron que pasar varios siglos para que los primeros barcos se acercasen al océano austral. Los fuertes vientos que dominan los mares del hemisferio Sur ya eran un advertencia para los veleros cuando se atrevían a navegar hacia el Sur. Por eso, los marinos que frecuentaban aquellas aguas bautizaron las diferentes latitudes en función del sonido que el viento hacía al pasar entre el numeroso aparejo de aquellos navíos. Estableciendo tres niveles de dificultad creciente. Los *cuarenta rugientes*, entre los 40° y 50° S, que provocaban tempestades devastadoras para hombres y barcos. Más hacia el sur se encontraban los *cincuenta aulladores*, vientos aún más violentos que convirtieron aquellas rutas marítimas en auténticos corredores de la muerte para gran número de barcos. Finalmente, y si todavía alguien se atrevía a acercarse a los 60° S se encontraba con toda la furia desatada de los vientos: los *sesenta bramadores*, que incrementaban su peligrosidad por la aparición de los temidos icebergs capaces de destrozarse los barcos al más mínimo contacto.

### *La codicia, motor de la exploración*

Todos estos factores, unidos a las bajas temperaturas, desaconsejaban la navegación por esas aguas que nada de valor parecían contener. Tuvo que ser el descubrimiento de unas islas, al sur del paso de Drake, repletas de focas, leones y elefantes marinos, lo que despertó el interés de los cazadores, que se aprestaron a correr cualquier tipo de peligros con tal de hacerse con el preciado botín de sus pieles y de su grasa, ambas de un alto valor comercial.

Fue tal el número de barcos que allá se dirigieron, y el afán de aquellos hombres de conseguir los mayores ingresos posibles, que mataban todos los animales sin discriminar a las hembras que amamantaban a sus crías y, como consecuencia, estas también morían. El resultado fue catastrófico y en poco más de dos años llevaron a las especies al borde de la extinción. Sin embargo, la masacre había dado unos resultados económicos tan espectaculares que, cuando terminaron con toda la población de estos animales en esas islas, algunas empresas decidieron mandar a sus barcos a explorar aquellas aguas en busca de nuevas presas.

Estas expediciones, unidas a las organizadas por el gobierno francés, el norteamericano y, especialmente, el británico, permitieron que ya a mediados del siglo XIX se tuviera un conocimiento básico del continente de hielo, la Antártida, que enmarcaba la parte meridional del océano austral. Desde entonces, y en particular en la última parte del siglo XX, se han sucedido

numerosas expediciones, tanto científicas como comerciales, con el objetivo de ampliar los conocimientos sobre sus aguas e indagar las posibilidades de explotación de sus pesquerías.

### *La vida en el fin del mundo*

De forma similar a como lo hacen los ríos que desaguan en el mar arrastrando los sedimentos que han acumulado en su cauce, los glaciares, auténticos ríos de hielo, acarrear los materiales que han ido agregando durante su lento avance. Todos ellos se depositan en el fondo marino cuando los hielos alcanzan el mar y se funden. Por este procedimiento, que a primera vista podría parecer de poca magnitud, se estima que cada año se transportan con el hielo hasta las costas del continente antártico más de 500 millones de toneladas de limo, arenas y piedras. Estos materiales contienen una cantidad importante de minerales de todo tipo que, al disolverse en unas aguas con un alto contenido en oxígeno, como vimos antes, crean un medio rico para todas las formas de vida marina, tanto para la fauna y flora que habita el lecho marino, como para las diversas especies de fitoplancton, zooplancton y peces.

La criatura más abundante en el océano austral es, con diferencia, el *krill*. Distintas variedades de este pequeño crustáceo se encuentran en todos los mares del mundo, sin embargo, en los alrededores de la Antártida se da una especie endémica cuya biomasa se estima en cerca de 400 millones de toneladas, una de las mayores del planeta. El *krill* juega un papel fundamental en la cadena trófica de toda la región, dado que es el alimento básico de las ballenas barbadas, focas, peces, calamares y numerosas clases de aves, entre ellas los pingüinos.

Esta variedad de *krill* es una pequeña gamba casi transparente, de un tamaño medio de cinco centímetros de longitud y una vida próxima a los siete años. Cuenta con unos órganos que producen bioluminiscencia, aunque se desconoce si la emisión de esta luz está relacionada con el apareamiento o es una forma de camuflaje, ya que le permite confundirse con la luz procedente de la superficie, haciéndole invisible a sus abundantes depredadores. Para obtener su comida se desplaza diariamente un centenar de metros en vertical lo que, a su vez, le convierte en alimento de aquellas especies que nadan en superficie a lo largo de la noche y de las que buscan su alimento, a más profundidad, durante el día.

Es una especie sumamente gregaria que se distribuye por todo el océano, aunque se concentra en algunas zonas específicas donde se han observado cardúmenes de dos millones de toneladas de *krill* en espacios menores que la extensión del Parque Natural de Doñana. Al ser muy rico en proteínas y ácidos grasos omega-3, se está capturando como alimento para piscifactorías y complementos vitamínicos.

De las cerca de 30.000 especies de peces que se reparten en las aguas de todo el planeta, en el océano Antártico solo viven poco más de un centenar. Generalmente estas son de crecimiento lento, no alcanzan la madurez sexual hasta una edad muy tardía y tienen baja fecundidad.

Todo esto hace que aunque algunas especies puedan tener valor comercial, sus peculiaridades biológicas implican una gran fragilidad ante una pesca intensiva.

Cómo en el caso del Ártico, estos peces han sufrido una adaptación biológica que les permite sobrevivir en tan frías aguas. Así, son capaces de mantener líquidos sus fluidos corporales a temperaturas inferiores a las que se forma el hielo. Uno de los peces más curiosos es el llamado *pez hielo*, que es el único vertebrado cuyo cuerpo carece por completo de hemoglobina, el pigmento rojo que transporta el oxígeno en el torrente sanguíneo, y como consecuencia la sangre de estos peces es casi transparente.

### *Un océano para la paz y la ciencia*

En 1969 se firmó el *Tratado Antártico* que ponía fin a las especulaciones sobre el futuro del continente blanco y le consagró como un lugar sin fronteras, que tan solo podría ser utilizado para fines pacíficos, y en especial dedicado a la investigación científica. Poco después se vio la necesidad de ampliar la protección que confería el Tratado a las aguas que rodeaban al continente y se estableció la *Convención para la Conservación de las Focas Antárticas*, a la que posteriormente se le añadió la *Convención para la Conservación de los Recursos Marinos Antárticos*.

La primera de ellas tiene como objetivo promover, proteger, estudiar y gestionar de forma razonable las *focas*, manteniendo su población en un equilibrio satisfactorio con el sistema ecológico. La segunda amplía la protección a todas las especies vivas marinas de las aguas comprendidas en el interior de la *convergencia antártica*, es decir a todo el océano austral, y trata de lograr una gestión sostenible de sus recursos pesqueros. Por lo tanto, no excluye la explotación de estos recursos, siempre que sea hecha de manera sostenible y tenga en cuenta los efectos de la pesca en otros integrantes del ecosistema de la región.

En la actualidad, y pese a que las actividades pesqueras están por debajo de lo considerado como límite de sostenibilidad, la comunidad científica internacional considera que se debe avanzar un paso más en la protección de tan frágil ecosistema. Así, en los últimos años se elevan cada vez más voces para convertir el océano Antártico en un santuario, que significaría la creación de la mayor área protegida de nuestro planeta.



# EL MEDITERRÁNEO AYER Y HOY

## DE OCÉANO A MAR INTERIOR

*Manuel Toharia*

Ciudad de las Artes y las Ciencias y Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia

### Resumen

El mar Mediterráneo, crisol de culturas y vehículo de comunicación e intercambio entre los pueblos que lo han poblado y pueblan desde hace muchos milenios, tiene un pasado geológico bastante más atormentado de lo que su realidad actual podría hacernos pensar. No todo el mundo sabe, por ejemplo, que en tiempos relativamente recientes a escala geológica, hace poco más de 5 millones de años, estuvo casi completamente seco, cuando su nivel bajó más de un kilómetro y medio respecto al actual. Luego se rellenó casi de golpe, en poco más de un año, al abrirse de forma literalmente instantánea lo que hoy conocemos como estrecho de Gibraltar, provocando una inmensa catarata de agua en forma de río con un caudal mil veces mayor que el del Amazonas en su tramo final. La historia geológica del *Mare Nostrum*, muy anterior a su gloriosa historia como cuna de las civilizaciones más antiguas de la humanidad, resulta del máximo interés porque explica algunas de las principales características que hacen que esta región del planeta sea hoy tan singular. En cambio, el hecho de que vaya a desaparecer en unos cuantos millones de años más, al quedar comprimido entre las placas africana e ibérica que se mueven la una deslizándose bajo la otra, no debe preocuparnos en absoluto; hay muchas otras amenazas a corto plazo, mucho más corto, que deben preocuparnos...

### Abstract

*The geological past of the Mediterranean Sea—for many thousands of years a melting pot of cultures and a vehicle for communication and exchange between the peoples who have inhabited and populated the region—is a good deal more convulsive than its current state might lead us suppose. Not everyone knows, for example, that in geologically relatively recent times (a little over five million years ago) it was almost completely dry, with a sea level more than a mile lower than it is today. Then it filled up very abruptly, in little more than one year, when what we now know as the Strait of Gibraltar literally opened all of a sudden, giving rise to a huge waterfall in the form of a river with a flow a thousand times that of the final stretch of the Amazon. The geological history of Mare Nostrum, long before its glory days as the cradle of mankind's oldest civilizations, is of the utmost interest because it explains some of the features that make this region of the planet so unique today. The fact that it is destined to disappear a few million years from now, squeezed on either side by the African and Iberian plates as they slide over one another, should not concern us in the least. There are many more immediate threats we should be worrying about...*

## 1. Introducción

La atormentada vida geológica del *Mare Nostrum* resulta difícil de imaginar hoy, porque las regiones mediterráneas gozan de justa fama como lugar de asentamiento de algunas de las civilizaciones más antiguas de la humanidad. Sin olvidar su vocación turística, también en cuestiones de esparcimiento y descanso, debido a un clima, unos paisajes y una gastronomía únicos. El Mediterráneo mismo, precisamente por su singularidad como mar interior, fue desde siempre un vehículo de contacto y mestizaje ideal para los diversos pueblos ribereños, que aprendieron allí las artes más rudimentarias de la navegación desde el fecundo comercio de fenicios y griegos hasta el posterior dominio otomano y veneciano por controlar la valiosa ruta de las especias.

Pero ¿y antes de todo eso? ¿Cuál fue el origen remoto de ese mar que incluso hoy seguimos considerando como muy nuestro? No nos referimos a las épocas bien documentadas históricamente del actual Holoceno, menos de una decena de milenios, sino de épocas muy anteriores, aquellas de las que solo los registros geológicos pueden informarnos con cierto detalle, aunque, obviamente, en una escala de tiempos que en lugar de años, siglos o milenios utiliza los millones de años...

Conviene decir, de antemano, que el mar Mediterráneo arrastra un pasado geológico tortuoso y variable, directamente relacionado con los mares y continentes que existieron bastante antes de iniciarse, hace 66 millones de años, la última de las eras geológicas, hoy llamada Cenozoica y antes era terciaria.

La historia geológica del Mediterráneo nos va a obligar a realizar cierto esfuerzo de imaginación, en la que los sucesos narrados nada tienen que ver con los que la historia documentada suele explicarnos: reyes y dinastías, guerras, evolución agrícola e industrial y otras cuestiones similares. Porque aquí vamos a hablar de continentes que se mueven, de océanos que van y vienen, incluso desaparecen...

En la historia clásica, la de los documentos humanos, comprendemos bien las unidades de tiempo que se usan; nadie tiene que explicarnos que desde el nacimiento aproximado de Cristo han transcurrido más de veinte siglos, por ejemplo. Y estamos familiarizados con la Edad Media, los emperadores romanos, Napoleón y sus batallas...

Del mismo modo el mundo de los geólogos se basa en periodos históricos, eso sí con duraciones muy extensas, de muchos millones de años. Como simple recordatorio, a medida que avance el relato iremos intercalando algunos cuadros con estas clasificaciones de eones, eras, periodos, épocas... tan propios de los registros geológicos.

Hoy resulta difícil descubrir esa historia geológica, a no ser que uno tenga una notable experiencia como geólogo a la hora de descifrar, como un detective de la historia remota, los indicios que el paso del tiempo ha ido dejando señalados en el paisaje y en el subsuelo.

Y, sin embargo, gracias a todos esos datos paleogeológicos podemos comprender algunas de las características tan singulares de estas regiones tan nuestras que en tiempos recientes se han constituido como hogar y vehículo de culturas fecundas, trasiego de gentes y actividad económica incesante.

Desde luego, son muchos los que ignoran que hace apenas algo menos de seis millones de años –un tiempo muy breve, geológicamente hablando– el Mediterráneo estaba casi seco y cubierto de sal. O que hace apenas 200 millones de años era un gigantesco océano entre dos continentes. Los geólogos lo llamaron en su momento mar de Thetys, pero bien hubieran podido adjetivarlo como mediterráneo, en medio de las tierras, porque desde luego había servido de elemento disgregador y luego de separación entre dos gigantes subcontinentes llamados Laurasia y Gondwana.

De todo ello trataremos en las líneas siguientes.



## 2. Un mar muy nuestro... pero con mucha historia geológica

Al haber servido de soporte, durante milenios, a esa cultura básica que compartimos con nuestros países vecinos, del Mediterráneo creemos saberlo todo o casi todo en los últimos milenios. O al menos, eso es lo que han intentado inculcarnos nuestros profesores en el colegio.

En las regiones bañadas por sus aguas, propias de la zona templada del hemisferio norte, se dan unas peculiares condiciones geográficas, incluido el clima esencialmente benigno, que facilitaron notablemente la eclosión de la mayoría de las civilizaciones más antiguas.

Quizá las primeras de la humanidad, tras la última glaciación hace unos 11.000 años. Quizá la más antigua fue la mesopotámica, que se inició hace ocho o nueve milenios, luego la egipcia desde hace siete milenios, y la grecorromana heredera de las dos anteriores y que llegó a Grecia desde el Asia Menor hace más de tres milenios. Solo la civilización china podría competir con ellas en antigüedad, aunque la controversia entre historiadores orientales y occidentales al respecto sigue sin ser aclarada del todo.

Lo que hasta ahora se cree saber es que las primeras civilizaciones sedentarias nacieron en Mesopotamia hace más de 9.000 años, casi ocho milenios antes de Cristo. Por ejemplo, las culturas Hassuna, Samarra, Halaf y Obeid, antecesoras de Sumer y Acad, luego de Babilonia, y que más tarde heredarían Grecia y luego Roma.

Recientemente, un destacado experto chino, actual director del Instituto de la Historia de las Nacionalidades, ha asegurado haber encontrado restos culturales de hace 8.000 años, pero estima que hay indicios de que bien pudiera haber restos anteriores, desde hace 9.000 años o más.

En todo caso, es obvio que el clima mediterráneo bien puede ser considerado casi paradisiaco; no olvidemos que la morada de los dioses de la mitología griega estaba en lo alto de una montaña cercana a la costa macedonia griega, en el golfo de Tesalónica. Aunque, en realidad, el monte Olimpo forma parte, con sus tres mil metros de altitud, de las últimas estribaciones de dos cordilleras que discurren en paralelo entre el mar Adriático y el valle del Danubio: los Alpes Dináricos y los Cárpatos.

Curiosamente ambas cadenas montañosas son un vestigio del reciente plegamiento tectónico cuyas cicatrices, en forma de pliegues montañosos, demuestran la existencia de un lento pero inexorable acercamiento de dos grandes placas de la corteza terrestre: la africana y euroasiática. Lo que condicionó, y condicionará, el pasado y el futuro geológico de nuestro mar, que se va estrechando hasta el punto de que quizá desaparezca dentro de unos cuantos millones de años más, al avanzar la placa africana sumergiéndose bajo la placa europea.

La mitología y la geología se enlazan aquí para llevarnos a tiempos mucho más remotos, antes incluso de las glaciaciones del Cuaternario, hace muchos millones de años...

Lo mismo podríamos decir de Sierra Nevada y los Pirineos –y secundariamente también las demás cordilleras ibéricas–. Y los Alpes, el Atlas norteafricano, los Apeninos italianos...

Todas estas cadenas montañosas son una muestra palpable de esa reciente orogenia activa que se manifiesta, además, por una elevada sismicidad y un volcanismo activo. Y que solo corroboran la idea de que en el choque de esas dos placas la corteza terrestre, aparentemente tan resistente, sobre la que viajamos, cultivamos y vivimos, en realidad se mueve y se arruga como hojas de papel cuando las sometemos a dobleces y movimientos de todo tipo.

Conviene recordar al respecto que la palabra ‘volcán’ procede del nombre del dios romano del fuego (Vulcano, que para los griegos era Hefesto), y así fue nombrada una isleta siciliana de apenas 21 km<sup>2</sup> en torno a un volcán de 500 metros de altitud en el pequeño archipiélago de las Eolias, o islas Lípari.

Comprender toda esta larga historia geológica exige, hemos de insistir en ello, un notable esfuerzo de imaginación. Porque a partir de ahora no hablaremos de años sino de millones de años.

Nuestra historia se inicia con la fragmentación de un único súper continente, hace unos 200 millones de años.

### 3. El último macrocontinente

Los buenos estudiantes seguramente recordarán que hace unos 300 millones de años hubo en nuestro planeta una distribución de mares y continentes muy diferente a la actual. Existió, según los geólogos, un único continente llamado *Pangea*, que en griego significa ‘toda la tierra’. Eso ocurrió en la transición entre las eras paleozoica y mesozoica, que antes llamábamos primaria y secundaria.

Repasemos antes de nada los principales intervalos temporales que los geólogos han sabido identificar por lo que a la historia geológica del planeta respecta. Es decir que existe como tal, poco después de nacer el Sol a partir de la fusión de los restos del estallido de una estrella supernova, hace 7.000 millones de años, con las masas de hidrógeno que vagaban por el espacio y que se aglutinaron por atracción gravitatoria.

Así «nació», si se puede decir así, el Sol hace unos 5.000 millones de años. Los elementos pesados de su «padre» estelar, que fue esa supernova anterior a él, quedaron en él pero luego fueron expulsados al exterior. Y así hace algo más de 4.500 millones con esos rescoldos pesados expulsados por el Sol naciente acabaron formándose los planetas.

¿Cómo dividen los geólogos el tiempo transcurrido desde esa formación del planeta Tierra, hace más de 4.500 millones de años? Quizá utilicen una terminología no muy sencilla para los que no han estudiado esta ciencia, pero conviene aclararla para facilitar la comprensión de lo que viene más adelante.

Tabla 1. Tiempo transcurrido desde la formación del planeta Tierra hace 4.500 millones de años, según los geólogos

Eón	Era	Hace (millones de años)
Hádico		4.600 aproximadamente
Arcaico		3.850 aproximadamente
Proterozoico		2.500 aproximadamente
Fanerozoico	Paleozoica (primaria)	541
	Mesozoica (secundaria)	252
	Cenozoica (terciaria)	66

*El planeta Tierra tiene unos 4.600 millones de años de existencia. Los primitivos seres vivos aparecieron hace unos 3.850 millones de años, marcando así el inicio del segundo eón. Esa vida fue exclusivamente acuática, pero el agua de entonces se parecía poco a la de los mares actuales: mucho más cálida y cargada de todo tipo de productos químicos tóxicos. Hoy diríamos maloliente y ponzoñosa.*

En el agua, la vida se desarrolló lentamente a partir del eón arcaico, pasando por varias etapas evolutivas, pero siempre en forma monocelular y metabolismos muy primitivos. El tercer eón, el Proterozoico, vio aparecer las primeras células especializadas, las eucariotas, con su material genético dentro del núcleo celular, y separado por una membrana del resto del citoplasma. La vida comienza a hacerse más compleja; por ejemplo, el oxígeno comienza a abundar en la atmósfera debido a que las algas y bacterias con clorofila lo dejaban ir como desecho de la síntesis del carbono contenido en el CO<sub>2</sub>, gracias a la fotosíntesis. Conviene recordar que, desde entonces, el carbono atmosférico procedente del CO<sub>2</sub> se fue convirtiendo en el principal «gas de la vida», puesto que de esos átomos de carbono se nutre la inmensa mayoría de la biomasa del planeta, incluidos nosotros, los humanos. No es, pues, como se suele leer estos días, un gas contaminante sino todo lo contrario.

Otra cosa es que la humanidad emita demasiado CO<sub>2</sub> en las combustiones con fines energéticos a base de productos fósiles –carbón, petróleo, gas natural–; de esas combustiones se obtiene el 85 % de la energía que utiliza hoy el mundo. Esos átomos de carbono e hidrógeno que estaban sepultados bajo tierra desde hace millones de años llegan ahora a la atmósfera y los óxidos resultantes –esencialmente vapor de agua y dióxido de carbono–, al ser los principales gases de efecto invernadero, pueden acentuar la temperatura media del planeta. Que es la que es gracias a ellos, sin duda, pero que puede empeorar las cosas si llega a subir en exceso por culpa de este proceso, que es lo que ahora tememos.

Mucho más tarde comenzó el siguiente eón, que es el más reciente: el Fanerozoico. Debutó con un acontecimiento llamativo e insólito: la rápida proliferación de seres vivos de todo tipo, por supuesto en el mar porque todavía entonces no había vida en tierra firme ni en el aire. Demasiado oxígeno tóxico y corrosivo, y demasiados ultravioletas solares; la capa de ozono que ahora nos protege casi del todo aún estaba formándose (el ozono, recuérdese, es oxígeno triatómico). Hoy llamamos Cámbrico a aquel primer periodo de la era paleozoica, la primera igualmente del último eón, el Fanerozoico.

Aquella acelerada proliferación de vida en los mares se conoce ahora como la «explosión de biodiversidad del Cámbrico». Ocurrió hace más o menos 540 millones de años.

Bastante más tarde, en la época de Pangea –hace unos 300 millones de años– ya habían conquistado tierra firme algunos seres vivos, conviviendo animales, plantas, hongos y bacterias tanto en tierra como, mayoritariamente, en el mar. Aquel único continente gigante estaba rodeado por un único mar, llamado *Panthalassa* ('todos los mares', en griego).

Un macroocéano unificado que ocupaba aproximadamente el 70 % de la superficie del planeta; Pangea apenas el 30 %. Es una distribución de la proporción de tierras emergidas y agua similar a la de ahora: hoy sabemos que hay un 71 % de agua y un 29 % de continentes e islas; muy similar, salvo que el reparto entonces era muy diferente... O eso creemos saber.

Lo curioso es que mucho antes, al final del eón proterozoico, hace unos 600 millones de años, ya había habido otro súper continente, *Pannotia* (en griego, 'todo en el sur', *Notos* era el viento griego del sur).

Su localización en torno al polo sur, y no ecuatorial como más tarde sería Pangea, provocó una gigantesca glaciación que duró millones de años; todo el planeta estuvo cubierto de hielo. En inglés, aquel periodo de planeta helado se conoce como *Snowball Earth*, 'Tierra `bola de nieve'... No resulta difícil de imaginar si pensamos que casi todo el planeta pudo tener un clima similar al de la actual Antártida, durante millones de años...

Y aún resulta más curioso que los geólogos nos informen de la muy probable existencia, mucho antes aún, quizá hace 800 millones de años, de otro súper continente, *Rodinia*; un nombre que deriva del ruso *Ródina*, 'patria'.

Parece como si, cada 200 a 300 millones de años más o menos, las placas continentales, en su deriva al azar flotando por encima del magma semifluido del manto terrestre, se agrupasen y luego se volviesen a fragmentar... Pero no lo sabemos realmente; eso sí, nada nos impide pensarlo... De hecho, África parece volver a querer fusionarse con Eurasia, como ya lo estuvo en Pangea; pero en cambio las Américas se alejan de nosotros por el oeste y quizá la unión se haga por aquel otro lado. Por otro lado, Australia se sigue acercando a Asia, como hace muchos millones de años ya lo hizo la India causando una arruga en la superficie, visible hoy como cordillera del Himalaya.

El futuro tiene la palabra, pero nosotros no nos vamos a enterar; eso es lo malo de manejar magnitudes temporales tan gigantescas como hace la geología.

Antes de volver a Pangea y su posterior fragmentación, recordemos cuál es la división temporal en eras y periodos del último eón fanerozoico.

Tabla 2. División temporal en eras y periodos del último eón fanerozoico

Era		Periodos	Hace (millones de años)
Eón fanerozoico	Paleozoica (antes primaria)	Cámbrico	542
		Ordovícico	488
		Silúrico	444
		Devónico	416
		Carbonífero	359
	Mesozoica (antes secundaria)	Pérmico	299
		Triásico	251
		Jurásico	201
	Cenozoica (antes terciaria)	Cretácico	145
		Paleógeno	66
		Neógeno	23
Cuaternario		2,6	

*El eón fanerozoico se caracteriza por la diversidad de seres vivientes, que evolucionaron unos, desaparecieron otros y proliferan en el hábitat natural de la vida, que es el mar, y más tardíamente también en tierra firme. Al final de la era paleozoica, en los periodos carbonífero y pérmico, ya existe Pangea. Y en la era cenozoica es cuando el Mediterráneo vive sus momentos más convulsos...*

#### 4. Renacer de la vida en la era cenozoica

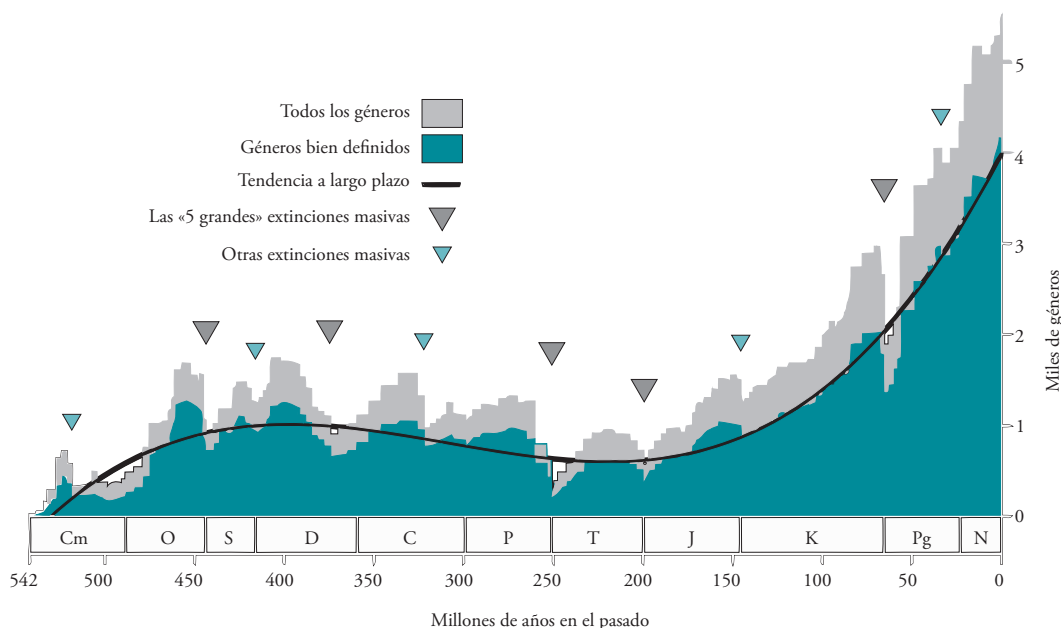
Cuando comenzó la era mesozoica, hace 251 millones de años, todavía existía *Pangea*. Tenía forma de herradura abierta y estaba situado en las zonas tropicales del planeta; aunque había comenzado ya a disgregarse. Proceso aún no terminado y que generó la actual disposición de continentes, islas y mares.

Y la vida seguía proliferando, en el agua, como siempre, pero también en tierra firme a partir del Devónico, hace unos 400 millones de años. Véase el Gráfico 1 sobre la evolución de la biodiversidad total durante el eón fanerozoico.

Se aprecia la dramática pausa de la quinta extinción masiva de biodiversidad, hace 66 millones de años. Fue realmente llamativa porque acabó con casi la mitad de las especies existentes entonces, entre ellas los grandes saurios. Al parecer se debió a un cataclismo cósmico, cuando un meteorito gigante chocó con la Tierra, en la zona del actual golfo de México.

Pero tras la catástrofe la vida volvió a proliferar, esta vez casi explosivamente, en una línea ascendente que se aprecia claramente en el gráfico, alcanzando una cifra récord en el actual Holoceno.

Gráfico 1. Biodiversidad durante el Fanerozoico



Fuente: Splibubay: *Phanerozoic Biodiversity.svg* by *Dragons flight* (original PNG image) and *Albert Mestre* (SVG version). En <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31678414>.

Contarlo apenas ocupa unas líneas, pero estos movimientos de las placas continentales en la superficie del planeta fueron, y siguen siendo, lentísimos. Es decir, inapreciables a escala humana; recuérdese que la unidad empleada es el millón de años. En todo caso, y por lo que a la historia geológica del Mediterráneo respecta, lo más interesante vino cuando se formaron dos grandes subcontinentes, *Laurasia* y *Gondwana*, al disgregarse *Pangea*. Porque entre ambos apareció un enorme océano, que fue en cierto modo el precursor de nuestro actual mar Mediterráneo: el océano Thetys, o mar de Thetys (diosa de las aguas y esposa del dios Océano en la mitología griega).

Al comenzar el Cretácico, el tercer y último periodo de la era mesozoica o secundaria (hace algo menos de 150 millones de años), los dos continentes ya estaban aislados, uno en cada hemisferio. El mar de Thetys era enorme, comparable en tamaño si no mayor al actual continente euroasiático.

La siguiente etapa geológica trascendente a la hora de explicar la realidad del actual *Mare Nostrum* comenzó a fraguarse bastante más tarde, en los últimos veinte o treinta millones de años, en plena época del mioceno; y su proceso de formación pasaría por un momento crítico al llegar el Plioceno, hace casi seis millones de años, como luego veremos al abordar el tema de su desecación casi total en esa época.

Figura 1. Triásico hace 200 millones de años



Recordemos ahora, antes de seguir adelante, cuáles fueron los últimos Periodos y épocas de la era cenozoica o terciaria; o sea, los últimos 66 millones de años. Es la época de activa orogenia alpina que en ese intervalo de tiempo ha venido originando el actual paisaje montañoso del planeta, y que comenzó a conocerse bien precisamente en el contorno de la cuenca mediterránea. Un plegamiento que, por cierto, aún no ha cesado, suponiendo que en la historia geológica del planeta haya habido algún periodo largo de reposo, que probablemente no.

Tabla 3. Períodos y épocas de la era cenozoica

Era	Época	Hace (millones de años)	
Era cenozoica (terciaria)	Paleoceno	66	
	Paleógeno	Eoceno	56
		Oligoceno	34
		Mioceno	23
	Neógeno	Plioceno	5,3
		Pleistoceno	2,6
	Cuaternario	Holoceno	unos 11.000 años

## 5. Mioceno y Plioceno: un Mediterráneo de ida y vuelta

Cuando comienza la era cenozoica, Gondwana ya no existe; se ha fragmentado en varios subcontinentes que comenzaron a derivar por la superficie terrestre en diferentes direcciones. América del Sur había comenzado ya a separarse de África para alejarse lentamente hacia el oeste en un larguísimo viaje que duró más de 50 millones de años, hasta encontrarse con América del Norte que a su vez había iniciado su alejamiento de Laurasia, que se quedó reducida más o menos a lo que ahora es Eurasia.

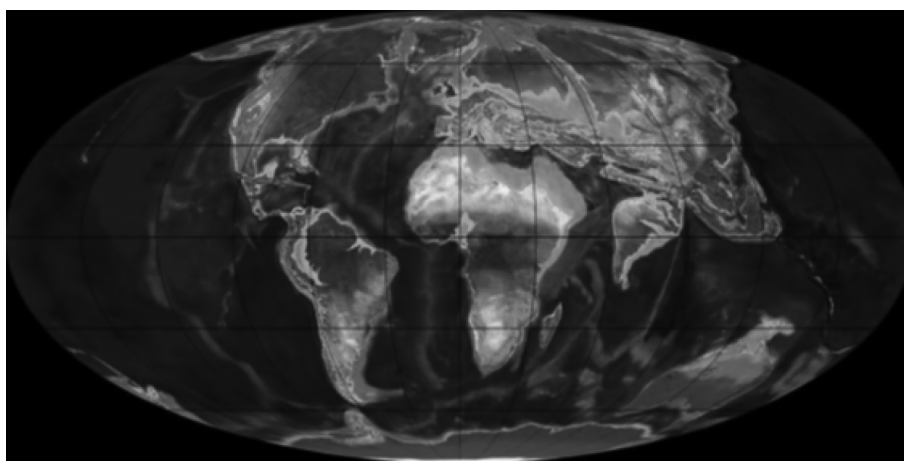
El encuentro de las dos Américas se produjo hace relativamente poco tiempo, a escala geológica de tiempos: hace 12 a 14 años, en pleno Mioceno. Los dos subcontinentes americanos se quedaron detenidos ahí donde están ahora al chocar con la placa del Pacífico, lo que originó en el borde occidental un pliegue orogénico muy señalado que hoy observamos fácilmente como imponentes cordilleras: las Montañas Rocosas al norte y los Andes al sur.

Volviendo a Gondwana, si por el oeste perdió al subcontinente suramericano, por el este perdió el bloque indoaustraliano, separación que se inició pronto, a finales de la era mesozoica, hace unos 100 millones de años. Unos 50 millones de años más tarde ya estaba la India unida a Asia; del choque de los dos continentes surgió un enorme pliegue montañoso de hasta 15 km de altitud, el actual Himalaya cuyas cumbres más altas rozan los 9.000 metros, muchos menos elevadas que cuando se formaron debido a la erosión de la lluvia, el viento y el hielo en estos últimos 50 millones de años...

Australia ya se había separado de la India poco antes de que esta llegara a Asia, y fue derivando algo más al Sur. Y actualmente sigue su camino hacia Asia en dirección Noreste, es decir hacia Japón y China, a un ritmo de unos 5 cm/año...

La misma velocidad a la que se siguen separando hoy las Américas de África y Europa, por culpa del crecimiento de la placa atlántica debido al *Rift*, una dorsal volcánica submarina que no cesa de emitir material rocoso ampliando el Atlántico. Un vestigio patente de ese *Rift* atlántico tan activo volcánicamente hablando son las Canarias y Azores, y también Islandia.

Figura 2. Mares y continentes antes del Mioceno



*Así debieron ser los mares y continentes poco antes del Mioceno, hace 30 millones de años. Al abrirse el estrecho de Drake entre la Tierra de Fuego y la península antártica, el continente sur quedó aislado y comenzó a acumular cada vez más hielo, cuyo espesor no ha dejado de crecer, incluso después de acabar la última glaciación hace 11.000 años.*



En cuanto a la Antártida, había iniciado su separación de Gondwana junto a América del Sur, pero como estaba más al sur acabó separándose igualmente de ella para colocarse en el polo sur. Pero solo empezó a convertirse en el continente gélido que es hoy cuando se separó definitivamente de América del Sur, debido a la corriente marina circular y al vórtice de viento que en cierto modo la aisló de la templanza climática de las latitudes más al norte.

¿Y Laurasia, en el hemisferio norte?

Ya hemos dicho que perdió al subcontinente de América del Norte que viajó hacia el oeste, pero el resto quedó bastante unido, aunque separado de los restos de Gondwana por el mar de Thetys. Por cierto, los restos de Gondwana y Laurasia, o sea las actuales Eurasia y África, parece que quieren volver a reunirse porque ambos bloques se acercan el uno al otro reduciendo el mar que las separaba, Thetys. De hecho, es posible en algo más de veinte millones de años África acabe incrustándose por debajo de Europa...

El océano gigante de Thetys era ya un océano pequeño, aunque todavía no un mar interior a finales en el Mioceno hace algo menos de 20 millones de años. Se le suele llamar mar Parathetys, antecesor directo del actual Mediterráneo, pero en cierto modo era parecido al actual. De hecho, la apertura del Mediterráneo occidental como tal se había iniciado algo antes, hace unos 26 millones de años, y hace 15 millones de años tenía una forma bastante parecida a la actual, aunque no existía aún el estrecho de Gibraltar, comunicado con el Atlántico por tierras y corredores marinos.

## 6. La crisis salina del Messiniense

Y llegamos así a una fecha clave para nosotros, los países del contorno mediterráneo: la crisis salina del Messiniense, hace entre 7 y 5,3 millones de años. Hasta entonces el mar Parathetys, que ya era similar al Mediterráneo de hoy, había seguido estado conectado con los océanos que se habían ido formando muchos millones de años atrás: por el oeste, el Atlántico, que rellenó el hueco dejado por las dos Américas al emigrar hacia occidente; y por el este el Índico, que rellenó el hueco dejado por la India y Australia al alejarse de África por el Este, al tiempo que Asia se quedaba más o menos en su sitio.

Poco antes de este momento clave, hace unos 10 a 12 millones de años, la actual región del estrecho de Gibraltar era una extensa isla alargada de oeste a este, generada por los restos del acercamiento entre las dos placas, europea y africana. El precursor del Mediterráneo, o sea los restos del mar de Parathetys, estaba conectado, de forma cada vez más precaria, con el Atlántico por dos vías: el Estrecho Bético al norte, que hoy es la depresión del Guadalquivir, y el Estrecho Rifeño, al sur, que es hoy el valle del río Sebou marroquí.

Figura 3. Reconstrucción de la Europa en la segunda mitad del Mioceno



*El estrecho de Gibraltar no existía aún y la comunicación entre el Atlántico y el Mediterráneo se hacía a través de los dos Estrechos, Bético y Rifeño.*

Fuente: [jan.ucc.nau.edu](http://jan.ucc.nau.edu).

A finales del Mioceno, en la edad messiniense (que va desde hace 7,25 a 5,33 millones de años) el acercamiento de las placas africana y euroasiática acabó cerrando ambos estrechos. Eso ocurrió hace 5,6 millones de años. Y en unos pocos miles de años el Mediterráneo se fue desecando muy deprisa.

Recordemos que primero fue un océano gigante, Thetys, luego un mar grande, Parathetys, conectado por ambos lados con los océanos circundantes, y finalmente un mar Mediterráneo todavía conectado por el oeste con el Atlántico mediante dos corredores bastante anchos, y por el Este con un Índico que se iba yendo hacia el sur conforme Arabia se separaba de África.

Y literalmente de golpe, en términos geológicos e incluso actuales, se quedó sin agua, o casi. El Mediterráneo como tal desapareció, siendo remplazado por depresiones bastante profundas y extensas de tierra cubierta de una espesa costra salina donde antes hubo el fondo del mar. Solo consiguieron sobrevivir algunas lagunas muy saladas en las zonas más profundas del mar que hubo allí desde la época del Parathetys.

¿Cómo pudo ocurrir algo así? Pues sencillamente, se cerró el paso del agua atlántica, cuando ya estaba cerrado bastante antes el paso al Índico. Y en apenas 300.000 años aquel mar se convirtió en una cuenca cerrada, de la que el agua comenzó a evaporarse con rapidez. Por dos grandes razones. La primera, la ausencia de agua de refresco, nunca mejor dicho, procedente del Atlántico, lo que poco a poco indujo un acelerado calentamiento de toda la cuenca debido a la creciente absorción de radiación solar por el suelo salino. Y la segunda, la intensa evaporación que todo ese proceso generaba, nunca compensada por el aporte, cada vez menor, de agua de los grandes ríos y, obviamente, por la falta del agua de repuesto oceánica.

Lo del aporte de los ríos merece unas pocas líneas. El Nilo por el sur, y el Danubio, el Ebro, el Ródano y el Po por el norte seguían aportando agua, pero en cantidades no comparables a las actuales, y además sus respectivas cuencas fluviales debieron son duda verse afectadas por el cambio de clima. Puede que lloviera lo mismo o incluso algo más, como siempre ocurre cuando hay calentamientos globales, pero también la evaporación era creciente y el agua apenas conseguía mantener las pocas lagunas profundas que habían quedado.

En todo caso, el resultado es que hace algo más de 5 millones y medio de años el nivel del mar había bajado entre 1.500 y 1.700 metros por debajo del nivel del Atlántico.

La gran concentración de sal que hubo en toda esa zona provocó el depósito de grandes cantidades de todo tipo de haluros inorgánicos –formados por cloro, iodo, flúor o bromo asociados a algún metal... Hoy encontramos unas minas de estroncio en Montevive, Granada, que sin duda proceden de un depósito de fluoruro y carbonato de dicho metal.

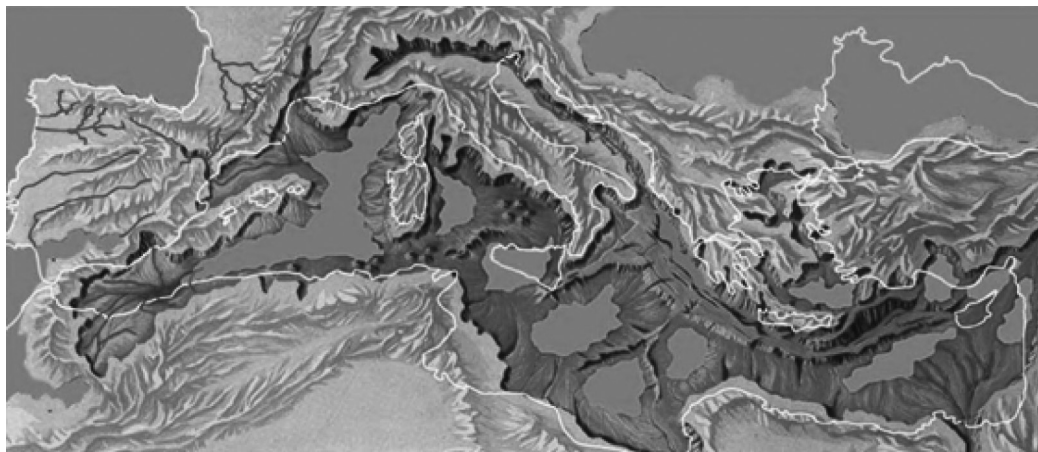
Si una desecación acelerada del Mediterráneo ocurriría hoy si, por algún cataclismo telúrico, se cerrara el actual estrecho de Gibraltar. Algo que resulta más que probable, aunque no parece que sea de forma inmediata, debido a que la placa africana sigue aproximándose a la ibérica, estrechando el mar de Alborán en unos 5 centímetros por año.

Un indicador muy fiable de este movimiento tectónico por el que la placa africana se acerca a la placa ibérica, empujando por debajo –los geólogos lo llaman *subducción*– lo constituye la notable sismicidad que existe actualmente a ambos lados del mar de Alborán. Esos terremotos son una muestra palpable de la actividad tectónica derivada de este lentísimo pero inexorable movimiento geológico.

Por la salinización de suelos y lagunas residuales se conoce a esta edad geológica como Messiniense, nombre que viene dado por la desaparición del estrecho de Messina, donde estaban situados los monstruos Caribdis y Escila de la mitología griega. Claro que la edad messiniense ocurrió muchísimo antes de la época en que vivieron Homero y Hesíodo, primeros padres de la religión mitológica griega...

Menos mal que el drama no duró mucho. Ni siquiera medio millón de años. Y el inicio del Plioceno, hace 5,33 millones de años, viene señalado precisamente por el fin de esa etapa, que no fue gradual sino catastrófico, casi instantáneo: poco más de un año.

Figura 4. Representación de cómo pudo ser la cuenca mediterránea durante la crisis de salinidad del Messiniense



*El trazo blanco fino muestra el actual contorno costero. Se aprecian los restos del estrecho Bético al norte, y del estrecho Rifeño al sur. Por supuesto las Baleares estaban unidas a la península ibérica, y Córcega-Cerdeña hacían de puente con el norte de África. Las lagunas interiores estaban más de un kilómetro por debajo del nivel actual del mar.*

Fuente: Ledesma Rubio (2005).

Decimos catastrófico por utilizar un adjetivo comparable a lo que hoy diríamos si algo así sucediera en el momento actual. Pero en realidad fue extremadamente afortunada para la existencia, o mejor dicho la supervivencia, de lo que mucho más tarde llamamos Mediterráneo. Ese suceso fue la apertura, súbita, del estrecho de Gibraltar. Un suceso quizá originado por la aparición de una fosa tectónica cuyo origen se desconoce, o bien como resultado de un proceso erosivo brutal causado por los ríos de la zona en épocas de grandes lluvias, o por la precipitación de aguas del Atlántico hacia la cuenca Mediterránea a modo de cascada gigantesca debida a un ascenso momentáneo del nivel del mar, o quizá por la acción de algún movimiento sísmico muy potente...

En realidad, no se sabe. Pero muy una suerte para nosotros, los países ribereños. Y fuera como fuese, el caso es que hace 5,33 millones de años el Atlántico comenzó a rellenar, brutal y casi instantáneamente, la cuenca Mediterránea.

Antes de iniciar la historia del Mediterráneo actual en esos últimos 5 millones de años, permítasenos un pequeño apunte curioso: muy cerca de Lorca existe una pequeña pedanía llamada Barranco Hondo. Ahora es tristemente famosa por haberse localizado allí el epicentro del terremoto que afectó tan dramáticamente a la región, el 11 de mayo de 2011. Pues bien, antes de eso ya era famosa esa pedanía por motivos más científicos; probablemente su nombre tenga mucho que ver con su pasado geológico. Y es que, en efecto, los geólogos saben que por

allí pasaba el estrecho Bético que unía el Mediterráneo al Atlántico, a mediados del Messiniense. Algo que se puede apreciar en los foraminíferos y en las laminillas, indicio seguro de su estado sumergido durante mucho tiempo.

Y es que, durante su época de sequía hipersalina, el Mediterráneo era un inmenso territorio recubierto de carbonatos y sales de todo tipo, con muy escasa vegetación. Un desierto inhóspito y gigantesco. Pero que quizá facilitó el tránsito de animales y plantas de África a Europa y viceversa. Aunque todavía no de homínidos, porque conviene recordar que el *Australopithecus afarensis*, la famosa Lucy descubierta en Etiopía hace medio siglo, tiene aproximadamente 3,5 millones de edad. Lucy sabía andar, pero también trepaba aún como los monos. Era ya un homínido, precursor de los *Paranthropus*, ya desaparecidos, y de los *Homo*, género del que solo quedamos los *H. sapiens*, o sea los actuales humanos. Pero no pudo venir de África porque en esa época aún no existían...

Los homínidos se separaron de los homínidos (primates superiores) más próximos a nosotros, como el chimpancé y el bonobo al menos dos millones de años antes. Pero es obvio que esos primates vivían muy bien en África como para aventurarse por aquellos saladares inhóspitos en busca de quien sabe qué. En cambio, muchos reptiles, quizá aves, y animales de menor tamaño quizá sí pudieron viajar por aquellos parajes.

## 7. Una cascada gigante

Como hemos dicho, hace 5,33 Millones de años se abrió casi de golpe lo que hoy es el estrecho de Gibraltar, produciéndose una gigantesca cascada, inimaginable hoy día. Se le llama geológicamente *inundación zancliense*, y dio fin a la crisis salina del Messiniense. Ya hemos visto que no se sabe a ciencia cierta qué provocó semejante cataclismo, pero sí tenemos evidencia de la inmensa catarata de más de un kilómetro de altura. Una altura mayor que la mayor cascada actualmente conocida, el Salto del Ángel, en Canaima, Venezuela.

De todos modos, aunque la diferencia de nivel de esta caída de agua nos da una idea de lo que fue aquella catarata torrencial de hace cinco millones de años, en cambio no es en absoluto comparable en lo referente al volumen de agua. Piénsese que la catarata de la foto tiene una anchura, al iniciar el salto, de unos pocos metros. En cambio, la que originó la reapertura del estrecho de Gibraltar tenía una anchura de varios kilómetros. Y se calcula que por ella pasaba un caudal equivale a unos 100 millones de metros cúbicos por segundo, de 500 a 1.000 veces más agua que la que acarrea al final de su recorrido el Amazonas, el río más caudaloso del mundo. Suficiente como para hacer subir el nivel del mar Mediterráneo, casi seco entonces, entre siete y diez metros diarios.

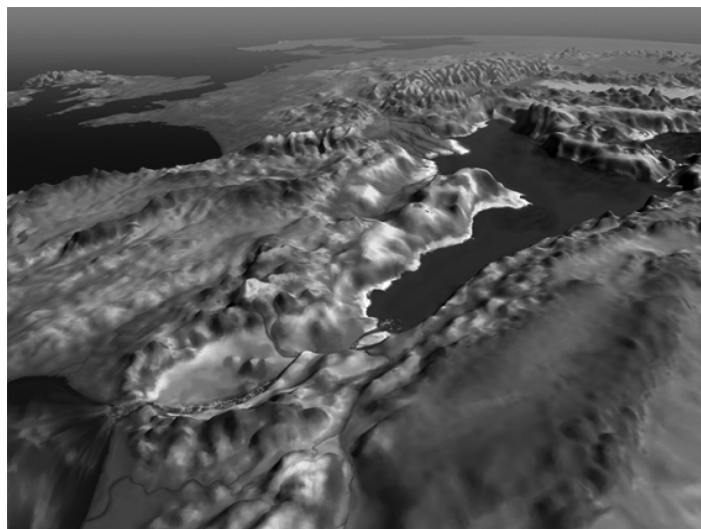
Y el *Mare Nostrum* alcanzó niveles comparables a los actuales en menos de un año... Resulta casi inconcebible; esta vez no hablamos en términos geológicos, millones de años, sino en periodos abarcables por la imaginación humana, años. Es decir, un instante fugaz en términos geológicos.

Figura 5. Espectacular imagen del Salto del Ángel venezolano, con 979 metros de altitud de caída



Fuente: Diego Delso (2007) (Wikipedia).

Figura 6. Recreación en 3D de la apertura del estrecho de Gibraltar y la inundación del Mediterráneo, hace 5,33 millones de años



Fuente: Roger Pibernat; CC-BY.

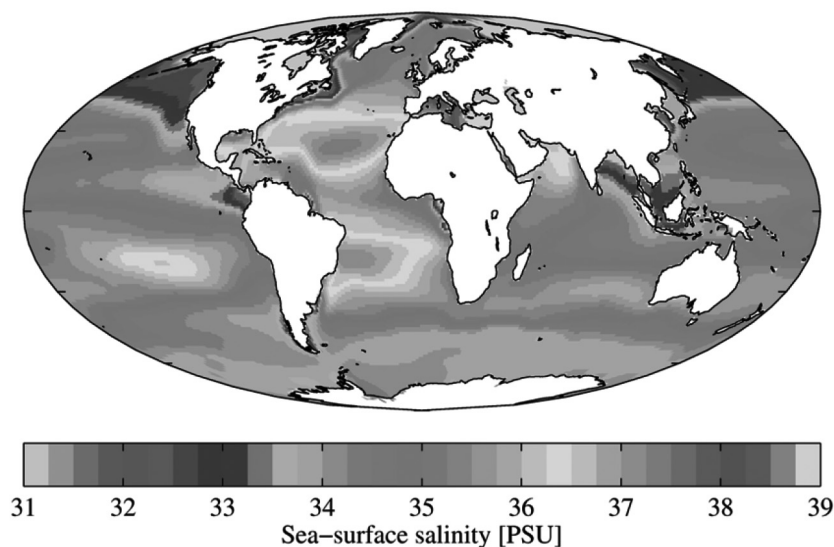
Muy interesante resulta igualmente la observación de los fondos marinos a uno y otro lado del Estrecho. El agua que circuló torrencialmente del Atlántico al Mediterráneo quizá no lo hizo en forma de gran cascada, sino que debió parecerse más a una especie de descenso rapidísimo, como un «megarrápido» con un flujo de agua a cientos de kilómetros por hora y durante varios meses.

Eso originó una intensa erosión tanto lateral, ensanchando el mar de Alborán, como sobre todo en profundidad, causando una especie de extenso pozo alargado con unos 200 kilómetros de longitud y varios kilómetros de anchura bajo ese mismo mar de Alborán. La zona es hoy más profunda que su equivalente en el golfo de Cádiz. El mismo Estrecho supone hoy un canal de unos 400 metros de profundidad media y zonas de casi 900 metros, con una anchura mínima de apenas 14 kilómetros.

## 8. La extrema salinidad del Mediterráneo actual

De entre todos los mares y océanos del mundo, el *Mare Nostrum* es, con mucho, el más salado.

Figura 7. Salinidad media anual en la superficie del planeta



*La región con mayor salinidad es la tropical, y dentro de ella destacan especialmente (por ser los únicos lugares con color rojo, más de 38 g/litro) los mares Mediterráneo y Rojo.*

Fuente: *World Ocean Atlas* (2009).

En esta comparativa no se incluye el Mar Muerto por su reducido tamaño, aunque debe parecerse mucho a lo que fueron aquellas lagunas hipersalinas residuales del Mediterráneo, hace más de cinco millones de años.

¿Por qué contiene hoy nuestro mar una salinidad tan elevada? En realidad, por razones muy parecidas a las que le hicieron secarse rápidamente cuando cesó el aporte de agua oceánica, hace unos diez millones de años, provocando la rápida salinización messiniense.

Y es que el régimen hidrológico de la cuenca mediterránea es muy deficitario, a pesar de verter en él algunos ríos muy caudalosos, como el Nilo y, en menor medida, el Danubio, el Ebro, el Ródano e incluso el Po. Ríos que ya vertían su agua dulce al mar antes de la crisis salina del Messiniense. Por eso, y a pesar de su reducida anchura, el estrecho de Gibraltar resulta crucial para el tránsito de agua en las dos direcciones, con un saldo global muy favorable al agua oceánica que entra sobre el agua mediterránea que sale.

Pero a pesar del importante intercambio de agua con el océano, el Mediterráneo sigue siendo un mar muy salado. Tanto que su agua, más cálida obviamente que la oceánica, no transita en el Estrecho por la superficie, como uno pudiera suponer debido a que el agua cálida pesa menos y flota sobre el agua fría. Por eso, y aunque resulte aparentemente paradójico, a pesar de ser más cálida el agua mediterránea es más pesada por su mayor densidad a causa de las sales disueltas que contiene.

Y así por el Estrecho pasa en superficie, de oeste a este, el agua oceánica fría pero poco salada. En profundidad, por el contrario, se establece una corriente, de menor caudal, en dirección este-oeste. Esta agua salada y cálida acaba siendo desviada a menudo hacia el norte, en función de las corrientes bastante constantes de la zona, más allá del golfo de Cádiz. De modo que acaba bañando las costas portuguesas para llegar a penetrar incluso en las profundas rías gallegas.

Curiosamente, las sabrosas ostras y los no menos apreciados mejillones de Galicia se nutren, en parte al menos, de las aguas mediterráneas...

## 9. El Mediterráneo hoy

Además de haber propiciado las más antiguas civilizaciones, básicamente la mesopotámica, asociada a los valles del Tigris y el Éufrates, y la egipcia ligada al Nilo, el *Mare Nostrum* de los romanos es hoy una realidad fecunda en cuanto a actividad humana por parte de los países ribereños.

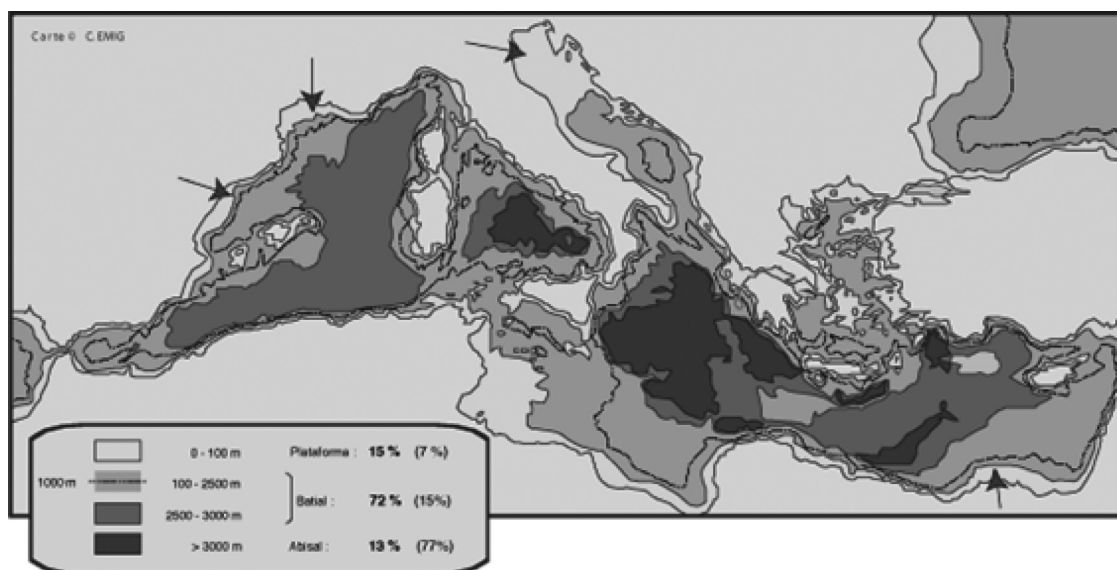
El turismo, la pesca, el transporte —potenciado enormemente con la apertura del canal de Suez en 1869, hace siglo y medio—, la agricultura e incluso el clima benigno se asocian para conferirle, en el pasado tanto como ahora, un carácter evidente de cuna de civilizaciones.



El Mediterráneo se encuentra localizado en la zona templada subtropical, situación geográfica que, unida al hecho de estar rodeado por extensas zonas de tierras continentales, le dota de un clima caracterizado por veranos cálidos y secos e inviernos moderados y poco lluviosos. Sus costas concentran una más que notable población ribereña y estable, a la que se une en épocas vacacionales una no menos numerosa población turística ocasional. Los países del norte son muy industrializados, lo que contrasta llamativamente con los países de las costas meridionales, esencialmente agrícolas y mucho menos desarrollados.

Es uno de los mares más grandes, aunque sigue siendo pequeño comparado con los océanos. Se extiende por una superficie de tres millones y medio de kilómetros cuadrados, lo que supone más o menos el 1 % del total de la superficie marina total, o sea el 0,7 % de la superficie total del planeta.

Figura 8. Mapa isobático del Mediterráneo



Fuente: Emig & Geistdorförfer (2004).

Su profundidad media algo menor de 1.400 metros que en el caso de dos fosas próximas al Peloponeso griego, pertenecientes a la profunda depresión del mar Jónico llamada fosa Helénica, superan los 5 kilómetros de profundidad. Los puntos más profundos son la fosa de Calipso, que baja hasta 5.270 metros; se encuentra a unos 60 km de la costa sur peloponesa, y la fosa de Matapan, cerca de la anterior pero más próxima al cabo de Ténaro, que baja hasta 5.121 metros.

El Mediterráneo suele subdividirse en pequeños mares, pero todos ellos están interconectados de forma amplia excepto, quizá, el mar Negro, al que solo puede accederse a través del

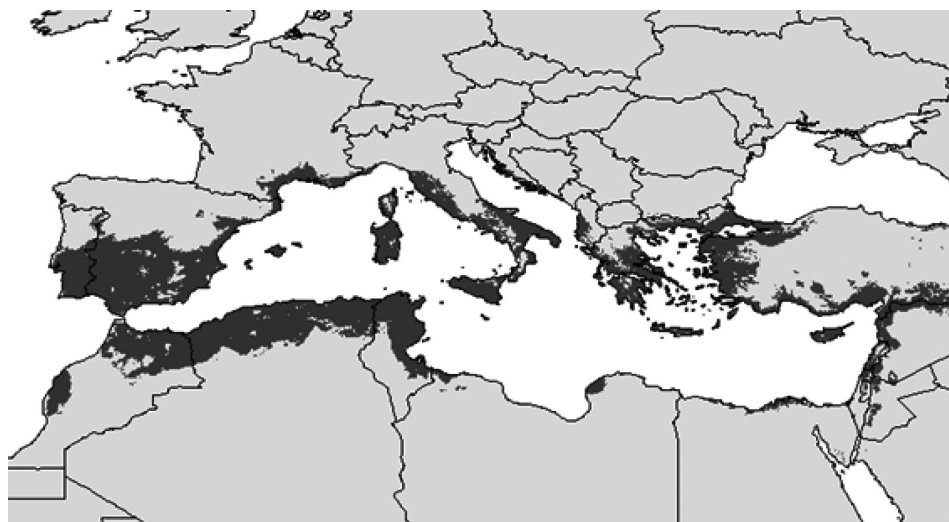
angosto mar de Mármara, que se comunica por el sur con el Mediterráneo a través del estrecho de los Dardanelos, y con el mar Negro a través del estrecho del Bósforo.

También existen numerosas islas; la de mayor tamaño es Sicilia, próxima a Italia de la que la separa el estrecho de Messina que le dio nombre a aquella dramática crisis salina de hace poco más de 5 millones de años. Mide algo más de 25.450 km<sup>2</sup>. Le siguen Cerdeña con 23.820, Chipre con 9.250, Córcega con 8.680, Creta con 8.335 y Mallorca con 3.640.

Las aguas del Mediterráneo son muy cálidas todo el año, a pesar del aporte atlántico de aguas bastante más frías. Su temperatura media anual oscila entre 18 y 22 grados, pero en agosto las costas israelíes superan los 28 en promedio. Pero en las costas de Nápoles, Tel Aviv y Chipre la temperatura media de agosto llega a más de 27, y en las de Valencia y Alejandría más de 26... Un mar cálido, sin duda, y con intensa evaporación, especialmente en verano.

Todas esas características singulares han dotado a la fauna y la flora de las regiones circundantes de un elevado grado de endemismo, lo que supone sin duda que estamos ante de una de las zonas del mundo con mayor concentración de biodiversidad marina y terrestre. En ello influyó toda su historia geológica reciente, desde el Messiniense, pero sobre todo el hecho de que por su clima benigno todo el ecosistema mediterráneo actuara como una zona de reserva. Más tarde, también el uso específico de unas tierras no muy fértiles, pero bien adaptadas a cultivos característicos –por ejemplo el olivo, evolución del acebuche original, o la vida, incluyendo la gran variedad de pescado y vegetales–, que acabaron dando origen a una de las dietas mundiales más reconocidas por su promoción de la salud, llamada precisamente así, dieta mediterránea.

Figura 9. Mapa esquemático de la distribución del olivo, uno de los mejores bioindicadores de la cuenca del Mediterráneo



Fuente: José Oteros (2014). Universidad de Córdoba.

Por lo que respecta a la fauna, la diversidad en el entorno mediterráneo es enorme, quizá tanto como la de los vegetales. De las 72 especies de anfibios que hay en la región, más de la mitad son endémicas. De las 179 especies de reptiles, más de un centenar son igualmente endémicas. Un 25 % de las 184 especies de mamíferos terrestres también lo son, y además 52 de ellas están amenazadas. Y en cuanto a las especies marinas mediterráneas casi un tercio están amenazadas.

La diversidad de aves es igualmente elevada, sobre todo porque el Mediterráneo costero y los humedales de las tierras interiores de la región están en el recorrido migratorio de numerosas especies aladas. Algunos cálculos estiman en más de 2.000 millones de aves migratorias, pertenecientes a más de 150 especies diferentes, las que se detienen en estas zonas durante su trayecto, estableciéndose en ellas temporal y a veces definitivamente.

## 10. ¿Y el futuro?

Este trabajo analiza solo la historia geológica pasada de esta zona del mundo, y sus implicaciones presentes para hacer de ella una zona extremadamente singular desde muy diversos puntos de vista. Pero nada impide elucubrar someramente en torno al futuro que le espera, a la región y a sus moradores racionales e irracionales.

En el corto plazo, decenios, quizá un siglo, hay problemas globales que nos van a afectar tanto como al resto del mundo. Desde la contaminación por plásticos y derivados petrolíferos, hasta los vertidos tóxicos industriales, agrícolas o domésticos, incluyendo entre esos impactos negativos el hecho de que la mayoría de los grandes ríos llevan ya poca agua dulce al mar por haberse constituido, a lo largo de sus respectivos recorridos, en repositorios de agua con fines agrícolas o de consumo, mediante una sucesión de embalses que, en la práctica, impiden el curso normal del río.

El agua dulce de los ríos que llega al mar no se «tira» o «desperdicia», como a menudo se escucha en boca de personas de distintos niveles culturales y, lo que es peor, de políticos y periodistas de uno u otro signo. Esa agua dulce fertiliza al mar, le ayuda a mantener su salinidad en sus cotas habituales, que ya son muy altas en el caso del Mediterráneo. No entenderlo así se puede considerar como una conducta suicida, de «pan para hoy y hambre para mañana».

Tampoco es pequeño enemigo el calentamiento global, que si afecta a esta región en cifras similares a las que se barajan en promedio para todo el mundo, no arreglarán nada las cosas en un mar que ya es de por sí muy cálido.

Ni puede ser bueno en modo alguno que nos invadan especies foráneas, muchas de ellas destructoras de nuestros hábitats y especies endémicas; eso está ocurriendo, curiosamente, en mayor medida desde la apertura del canal de Suez.

Una reciente investigación realizada por la experta israelí Bella Galil, de la Universidad de Tel Aviv, cifra en 775 las especies invasoras de todo tipo que han contaminado el Mediterráneo Oriental procedentes de Suez, y ya antes otro estudio del *Joint Research Center (JRC)* de Ispra, en Italia, estimaba en más de mil esas especies para el conjunto de todo el *Mare Nostrum*. Los más numerosos de entre esos invasores son los moluscos, casi la cuarta parte...

No es un panorama halagüeño. Menos mal que la legislación europea ha comenzado a tomar cartas en el asunto, quizá tarde pero menos es que nada. Desde la Directiva Hábitat del 92 ampliada luego en el 97, hasta el establecimiento de las conocidas LICs (Localizaciones de Interés Comunitario) y ZEC (Zonas Especiales de Conservación, además de las ZEPAs para las aves, y todas ellas coordinadas por la RED NATURA 2000.

También cabe citar el convenio RAMSAR, para la conservación de humedales, y el Protocolo sobre Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica en el Mediterráneo, según el cual los países han de establecer las ZEPIM (Zonas Especialmente Protegidas de Importancia Mediterránea) en las zonas marinas y costeras.

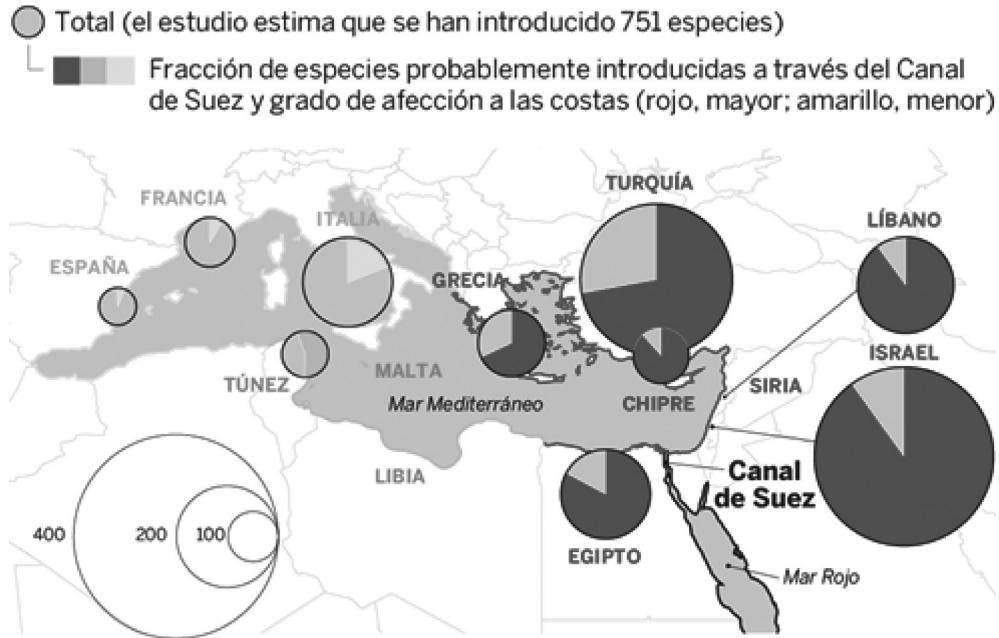
Quizá no sea suficiente, pero es un buen comienzo...

Lo malo es que, si nos vamos a plazos más largos, estos sí claramente geológicos, las cosas no pintan nada bien para el Mediterráneo. Su actual superficie de más de 2,5 millones de km<sup>2</sup> y sus 46.000 km de litoral se irán reduciendo poco a poco hasta punto que, dentro de unos cuantos millones de años, todo ello habrá desaparecido por completo. No por desecación, como ocurrió hace 7 millones de años, sino por pura y simple absorción por las tierras africana y europea que se van acercando con cierta rapidez de año en año.

Pero conviene recordar algo que ya debería haber quedado patente en las líneas que preceden: esto que decimos se mide en tiempos geológicos, en millones de años. Nada que deba preocuparnos a nosotros, ni a nuestra descendencia próxima, que nos guiamos por medidas de tiempo muchísimo más breves, días, meses, años, siglos... y poco más.

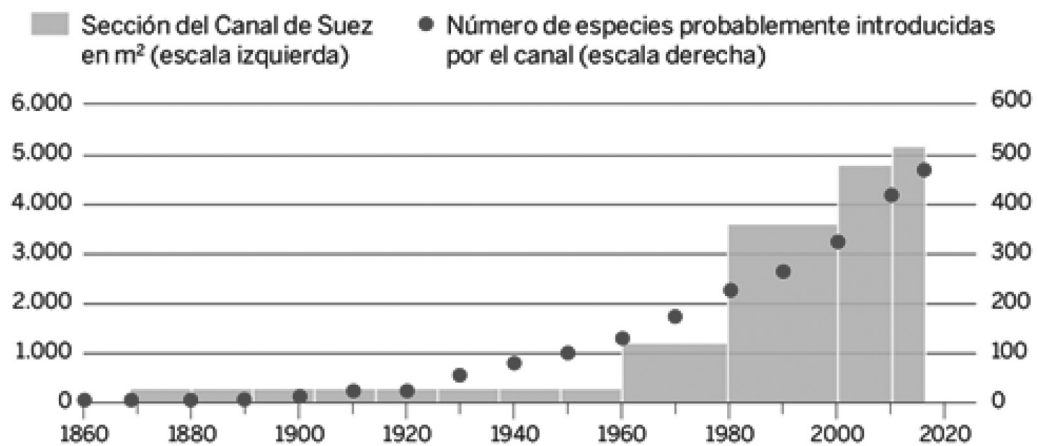
Los problemas más de ahora, propios de nuestra desaforada civilización industrializada y desperdiciadora de bienes y recursos, son los que deben preocuparnos de forma prioritaria y urgente. En una humanidad que crece exponencialmente, y que sigue teniendo mil millones de congéneres nuestros literalmente muertos de hambre y sin agua potable que beber, estos problemas tienen una dimensión temporal que nada tiene que ver con la lentitud de los procesos geológicos. Otra cosa es que los humanos seamos capaces de afrontar semejante reto...

**Figura 10. Especies marinas alóctonas en el Mediterráneo. Plantas macrófitas, invertebrados y peces**



Fuente: *El País* (2017).

**Gráfico 2. Ampliación del Canal de Suez y nuevas especies detectadas**



*Sorprendente importancia del canal de Suez a la hora de favorecer la invasión de especies ajenas al hábitat mediterráneo. «El Mediterráneo sufre la mayor invasión biológica del planeta».*

Fuente: Joana Oliveira. *El País* (2017).





# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS MARES

*Javier Martín Vide*

Catedrático de Geografía Física de la Universidad de Barcelona

## Resumen

Los océanos ocupan el 71 % de la superficie y contienen el 97 % del agua planetaria. Constituyen una importante componente del sistema climático, como fuente de vapor de agua y de calor latente, enorme reservorio de calor y sumidero de CO<sub>2</sub>. Poseen una dinámica, como la circulación termohalina y el fenómeno de El Niño, que condiciona los climas del planeta. El cambio climático, inequívoco, tiene su máxima expresión en el calentamiento global, que ha causado la elevación del nivel del mar y la acidificación de sus aguas. En la cuenca del Mediterráneo el aumento de temperatura es aún algo más visible que en el conjunto del planeta.

## Abstract

*The oceans occupy 71 % of the Earth's surface and contain 97 % of the water on the planet. They are an important component of the climate system, as a source of water vapour and latent heat, a huge heat reservoir and a CO<sub>2</sub> sink. They have their own dynamics, such as thermohaline circulation and the El Niño phenomenon, which affect the planet's climates. Climate change, now beyond dispute, is most apparent in global warming, which has caused a rise in sea levels and acidification of ocean waters. In the Mediterranean basin, the rise in temperature is even more noticeable than on the planet as a whole.*

## 1. Introducción

### 1.1. El agua y el sistema climático

Cuando se está buscando agua en los planetas y satélites del sistema solar, como indicio de posible existencia de vida o porque sin agua es impensable la vida, si algún día los humanos nos viéramos obligados a emigrar de la Tierra, en nuestro planeta la presencia del preciado elemento es evidente desde el espacio exterior, con el blanco de las nubes y, sobre todo, con el azul de los océanos. En efecto, la Tierra es un planeta abundantísimo en agua, que se estima en  $1,4 \cdot 10^{21}$  kg (es decir, 1.400 millones de km<sup>3</sup>). Los mares y océanos contienen el 97 % del total de agua y ocupan el 71 % de la superficie del planeta, condicionando sus climas. En la Tabla 1 se presentan los datos básicos de los cinco océanos del planeta.

Tabla 1. Datos físicos de los océanos

Océano	Superficie (millones de km <sup>2</sup> )	Profundidad media (m)	Profundidad máxima (m)
Pacífico	155.557	2.970	10.924
Atlántico	76.762	3.646	8.605
Índico	68.556	3.741	7.258
Ártico	14.056	1.205	5.607
Del Sur (aguas marinas al sur del paralelo 60° S)	20.327	3.270	7.235

Fuente: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/oo.html>.

Si en el pasado hablar de clima era referirse casi exclusivamente al comportamiento estructural de la atmósfera, desde hace unas décadas se prefiere hablar de sistema climático. Este es un complejo sistema compuesto por cinco componentes o subsistemas naturales relacionados entre sí por cuantiosos flujos de energía y materia. La atmósfera es solo una de las componentes del sistema climático, siendo las otras: la hidrosfera, fundamentalmente el océano; la superficie sólida emergida, a veces denominada litosfera; la biosfera, principalmente la vegetación; y la criosfera, constituida por las capas de hielo y nieve, sobre todo, la Antártida y Groenlandia. De hecho, el sistema climático es el mismo sistema natural o sistema Tierra. Las componentes marina, litosférica, biosférica y criosférica tienen una importante influencia en el comportamiento de la atmósfera, por tanto, en el tiempo atmosférico y el clima.

El océano es decisivo en los procesos atmosféricos. Por ocupar el citado 71 % de la superficie de la Tierra podría decirse, con un juego de palabras, que el planeta que habitamos no es el planeta Tierra, sino el planeta *Agua*. Lo más importante, sin embargo, son los flujos de vapor de agua y de calor entre las aguas oceánicas y la atmósfera. Los océanos tropicales son, por ejemplo, la principal fuente de vapor de agua de la atmósfera. Del mismo modo, hay una cuantiosa transferencia energética, en forma de calor latente, desde la superficie marina al aire que descansa sobre ella cuando el agua se evapora. Como la evaporación del agua marina depende de la temperatura de la superficie del mar, así como esta, si es elevada, inestabiliza la columna de aire al calentarla por su base, o, si es fría, la estabiliza al enfriarla, la citada variable térmica es decisiva para explicar el comportamiento de la atmósfera a escalas espaciales variadas. De esta manera, cuando las aguas marinas presentan en superficie una anomalía térmica positiva, es decir, se muestran más cálidas de lo que es normal para el área y la época del año, como ocurre en la cuenca del Mediterráneo en otoño, tras un largo y soleado verano, la llegada de una colada de aire frío puede causar precipitaciones torrenciales. El caso es que ese mar cálido aporta mucho vapor de agua y el consiguiente calor latente, al tiempo que también calienta de forma sensible por su base el aire que llega, lo que le permite elevarse de forma enérgica. Por el contrario, en los mares fríos, afectados por corrientes marinas de carácter frío o por afloramientos de agua fría profunda, o *upwelling*, suele haber nieblas, pero pocas veces llueve, dado que el aire frío en contacto con esas aguas frías es denso y no experimenta ascensos y nubosidad de gran desarrollo vertical, capaz de producir precipitaciones importantes. Los



citados afloramientos de agua fría profunda se producen en áreas costeras batidas por vientos terrales, es decir, de tierra hacia mar. Esos vientos arrastran agua del litoral mar adentro, que debe ser sustituida por agua que aflore de las profundidades, más fría por tanto. Estos fenómenos son muy llamativos en las costas pacíficas de Sudamérica, en Chile, Perú y parte de Ecuador, recorridas por la corriente de Humboldt, aproximadamente paralela a la costa, de sur a norte, que comporta aguas realmente frías procedentes de latitudes altas australes, junto con el *upwelling* que producen los vientos alisios que arrastran agua desde las citadas costas hacia las latitudes ecuatoriales de la margen opuesta del Pacífico, al nordeste de Australia, Nueva Guinea e Indonesia. Por ello, el norte de Chile, parte de Perú y otra de Ecuador al sur de Guayaquil son áreas desérticas, localizándose en el primer país el desierto de Atacama, que abarca los lugares del mundo donde menos llueve en promedio.

## 1.2. Algunas propiedades del agua

El agua tiene algunas propiedades fisicoquímicas que refuerzan la influencia de los océanos en el clima terrestre. Una de las más destacadas es el alto calor específico del agua (1 cal/g·K). Dicho de otro modo, a una determinada porción de agua, sea en masa o en volumen, hay que aportarle mucho calor para que eleve su temperatura en una determinada cuantía, en relación con otras sustancias naturales. Un gramo de agua requiere una caloría para aumentar su temperatura en 1 °C. Del mismo modo, al agua le cuesta enfriarse. Es por ello, por esa inercia térmica, que las masas de agua producen un efecto termorregulador sobre los espacios litorales e insulares, donde la temperatura varía relativamente poco entre el día y la noche y entre el invierno y el verano, en comparación con los ámbitos interiores, continentales, en los que los contrastes térmicos son mucho más acusados. Esa inercia térmica es la que hace que a principios de junio el agua de las costas españolas aún se sienta fría, mientras que entrados en el otoño todavía el baño pueda ser agradable.

Otra propiedad del agua con notables implicaciones en el clima de la Tierra es el hecho de que su máxima densidad se produce a unos 4 °C. Por encima de este valor, el agua es menos densa y por debajo, también. Así, el hielo, con temperatura negativa, flota sobre el agua líquida fría. La repercusión de esto es que nunca los fondos oceánicos se congelan, nunca los mares se hielan en todo su espesor, porque el agua más densa, la que ocupa las capas profundas y los fondos marinos es la que tiene unos 4-5 °C, por tanto líquida. Por este motivo, solo una capa superficial del mar se hiela en las latitudes altas, especialmente en invierno, quedando el resto de la columna oceánica en estado líquido. ¡Qué diferente sería el clima del planeta si los océanos se congelaran en todo su espesor!

Vinculado con todo lo anterior, las aguas marinas presentan una fuerte estratificación, con el agua más cálida, y más liviana, cerca de la superficie y el agua líquida más fría en profundidad. Existe una frontera, o, con más propiedad, zona de transición, entre ambas, denominada termoclina, que se sitúa a unos 80-150 metros de profundidad. Esta estratificación impide

la mezcla de las aguas profundas ricas en nutrientes y pobres en oxígeno con las superficiales mucho más movidas y oxigenadas. Solo avanzado el invierno, cuando la temperatura del aire ha sido baja, las capas marinas superficiales ya enfriadas pueden romper la termoclina y mezclarse con las inferiores.

### *1.3. Los océanos en los Objetivos del Desarrollo Sostenible*

En 2015 Naciones Unidas propone los llamados Objetivos del Desarrollo Sostenible, u ODS, diecisiete, que deberán ser alcanzados en 2030. Se trata de logros y metas para resolver los problemas más graves de la humanidad, entre ellos, por ejemplo, erradicar el hambre en el mundo o universalizar el acceso al agua potable. Uno de los ODS, el 14, ‘Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible’, se enfoca hacia la conservación del océano y sus recursos. El caso es que los océanos no son solo una componente de primer orden del sistema climático, sino además fuente de vida y de alimento para un porcentaje muy estimable de la humanidad. Algunos hechos que hablan por sí solos de la importancia de los océanos se resumen en la Tabla 2.

Las metas de este ODS se centran en prevenir y reducir la contaminación marina, gestionar y proteger los ecosistemas costeros y marinos, afrontar la acidificación del océano, recuperar las poblaciones de peces y otros animales marinos, prohibir los incentivos a ciertas formas de pesca insostenibles y, en cambio, favorecer otras de tipo artesanal, proteger específicamente algunas áreas marinas y costeras, incrementar el conocimiento y la tecnología marinas y, en conjunto, aumentar los beneficios que suministra el océano con un uso sostenible del mismo.

Tabla 2. Datos destacados sobre la importancia de los océanos desde el punto de vista del desarrollo sostenible

- Los océanos cubren cerca de las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, contienen el 97 % del agua del planeta y representan el 99 % del espacio habitable del planeta en volumen.
- Más de 3.000 millones de personas dependen de la biodiversidad marina y costera para su sustento. Los océanos sirven como la mayor fuente de proteínas del mundo.
- A nivel mundial, el valor de mercado de los recursos marinos y costeros, y su industria, se estima en 3 billones de dólares por año o alrededor del 5 % del PIB mundial.
- Los océanos contienen casi 200.000 especies identificadas, pero las cifras reales pueden ser de millones.
- Los océanos absorben alrededor del 30 % del dióxido de carbono producido por los humanos, amortiguando los impactos del calentamiento global.
- La pesca marina emplea directa o indirectamente a más de 200 millones de personas.
- Los subsidios a la pesca están contribuyendo al rápido agotamiento de muchas especies y están impidiendo los esfuerzos para salvar y restaurar la pesca mundial y los empleos asociados a esta, causando que la pesca oceánica genere 50.000 millones de dólares menos por año de lo que podría.
- En mar abierto los niveles actuales de acidez de las aguas suponen un aumento de un 26 % respecto al comienzo de la revolución industrial.
- Las aguas costeras se están deteriorando debido a la contaminación y la eutrofización. Sin esfuerzos coordinados, se espera que la eutrofización costera aumente en un 20 % en los grandes ecosistemas marinos para el año 2050.

Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>.

## 2. El cambio climático actual por causa del reforzamiento antrópico del efecto invernadero

La Tierra tiene una circunferencia ecuatorial de poco más de 40.000 km, distancia que llevamos en el cuentakilómetros de nuestros automóviles poco años después de su compra. El planeta se nos ha hecho pequeño, tal es nuestra capacidad de movilidad y de impacto sobre el medio. Y, además, lo habitamos ya 7.500 millones de humanos, cada día consumiendo una enorme cantidad de recursos y generando un ingente volumen de residuos. No es raro pensar que comenzamos a alterar las componentes del sistema climático no solo a una escala local,

lo que hicimos siempre para obtener recursos de nuestro entorno, sino a una escala global. La primera manifestación y la más visible de la alteración antrópica en el sistema Tierra es el calentamiento global. Desde finales de los años 70 del siglo XX la temperatura media global del aire en superficie ha experimentado un claro aumento, de modo que los años más cálidos desde que existen registros instrumentales son los más recientes. Otros indicadores naturales son consistentes también con el calentamiento que delatan las series climáticas convencionales, tales como el aumento del nivel del mar y el retroceso casi generalizado de los glaciares. Desde 1880 a 2012 la temperatura media global del aire en superficie se ha elevado en 0,85 °C (IPCC, 2014), lo que a resolución planetaria es un cambio sustancial. Regionalmente es la cuenca del Ártico la que está experimentando un aumento térmico más acusado, debido a una mayor absorción de radiación solar cuando el hielo marino se funde. El hielo y la nieve tienen un alto albedo, es decir, una elevada capacidad de reflexión de la radiación solar, que disminuye drásticamente cuando pasa a estado líquido. También la cuenca del Mediterráneo es un *hot spot*, con un aumento de la temperatura superior a la global, por sus especiales condiciones geográficas, de mar casi cerrado y rodeado por relieves notables.

El cambio climático no es una novedad. El planeta que habitamos ha pasado ya por numerosos cambios climáticos, algunos de mucha mayor magnitud que el actual. Sus causas han sido externas o endógenas. Entre las primera está, sin duda, el Sol. De él recibimos una cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, principalmente de onda corta, sobre todo la luz, que denominamos constante solar y que supone casi 2 calorías por centímetro cuadrado en un minuto en el límite superior de la atmósfera, perpendicularmente a los rayos solares. Este valor no es exactamente constante, sino que varía algo en función de la actividad del Sol como estrella. Puede darse un mayor o menor número de manchas solares, en correspondencia con más o menos actividad del astro rey, respectivamente; hay de vez en cuando mínimos solares, durante los cuales disminuye un poco la constante solar, etc. Todo ello ocasiona variabilidad y cambios climáticos en el planeta. Igualmente, los llamados ciclos orbitales de la Tierra, con unas variaciones periódicas en la inclinación del eje polar, en la excentricidad de la órbita del planeta alrededor del Sol, etc. han dado lugar a cambios climáticos, como las glaciaciones cuaternarias. Estos factores vinculados al Sol seguirán también en el futuro siendo causa de cambio climático.

Las causas endógenas son de tipo geológico, como la actividad volcánica y la dinámica de placas. Después de las grandes erupciones volcánicas, sobre todo de volcanes localizados en latitudes tropicales, la ceniza y, en general, el material volcánico inyectado en la estratosfera, y repartido por gran parte del planeta, reduce la transparencia atmosférica, de modo que desciende algo la temperatura. Así ocurrió tras la enorme erupción del Pinatubo, en las islas Filipinas, en 1991.

El reparto de las tierras y mares no ha sido siempre el mismo. Los polos norte y sur, aun cuando con una cierta simplificación infantil, a partir del globo terráqueo escolar, parecen iguales, 'blancos' y fríos, son muy diferentes. El polo norte se sitúa en una cuenca marina, la del Ártico, con una corteza de hielo relativamente frágil y en franca regresión desde hace unas

décadas. No es aventurado decir que hacia mediados del presente siglo, si no antes, quedará libre de hielo una ruta marítima a través del Ártico avanzado el verano boreal. El polo sur, por el contrario, se localiza en el corazón de un gran continente, la Antártida, con una elevada altitud media, y con un espesor de hielo continental de unos 3.000 metros. La idea de simetría en el caso de los polos del planeta Tierra es, por tanto, engañosa. Es una casualidad que tengamos en este momento de la historia geológica del planeta dos polos helados. El sur, sin duda, lo está y estará por la localización en un continente; el norte tiene hielo, aunque en clara reducción, porque la cuenca del Ártico está relativamente cerrada a las corrientes marinas cálidas procedentes de latitudes bajas y medias, por lo que su efecto calentador es relativamente reducido. El agua del océano Pacífico apenas puede entrar en el Ártico dado que Asia y América están casi unidas por el estrecho de Bering. Las aguas atlánticas tienen más posibilidades de penetrar en el Ártico, aunque tampoco existe una gran abertura entre Islandia, el nordeste de Canadá, Groenlandia, etc. En todo caso el clima del planeta sería muy diferente si las altas latitudes australes no estuvieran ocupadas por un gran continente, como se ha dado en el pasado.

Las causas naturales descritas han producido cambios climáticos y los seguirán ocasionando en el futuro. Pero ahora hay una nueva causa capaz de cambiar el clima del planeta: el ser humano con sus actividades perturbadoras del medio, en especial con las emisiones de gases de efecto invernadero que produce. La certidumbre de que los humanos estamos detrás del calentamiento actual se ha ido reforzando a la luz de las nuevas investigaciones (Tabla 3). No solo hay que admitir que vivimos en un planeta y en un país más cálidos que tres o cuatro décadas atrás, sino que tal cambio es fruto de nuestro impacto desmesurado en el sistema climático.

Tabla 3. Aumento de la certidumbre de la causa antrópica en el calentamiento global

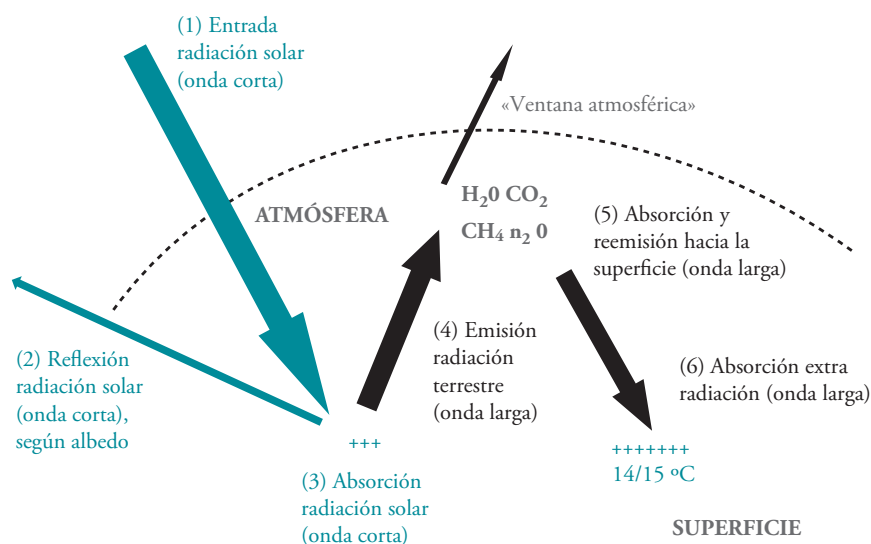
IPCC		Nivel de confianza
Tercero (2001)	«Es probable que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se deba al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero».	66 %
Cuarto (2007)	«Es muy probable que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias globales desde mediados del siglo XX se deba al incremento observado en las concentraciones de los gases de efecto invernadero antropogénicos».	90 %
Quinto (2014)	«Es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX».	95 %

Fuente: IPCC tercero (2001), cuarto (2007) y quinto (2014).

El efecto invernadero, asociado al cambio climático es, en realidad, un efecto natural en el planeta Tierra. Entre los gases de la troposfera hay algunos que producen el citado efecto cuya presencia es del todo natural, como el CO<sub>2</sub> o el vapor de agua. El efecto invernadero se esquematiza en la Figura 1. Los gases de efecto invernadero son transparentes a la radiación solar, que es de onda corta, dejándola pasar. Al alcanzar la superficie del planeta una parte es absorbida por ella, mientras que otra es reflejada. La absorción de radiación por la superficie conlleva su calentamiento. De acuerdo a él, la superficie emite radiación hacia la atmósfera, que es de onda larga, por tratarse de un cuerpo relativamente frío (los cuerpos con una tem-

peratura superficial muy alta, como el Sol, emiten una gran cantidad de energía y de onda corta, mientras que los relativamente fríos, como la superficie terrestre, emiten mucha menos cantidad y de onda larga). Los gases de efecto invernadero, como los citados o el metano y el óxido nitroso, tiene capacidad para absorber una parte importante de la emisión de onda larga terrestre, reemitiéndola de nuevo hacia la superficie, por lo que esta experimenta un calentamiento adicional. Este es el efecto invernadero, que da al aire de la superficie de la Tierra una temperatura media de entre 14 y 15 °C, agradable para la vida humana. Sin el efecto invernadero, es fácil calcular que la temperatura cerca del suelo sería de -19 °C. Por tanto, el efecto invernadero hace nuestro planeta 'confortable' en superficie. Sin embargo, desde el inicio de la revolución industrial estamos inyectando en la atmósfera un plus de CO<sub>2</sub>, el que se desprende de la combustión de los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural, así como de otros gases con un efecto similar. De esta manera, el efecto invernadero se refuerza, aumentando, como resultado, la temperatura de la superficie del planeta. He aquí el calentamiento global.

Figura 1. Esquema del efecto invernadero

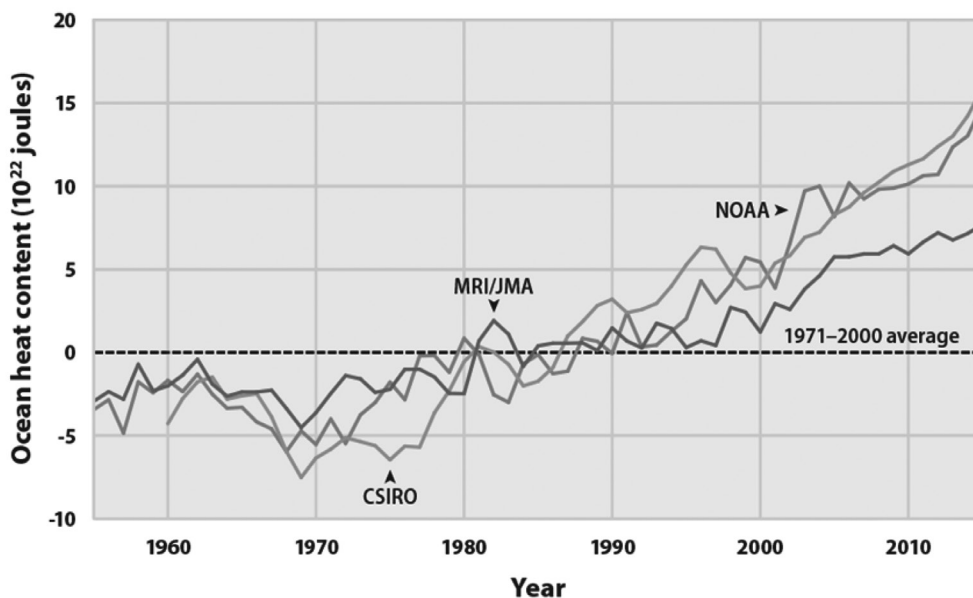


### 3. El reservorio de calor del océano y su calentamiento

Como se ha dicho anteriormente, el agua tiene una elevada capacidad calorífica, de ahí que los océanos almacenen una cantidad de calor inmensa, y así es. El océano actúa como un extraordinario acumulador de calor. Contiene unos 10<sup>23</sup> julios (J), (1 J = 0,24 calorías). En el Gráfico 1 se muestran los cambios en el contenido de calor del océano entre 1955 y 2015, con referencia al promedio del período 1971-2000 (que es el nivel cero), según tres centros de investigación (la NOAA estadounidense, la CSIRO de Australia y el MRI / JMA japonés). Un aumento de 1 unidad en el gráfico (1 x 10<sup>22</sup> julios) es aproximadamente 18 veces la cantidad

total de energía utilizada por todos los humanos del planeta en un año. Como se aprecia, las tres estimaciones coinciden en mostrar una evolución creciente desde la segunda mitad de los años 70 del siglo pasado.

Gráfico 1. Evolución del contenido de calor de los océanos (1955-2015)



<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ocean-heat>

<https://www.epa.gov/sites/production/files/styles/large/public/2016-07/ocean-heat-download1-2016.png>

Fuente: CSIRO (2016); MRI/JMA (2016); NOAA (2016).

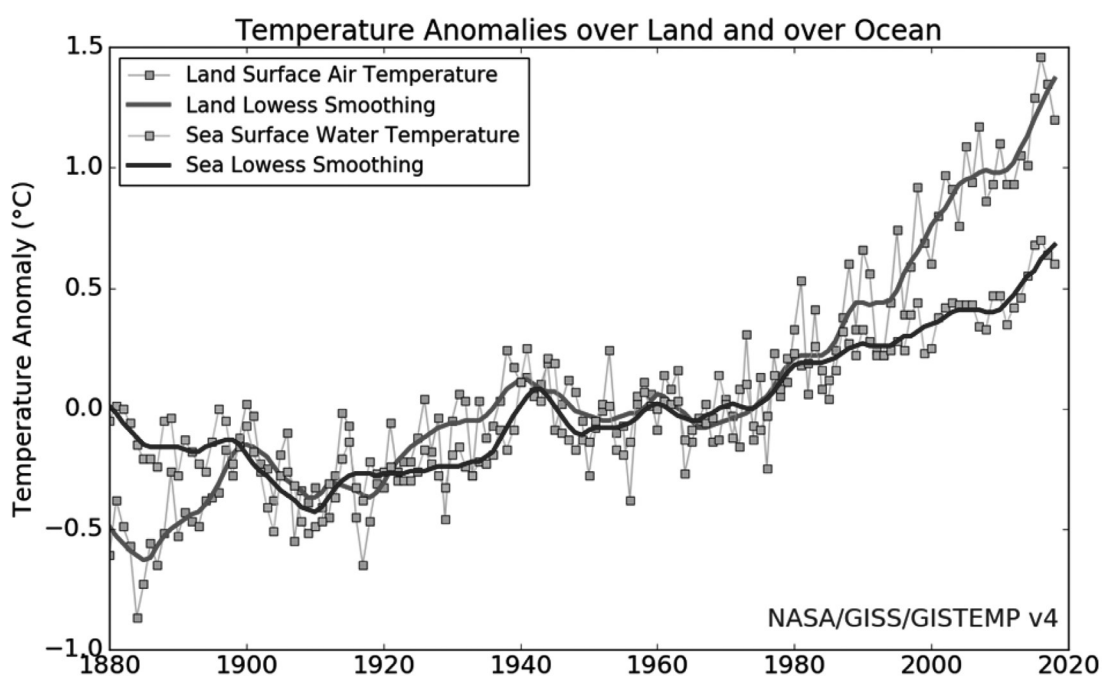
El aumento del contenido de calor en el océano ha producido un claro incremento de la temperatura del agua superficial. En el Gráfico 2 se representan las anomalías anuales de la temperatura del aire de la superficie emergida y de la de las aguas oceánicas superficiales no heladas. Como se aprecia, la temperatura del aire sobre los continentes ha experimentado un mayor aumento que la del océano superficial, como es normal, por la mayor capacidad calorífica del agua.

Uno de los efectos más visibles del calentamiento de las aguas oceánicas es la drástica reducción de la superficie helada del océano Glacial Ártico hacia finales del verano boreal, lo que augura una ruta libre de hielo a través del Polo Norte en pocas décadas, apta para el comercio marítimo. De unos 14 millones de km<sup>2</sup> en los años 70 del siglo pasado en la citada época del

año se ha pasado a la mitad en la actualidad. Por este motivo la cuenca del Ártico es la región planetaria donde la temperatura ha experimentado un mayor aumento.

El calentamiento de las aguas marinas incide en la vida en el océano, dependiendo de los umbrales térmicos de cada especie viva. La proliferación de especies exóticas de mares cálidos en latitudes extratropicales es, por ejemplo, uno de los efectos del calentamiento de los océanos.

Gráfico 2. Evolución de las anomalías de temperatura del aire sobre la superficie emergida y de las aguas oceánicas superficiales, respecto al período 1951-1980, desde 1880 a 2018



Fuente: [https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/graph\\_data/temperature\\_anomalies\\_over\\_land\\_and\\_over\\_ocean/graph.png](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/graph_data/temperature_anomalies_over_land_and_over_ocean/graph.png)

#### 4. El aumento del nivel del mar

La fusión de los hielos continentales –no del hielo marino, que, al fundirse, no produce la elevación del nivel del mar, como ejemplifica un cubito de hielo flotando en el agua líquida rebosante en un vaso– contribuye al aumento de nivel marino. Pero este hecho, ya constatado, tiene otra causa, tan importante o más que la fusión del hielo continental: el aumento de volumen del agua líquida cuando su temperatura se eleva, es decir, la pérdida de densidad, lo que se traduce en la expansión térmica del agua.



En la actualidad el aumento medio global del nivel del mar está entre 3 y 4 mm por año. No parece mucho, pero supondría, de persistir, entre 3 y 4 cm en una década y entre uno y medio y dos palmos en un siglo. Probablemente la elevación se acelerará con la fusión de grandes volúmenes del hielo de Groenlandia y de otros ámbitos fríos. Aunque la elevación sea decimétrica, el impacto en las costas es considerable, por la erosión y pérdida de arena de las playas, la salinización, por intrusión salina, de los acuíferos litorales, el mayor impacto de los temporales marinos, etc.

## 5. La acidificación del océano

El océano es un gran sumidero de  $\text{CO}_2$ . Gracias a él la concentración de este gas en la atmósfera y el aumento consiguiente de la temperatura del aire, aun siendo considerables, alcanzan valores apreciablemente inferiores a los de una Tierra sin océanos. Más de una cuarta parte del  $\text{CO}_2$  emitido a la atmósfera es disuelto en las aguas oceánicas, estimándose que desde el inicio de la revolución industrial han absorbido unas 525 mil millones de toneladas, hoy unos 22 millones de toneladas por día (Smithsonian Institution, <https://ocean.si.edu/ocean-life/invertebrates/ocean-acidification>). Como consecuencia de ello, las aguas marinas se tornan más ácidas, o, dicho de otro modo, disminuye su pH, que es la medida del grado de acidez o basicidad de una disolución: cuanto más bajo, más ácida. El proceso químico es relativamente simple, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{O}$  se combinan dando lugar a ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que, aun siendo un ácido débil, aumenta la acidez de las aguas oceánicas. Hay que precisar que el agua oceánica no es ácida (su pH está por encima de 7, que es el umbral por debajo del cual se habla de ácido), pero su pH está disminuyendo de forma rápida.

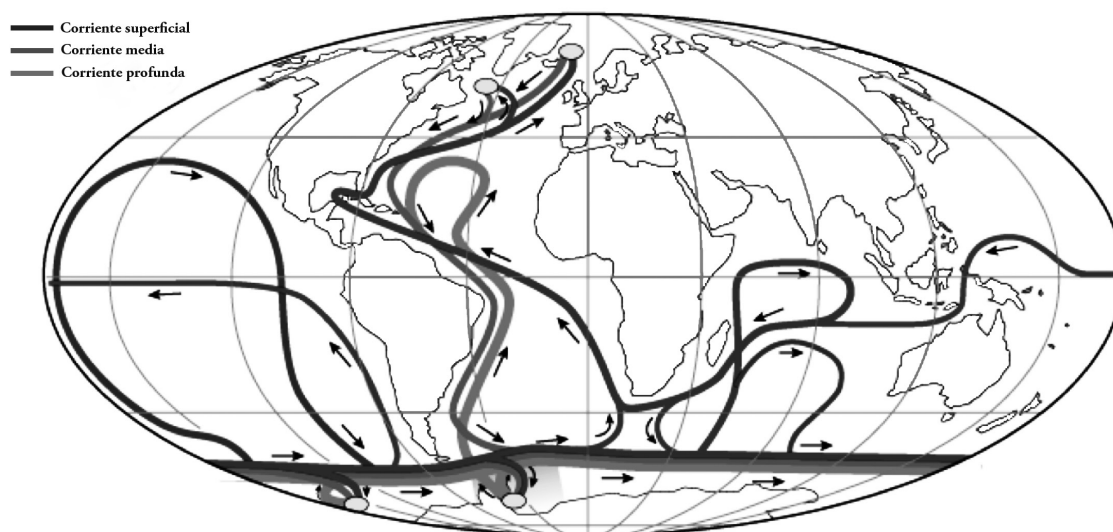
Las consecuencias de esto para la vida marina pueden ser graves, en especial para los animales con estructuras calcáreas, como los corales, y conchas. La composición química de estas es carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), fácilmente atacable por el ácido carbónico. El cambio climático, pues, afecta a la vida marina.

## 6. La circulación termohalina

Las corrientes marinas tienen dos orígenes posibles: la tracción del viento sobre la superficie acuática y la circulación termohalina. La segunda se debe a las diferencias de densidad del agua del mar, que dependen de la temperatura y la salinidad. Así, el agua líquida fría es, como se ha dicho, más densa que la cálida y el agua más salina tiene también más densidad que el agua dulce o menos salina. Por tanto, las aguas más densas son las frías y salinas. La circulación termohalina es compleja y supone el desplazamiento de enormes volúmenes de agua alrededor de los océanos del mundo.

En la Figura 2 se presenta uno de los esquemas de la circulación termohalina más conocidos. Las áreas de formación de agua fría profunda se localizan en las altas latitudes boreales, como en las proximidades de la península del Labrador, en Canadá, y en sectores del Ártico, y en otras junto a la Antártida, porque al congelarse el agua precipitan las sales, que elevan su concentración en el agua líquida fría que queda. Ello inicia una especie de gran cinturón de aguas profundas, que, dependiendo de condicionantes físicos y climáticos, emerge, de manera que hay tramos y ramales superficiales cálidos y otros fríos profundos o muy profundos. La corriente del Golfo, que dulcifica el clima de Europa occidental, al aportar aguas cálidas del golfo de México a las costas atlánticas europeas, forma parte de la circulación termohalina, aunque tiene también origen en la circulación atmosférica, apoyada en los vientos dominantes del suroeste alrededor del gran anticiclón de las Azores.

Figura 2. Esquema de la circulación termohalina global



<https://serc.carleton.edu/details/images/87077.html>

Fuente: Rahmstorf (2002).

El deshielo del Ártico aporta agua con menos concentración de sales, por tanto, menos densa, con lo que la formación del agua fría profunda de las latitudes altas boreales puede disminuir y, con ello, debilitarse el gran cinturón de la circulación termohalina. Ello tendría consecuencias en los climas de algunas regiones del mundo.

Las corrientes marinas, sean cálidas o frías, y, en general, la temperatura de las aguas del mar, condicionan decisivamente los climas de los ámbitos litorales y prelitorales, y de las islas. En el caso citado de la corriente del Golfo produce una acusada disimetría entre la temperatura de las costas occidentales de Europa y las orientales de América, para una misma latitud, como ejemplifican las temperaturas medias anuales del aire de Oporto y Nueva York, a una latitud parecida, de dos grados centígrados inferior la segunda, y con un invierno crudo, con nieve y heladas, casi desconocidas en la ciudad portuguesa. Un debilitamiento de la corriente del Golfo daría lugar a inviernos bastante más rigurosos en Europa occidental. Un cambio rápido de este tipo se denomina cambio climático abrupto, no siendo global ni muy duradero.

En general, las costas occidentales de los continentes en latitudes medias y medias-altas son más cálidas que las opuestas. En un mismo continente encontramos otro ejemplo muy ilustrativo con las temperaturas medias anuales de Vancouver (en el Pacífico canadiense), con 10 °C, y Gander (en Terranova), al este de Norteamérica, en el mismo paralelo, con solo 4 °C. Lo contrario ocurre en las latitudes bajas, donde las costas occidentales de los continentes son apreciablemente más frescas que las orientales, como ejemplifican Río de Janeiro (Brasil), costa oriental de América del Sur, en el trópico de Capricornio, con 24 °C, y Antofagasta (Chile), en la costa occidental y el mismo paralelo, con solo 17 °C.

## 7. El Niño

Uno de los temas de vanguardia en la Climatología actual es el de las teleconexiones o, técnicamente, patrones de variabilidad de baja frecuencia. Etimológicamente, teleconexión es conexión a distancia. Una teleconexión es una conexión entre los comportamientos de las componentes del sistema climático o de las variables de una de ellas a miles de kilómetros de distancia. En la atmósfera una teleconexión se establece a partir de un dipolo de presión, es decir, de un anticiclón y una depresión o borrasca, distantes entre sí, pero cuyo comportamiento está relacionado. Por ejemplo, cuando el anticiclón es potente, a menudo la borrasca es profunda; o cuando se debilita el primero, se rellena la segunda; o hasta cuando uno cambia de signo, es decir, el anticiclón se convierte en una depresión, lo contrario ocurre con esta. Lo mismo acontece entre componentes, de manera que lo que ocurre en el océano en una determinada área tiene que ver con el comportamiento de la atmósfera en otra región, a veces lejana. Estas relaciones visualizan que en el medio natural todo está vinculado de alguna manera.

A nivel planetario la teleconexión más importante por su escala de afección, que es el conjunto del planeta, es El Niño o, por su acrónimo, el ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Cuando se produce este fenómeno prácticamente en todo el planeta, con una cierta dilación temporal, aumenta la variabilidad climática o se dan anomalías y fenómenos atmosféricos extremos. El Niño es el ejemplo más claro de la dependencia existente entre la atmósfera y el océano, hablándose de un fenómeno acoplado entre ambas componentes del sistema natural.

Aunque excede con mucho las dimensiones de este capítulo, una descripción somera del fenómeno ha de considerar la atmósfera y el océano, separadamente y en conjunto. Por una parte, el dipolo de presión del fenómeno lo conforman el gran anticiclón del Pacífico tropical-subtropical, a unos 30° S, a menudo muy próximo a las costas del norte de Chile, Perú y el sur de Ecuador, y, a miles de kilómetros de distancia, el área depresionaria ecuatorial del norte de Australia, Nueva Guinea e Indonesia. Como es sabido, el viento sopla desde los anticiclones a las depresiones, de manera que lleva aire desde las costas pacíficas de América del Sur hacia las citadas regiones ecuatoriales. Son los vientos alisios del Pacífico austral, que arrastran agua en dirección oeste. El dipolo da lugar a un clima desértico, por efecto del anticiclón, en las áreas sudamericanas citadas, con algunos de los desiertos más extremos del mundo en cuanto a la carencia de lluvias, como el de Atacama, en el norte de Chile, y en el extremo opuesto, a regiones muy lluviosas. Esta es la situación normal o neutra, la habitual, que se corresponde con aguas muy frías en las costas pacíficas de Sudamérica, por la ya citada corriente de Humboldt y el afloramiento de aguas frías profundas. Este sustrato marino frío estabiliza el aire, impidiendo su elevación y, por tanto, la precipitación, lo que refuerza el efecto también neutralizador de la lluvia del anticiclón, por el movimiento subsidente o descendente del aire en su seno. Sin embargo, recurrentemente, pero sin periodicidad fija, el dipolo atmosférico se debilita, así como los alisios, lo que coincide con la llegada de una corriente de agua cálida ecuatorial procedente del norte a las citadas costas sudamericanas. La retirada del anticiclón y la llegada de las aguas cálidas inestabiliza la atmósfera de manera que se producen precipitaciones, a veces torrenciales, en lugares donde casi nunca llueve. Hablamos entonces de El Niño, término que procede del lenguaje popular de los pescadores peruanos para referirse a la corriente marina cálida, que sustituye a la de Humboldt, y que suele acontecer en fechas próximas a las de la Navidad (cuando nace el Niño Jesús). Las aguas cálidas producen también un impacto notable en la biosfera marina, con la desaparición de las especies de aguas frías que se pescan habitualmente en la región. En Indonesia, en cambio, y en países próximos El Niño trae un período de sequía, incluso con incendios forestales. Para completar este patrón de variabilidad, a veces se observa el anticiclón más potente de lo normal, con aguas también aún más frías de lo habitual frente a Chile y Perú, reforzándose la estabilidad en el este del Pacífico y las condiciones de inestabilidad en el oeste del océano, hablándose de La Niña. Hoy se considera que el fenómeno del ENSO en su conjunto lo compone un ciclo El Niño (fase cálida) / La Niña (fase fría), pasando por una fase neutra.

Los modelos meteorológicos son ya capaces de establecer predicciones estacionales, a unos meses vista, sobre la evolución del fenómeno, lo que permite adelantarse a sus efectos. Esto puede ser vital en algunos países, porque cuando se da un Niño o una Niña intensos, en algunas regiones del planeta llueve más o menos de lo normal, dando lugar a condiciones favorables para la reproducción de ciertos vectores transmisores de algunas enfermedades endémicas del trópico, como la malaria. Disponiendo de las previsiones, los servicios médicos y de protección civil pueden estar preparados para afrontar el brote de la enfermedad, y así salvar vidas.

Finalmente, un Niño intenso supone un calentamiento tan marcado del Pacífico ecuatorial que deja huella en la temperatura media del planeta en el año en que ocurre, apareciendo como un año relativamente cálido.

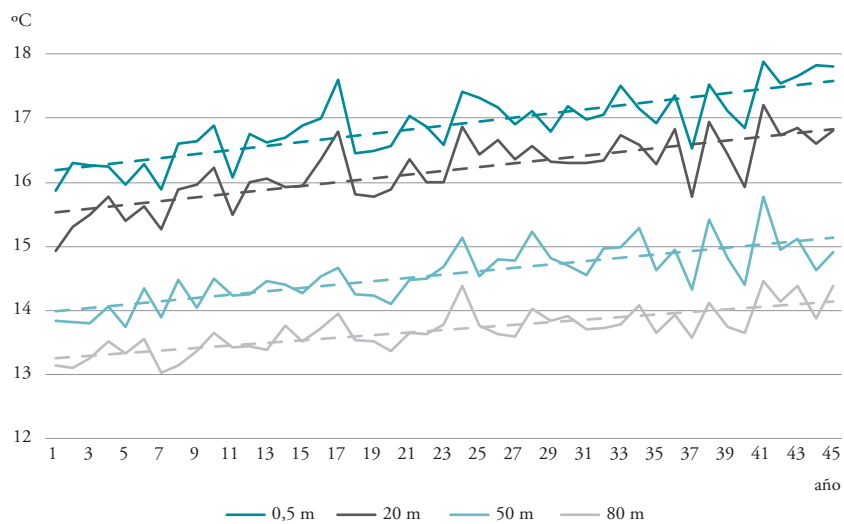
## 8. La cuenca del Mediterráneo y el cambio climático

La cuenca del Mediterráneo, incluyendo las aguas del mar homónimo, sus islas y las tierras ribereñas, constituye una de las regiones del planeta con una personalidad geográfica y climática más singular. Por una parte, es un ámbito situado en una franja latitudinal entre los paralelos 33 y 42° N, aproximadamente, y localizada al oeste de Eurasia. Por esas dos condiciones participa esencialmente de un clima mediterráneo, a caballo entre el marítimo de latitudes medias de las costas occidentales, al norte, y el de los desiertos tropicales, al sur. Esto ocurre en otros ámbitos del planeta, como la California estadounidense, la región Central de Chile y los extremos meridionales de África y Australia, en el caso de las regiones australes con los climas limítrofes opuestos. Sin embargo, la cuenca del Mediterráneo supone una profunda entrada del mar entre los continentes europeo y africano hasta llegar a Asia, sin paragón en los otros ámbitos de clima mediterráneo. Además, la cuenca del Mediterráneo está rodeada por notables relieves que la aíslan del exterior, dando lugar a que sus aguas, notablemente cálidas en verano y otoño, generen una masa de aire característica, la que descansa sobre las aguas del mar, cálida y húmeda. De nuevo, el mar y la atmósfera íntimamente relacionados.

El calentamiento actual está dando lugar a un aumento nítido de la temperatura de las aguas del Mediterráneo, como revelan las excelentes series del Observatorio de l'Estartit, en la Costa Brava (Gráfico 3). Incluso a 80 metros de profundidad la tendencia al alza es estadísticamente significativa. Del mismo modo, la temperatura del aire en la cuenca del Mediterráneo muestra una evolución paralela a la planetaria, pero con una tasa de aumento algo superior. Es decir, aunque en general el aumento de la temperatura del aire sobre el océano ha sido menor que sobre los continentes, en el caso de la cuenca mediterránea el incremento térmico sobrepasa el global.

Un estudio muy reciente sobre la región que nos concierne estima en 1,4 °C el aumento de temperatura del aire en el conjunto de la cuenca del Mediterráneo en el período 1880-2015 (Cramer *et al.*, 2018), lo que ilustra la respuesta más acusada al calentamiento de la región.

Gráfico 3. Evolución de la temperatura del agua a las profundidades de 0,5, 20, 50 y 80 m en l'Estartit (Costa Brava) desde 1974 a 2018. En °C



Fuente: Josep Pascual. Elaboración propia.



# EL DESCONOCIDO CASO DE DESCOMPRESIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS

*José Luis Crespo-Picazo*

Director técnico de la Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

*Vicente Marco-Cabedo*

Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

*Daniel García Párraga*

Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

## Resumen

La interacción de las tortugas marinas con las redes de arrastre de los pesqueros les provocan diversas patologías y causas de muerte como el ahogamiento, las alteraciones fisiológicas propias de la inmersión forzada, el sobreesfuerzo de evasión y escape, y el recientemente descrito síndrome descompresivo (DCS por sus siglas en inglés), un trastorno clínico que resulta de la formación de burbujas de nitrógeno en el sistema cardiovascular y otros tejidos como consecuencia de una descompresión demasiado rápida y el fracaso de los mecanismos fisiológicos compensatorios. Recientemente se creía que las tortugas marinas y otras especies buceadoras apneístas estaban protegidas frente al síndrome descompresivo por el comportamiento natural del buceo y sus adaptaciones fisiológicas; sin embargo, un estudio reciente realizado por nuestro grupo proporcionó una clara evidencia de este problema en tortugas bobas (*Caretta caretta*) capturadas accidentalmente en aguas del Mediterráneo. Este descubrimiento supone un desafío al conocimiento existente hasta la fecha de la fisiología del buceo en vertebrados marinos apneístas, mecanismos perfeccionados durante miles de años de evolución la adaptación a un medio hostil en el que cualquier descompensación puede llegar a tener un desenlace fatal.

## Abstract

*Encounters with fishermen's trawl nets are responsible for a variety of pathologies and causes of death among sea turtles, including drowning, physiological alterations due to forced immersion, overexertion in trying to free themselves and escape, and the recently described decompression syndrome (DCS), which is a clinical disorder resulting from the formation of nitrogen gas bubbles in the cardiovascular system and other tissues as a result of excessively rapid decompression and the failure of physiological compensatory mechanisms. Until recently, sea turtles and other apneustic diving species were thought to be protected against decompression syndrome by their natural diving behaviour and their physiological adaptations. However, a recent study by our group provides clear evidence of decompression syndrome in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) caught accidentally in Mediterranean waters. This discovery poses a challenge to our current understanding of the physiology of diving in apneustic marine vertebrates and the mechanisms perfected over thousands of years of evolutionary adaptation to a hostile environment in which any failure of compensation can be fatal.*

## 1. Introducción

La conservación de las diferentes poblaciones de tortugas marinas a escala mundial, y del mar Mediterráneo en particular, afronta múltiples amenazas fundamentalmente manteniendo como protagonista al ser humano. Las múltiples facetas de la contaminación del mar, la pérdida de hábitat en las playas de anidación, la captura accidental en artes de pesca e incluso la captura como especie objetivo para su consumo en algunos países de la cuenca mediterránea, han sido identificados como los principales factores que comprometen la supervivencia de estos fascinantes animales.

Fotografía 1. Dos pescadores ultiman el triaje del pescado sobre la cubierta del barco a su llegada a puerto



No solo en aguas del Mediterráneo, sino también en el ámbito mundial, la pesca accidental ha sido reconocida durante las últimas décadas como la principal amenaza a la que se enfrentan estas especies<sup>1</sup>. Pese a que el impacto real de las pesquerías es difícilmente cuantificable a escala global, si se ha podido demostrar que algunas artes de pesca afectan significativamente sobre ciertas poblaciones de tortugas marinas a nivel regional. Como ejemplos se podrían citar la flota de palangrera en el mar Mediterráneo, las redes de enmalle en Baja California y el sudeste asiático, y las flotas de arrastre del Pacífico oriental y el Atlántico noroccidental<sup>2</sup>.

Ya en 1989, se reconoció en el Convenio de Barcelona el impacto de la actividad pesquera sobre las poblaciones de tortugas marinas en el llamado ‘Plan de Acción para la Conservación de las Tortugas Marinas del Mediterráneo’. Pese a que dicho plan se ha ido actualizando sucesivamente a largo de diferentes encuentros, el alcance del impacto real de la industria pesquera sobre las poblaciones de tortugas marinas es aun ampliamente desconocido<sup>3</sup>.

Hoy sabemos que las consecuencias de la captura accidental de una tortuga marina son muy variables, desde encuentros completamente inocuos a efectos fatales. Dependiendo del arte de pesca empleado y de otras variables relativas a la interacción, las tortugas marinas que no sobreviven pueden morir de forma inmediata tras la captura (durante el mismo proceso o poco después de la interacción por ahogamiento, traumas diversos...), o morir semanas o incluso meses después de la interacción (infecciones, trastornos de flotabilidad, lesiones musculoesqueléticas...). La supervivencia del animal no solo depende de los aspectos relacionados

<sup>1</sup> LEWISON (2004); LEWISON y CROWDER (2014); WALLACE *et al.* (2008, 2010 y 2013) y CASALE *et al.* (2018).

<sup>2</sup> LEWISON y CROWDER (2014); WALLACE *et al.* (2010).

<sup>3</sup> CASALE *et al.* (2018).



con el método de captura, sino también del manejo que se haga de la tortuga por parte de los pescadores tras la interacción. En ocasiones, el resultado final también puede verse influido por otros factores externos, como las condiciones meteorológicas del momento, la posibilidad de atención veterinaria o la presencia y densidad de posibles depredadores en el área de suelta tras la interacción.

Se han descrito cinco formas mayoritarias en las que las tortugas marinas interactúan con artes de pesca (no excluyentes entre sí), siempre teniendo en cuenta que la interacción no es un fenómeno restringido únicamente a las grandes industrias pesqueras, sino que también se da en la pesca artesanal y recreativa:

- *Captura*: los animales permanecen atrapados en un espacio acotado, pero libres para nadar y salir a la superficie a respirar dentro de ese espacio (ej.: redes de cerco, almadraba).
- *Enmallamiento*: enredos con las redes o sedales en cuello o extremidades (ej.: trasmallo, anzuelos, líneas de palangre...).
- *Inmersión forzada*: enredos en redes o sedales impidiendo la natación normal sin posibilidad de que las tortugas alcancen la superficie (ej.: trasmallo, arrastre, palangre fondo...).
- *Sobreesfuerzo de evasión*: aumento del gasto energético asociado al intento de escapar de las redes (ej.: arrastreros...).
- *Trauma directo*: fracturas y heridas traumáticas por colisión (ej.: dragas de vieiras...).

Las principales patologías asociadas a estas interacciones incluyen desde lesiones físicas, al ahogamiento, pasando por trastornos metabólicos, enfermedad descompresiva y miopatía por captura. En muchos casos, se suceden varios procesos de forma simultánea en el mismo animal, lo que agrava el pronóstico del individuo.

Actualmente, en el mar Mediterráneo, las principales artes de pesca que originan un mayor número de capturas accidentales de tortugas marinas son dos, la pesca de arrastre y las redes de enmalle.

## 2. Pesca de arrastre

El arrastre es el arte pesca en el cual las redes son «arrastradas» por los barcos para capturar diversas especies objetivo. Las redes bien pueden desplegarse a lo largo del lecho marino o en la columna de agua. El arrastre de fondo se utiliza para capturar crustáceos y peces demersales y es responsable de una proporción considerable de la captura accidental de tortugas marinas en todo el mundo. Otros tipos de arrastre como el destinado a la captura de medusas y algas

(*Sargassum*), pueden interactuar con las tortugas marinas. Los barcos de arrastre de fondo están equipados con una red en forma de cono con un cuerpo principal formado por un número variable de paneles o puertas (generalmente entre dos y cuatro), que mantienen la red abierta. Por lo general, el tamaño de la malla de la red disminuye gradualmente desde la boca hasta el final de la bolsa. Se observan muchas variaciones entre países o incluso regiones, pero el funcionamiento general es similar<sup>4</sup>.

Fotografía 2. Subasta del pescado en la lonja (sur de Italia)



De forma general, las tortugas marinas interactúan con las redes de arrastre cuando se alimentan o descansan sobre el fondo marino. Fruto de este encuentro fortuito, las principales patologías y causas de muerte observadas en tortugas procedentes de este arte de pesca comprenden el ahogamiento, las alteraciones fisiológicas propias de la inmersión forzada, el sobreesfuerzo de evasión y escape, y el recientemente descrito síndrome descompresivo (DCS por sus siglas en inglés)<sup>5</sup>. Adicionalmente se han observado lesiones traumáticas o incluso asfixia por compresión al permanecer sepultadas por toneladas de captura dentro de las redes. Las tortugas capturadas se encuentran vivas, muertas o comatosas cuando son retiradas de las redes, donde los ejemplares comatosos presumiblemente mueren si no se proporciona tratamiento o reanimación antes de devolverlos de nuevo al mar<sup>6</sup>.

Al igual que con otras pesquerías, la frecuencia de interacción depende del esfuerzo de pesca y la presencia y densidad de tortugas en los caladeros. Es posible que diferentes parámetros operativos influyan en las tasas de mortalidad, incluida la duración y profundidad de la

<sup>4</sup> GEROSA y CASALE (1999).

<sup>5</sup> GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

<sup>6</sup> NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1990).

red de arrastre, la velocidad de ascenso, la temperatura del agua y las capturas repetidas<sup>7</sup>. Por ejemplo, en la cuenca mediterránea noroccidental, las interacciones de las tortugas marinas con estas pesquerías son significativamente más frecuentes en los meses de invierno cuando las temperaturas del agua son más bajas, posiblemente porque los animales permanecen más tiempo inactivos en el fondo<sup>8</sup> y pueden ser menos reactivos a la acción de una red de arrastre.

Según el *National Research Council* de EEUU (1990), se estimó que la pesca de arrastre de camarón en el sureste de los Estados Unidos antes de la implementación de las medidas de mitigación causó más muertes de tortugas marinas en esta área que todas las demás actividades humanas combinadas. Estas medidas de mitigación incluyeron el uso de dispositivos excluidores de tortugas (TED por sus siglas en inglés) y restricciones en cuanto a los tiempos máximos de arrastre sin TED. Medidas similares han sido implementadas con éxito en muchas otras partes del mundo; sin embargo, no se han adoptado universalmente en todas las pesquerías de arrastre que interactúan con las tortugas marinas, tampoco a nivel de normativa europea. La falta de uso de estos elementos que limitan el impacto y la no aplicación de medidas en favor de la reducción de las capturas accidentales representan una grave amenaza para la sostenibilidad de las poblaciones de tortugas marinas.

### 3. Redes de enmalle (trasmallos)

Los trasmallos consisten en redes de malla grandes y rectangulares que pueden estar caladas en el fondo marino, en la columna de agua o en superficie. Los peces generalmente quedan atrapados por el opérculo de las branquias dentro de las redes, que suelen configurarse en capas simples, dobles o triples. La disposición del arte aumenta la probabilidad de captura de las especies objetivo y no objetivo como las tortugas<sup>9</sup>. Las redes de enmalle se colocan mediante flotadores en la línea superior y pesos en la línea inferior, estando el tamaño y la forma de la malla definidos por la especie de pesca objetivo. En las pesquerías costeras, las redes de enmalle de malla grande (>12 cm de malla) tienen más probabilidades de enredar las cabezas y las aletas de las tortugas marinas que las redes de malla pequeña. Se pueden llegar a combinar también varios tipos de redes mediante un despliegue de engranajes.

En el mundo se usan principalmente dos tipos de redes de enmalle, las costeras y las pelágicas. Las redes de deriva pelágicas suelen tener como objetivo el pez espada (*Xiphias gladius*), algunas especies de tiburones y el dorado (*Coryphaena hippurus*); sin embargo, esta técnica de pesca indiscriminada produce grandes cantidades de capturas accidentales de especies no objetivo. Gerosa y Casale señalaron la dificultad de clasificar este arte de pesca debido a la gran cantidad de variaciones y modificaciones adaptadas a los usos locales y tradicionales a lo largo de diferentes generaciones<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> GEROSA y CASALE (1999); FAHLMAN *et al.* (2017).

<sup>8</sup> HOCHSCHEID *et al.* (2005); GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (1970).

<sup>9</sup> GILMAN *et al.* (2010).

<sup>10</sup> GEROSA y CASALE (1999).

Aunque la captura accidental de tortugas marinas podría considerarse pasiva en redes de enmalle debido a que los individuos quedan atrapados cuando nadan libremente, la presencia de peces o invertebrados capturados en la red puede tener un efecto atrayente sobre las tortugas, lo que aumenta la probabilidad de interacción<sup>11</sup>. En 1991, las Naciones Unidas prohibieron el uso de las grandes redes de deriva (más de 2,5 kilómetros) en alta mar debido a la alta incidencia de las capturas accidentales cuando se descartan o se pierden (redes fantasma). La producción de nuevos materiales sintéticos no biodegradables hace que las redes de deriva sean un problema particularmente duradero, estimulando los esfuerzos crecientes para prohibir la pesca por tiempo excesivo o ilimitado<sup>12</sup>.

Las principales consecuencias directas de las interacciones con pesquerías en las tortugas marinas pueden clasificarse como: lesiones traumáticas, inmersión forzada / ahogamiento, lesiones asociadas al sobreesfuerzo y síndrome descompresivo. Los posibles impactos de los daños a largo plazo (por ejemplo, inmunosupresión, reducción de tasas de crecimiento o rendimiento reproductivo) son difícilmente evaluables<sup>13</sup>.

#### 4. El síndrome descompresivo

El síndrome descompresivo es un trastorno clínico que resulta de la formación de burbujas de nitrógeno en el sistema cardiovascular y otros tejidos como consecuencia de una descompresión demasiado rápida y el fracaso de los mecanismos fisiológicos compensatorios. Los signos clínicos y la lesión tisular asociada a este síndrome son causados principalmente por una embolia gaseosa (GE por sus siglas en inglés), que daña los tejidos por oclusión vascular, compresión mecánica o inducción de cambios bioquímicos. La distinción entre síndrome descompresivo, una entidad clínica y el fenómeno de la embolia gaseosa es importante porque esta última, la presencia de burbujas en sangre no siempre produce signos clínicos. Recientemente se creía que las tortugas marinas y otras especies buceadoras apneistas estaban protegidas frente al síndrome descompresivo por el comportamiento natural del buceo y sus adaptaciones fisiológicas; sin embargo, un estudio reciente realizado por nuestro grupo proporcionó una clara evidencia de este problema en tortugas bobas (*Caretta caretta*) capturadas accidentalmente en aguas del Mediterráneo<sup>14</sup>. Este descubrimiento supuso un desafío al conocimiento existente hasta la fecha de la fisiología del buceo en vertebrados marinos apneistas, mecanismos perfeccionados durante miles de años de evolución para la adaptación a un medio hostil en el que cualquier descompensación puede llegar a tener un desenlace fatal. Un aspecto vital en este estudio fue la demostración de los efectos clínicos y la mortalidad asociada a este síndrome, así como la eficacia del tratamiento con oxígeno hiperbárico. Este último, ciertamente, supuso la prueba definitiva para la demostración de esta nueva entidad patológica. Posteriormente, la embolia

<sup>11</sup> GILMAN *et al.* (2010).

<sup>12</sup> FAO (2001).

<sup>13</sup> WILSON *et al.* (2014).

<sup>14</sup> GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

gaseosa ha sido diagnosticada en otras especies de tortugas marinas capturadas accidentalmente, como el caso de una tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) y una tortuga verde (*Chelonia mydas*) procedentes de capturas accidentales en la zona. Estos datos revelan que esta patología no parece restringida a las tortugas bobas y que es probable que otras especies sean también susceptibles al síndrome descompresivo. El mencionado descubrimiento tiene importantes implicaciones globales en la comprensión de los efectos y el alcance real de la interacción de las pesquerías en las tortugas marinas con el fin de poder establecer estrategias más precisas y eficaces para su conservación.

La fisiopatología del síndrome descompresivo en tortugas marinas ha sido recientemente esclarecida. Desde un primer momento se trabajó sobre la hipótesis de una posible alteración en los mecanismos fisiológicos (los cuales impiden la absorción de nitrógeno tras quedar atrapadas en las artes de pesca), hecho que finalmente ha podido ser demostrado mediante estudios *in vitro*<sup>15</sup>. Durante el buceo normal, la estimulación vagal controla la circulación intracardíaca y el cierre de unos esfínteres específicos presentes a nivel de las arterias pulmonares, hecho que permite evitar que la sangre llegue a los pulmones. A través de la comunicación interventricular (presente en la gran mayoría de los reptiles), tras la contracción de los esfínteres pulmonares que obliterarían el paso, la sangre retorna de nuevo a la circulación sistémica en lugar de pasar a través de los pulmones. Se cree que esta derivación de derecha a izquierda regula el metabolismo durante el buceo al restringir el acceso a las reservas de oxígeno pulmonares, pero se especula que también evita que se produzca una disolución en exceso del nitrógeno en la sangre al sortear los pulmones. Cuando una tortuga queda atrapada en una red, lo que supone un evento altamente estresante, la estimulación simpática (inducida por la liberación de catecolaminas y por el aumento de la actividad física en el intento de huida) y la inhibición parasimpática relajan los esfínteres pulmonares. Un aumento repentino y simultáneo en el gasto cardíaco transporta la sangre en gran cantidad al circuito pulmonar, permitiendo el contacto entre la sangre y el aire presurizado contenido en los pulmones, lo que resulta en una alta solubilización de nitrógeno mientras el animal está retenido en profundidad. Debido a que las tortugas marinas son animales que bucean en apnea, cuando el nitrógeno difunde al torrente sanguíneo no puede eliminarse a través de la respiración (como sucedería en los buceadores con botella que realizan paradas de descompresión) hasta que la tortuga ha emergido del agua. Una vez expuestas a presión atmosférica en la superficie, el nitrógeno disuelto comienza a salir de la solución, formando burbujas dentro del sistema cardiovascular y otros tejidos sobresaturados.

## 5. Diagnóstico de la enfermedad

Hasta la fecha, este síndrome únicamente se ha estudiado en tortugas marinas atrapadas en redes de arrastre y redes de trasmallo a una profundidad entre los 10 y los 100 metros. Las tortugas capturadas bajo otras condiciones no se han evaluado de manera similar, pero la

<sup>15</sup> GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2018).

comprensión actual del *síndrome descompresivo* sugiere que es improbable que se limite únicamente a estas pesquerías. La duración de la inmersión forzada, la profundidad y la respuesta individual al estrés son factores determinantes. Se desconoce el grado de influencia de muchos otros factores ambientales, como la temperatura del agua, la temperatura del aire, la velocidad de ascenso de las artes de pesca o incluso factores individuales (tamaño, condición corporal, estado de salud, inmersiones previas, actividad, etc.), pero se considera que podrían tener implicaciones en el desarrollo de la enfermedad<sup>16</sup>.

La información actualmente disponible sobre esta condición en tortugas marinas es el producto de una colaboración constructiva entre pescadores locales y el personal veterinario de algunos centros de recuperación. Gracias a las observaciones de los pescadores se pudo obtener información acerca del comportamiento inicial de los animales tras la descarga en la cubierta del barco, información esencial a la que posteriormente acompaña un examen veterinario completo tras el ingreso en el centro de recuperación. Al igual que lo descrito en este síndrome en humanos<sup>17</sup>, los signos clínicos pueden tardar varias horas en desarrollarse. Las tortugas capturadas de forma accidental típicamente pueden clasificarse en tres categorías de comportamiento tras la captura: sin sintomatología específica (individuos aparentemente normales), tortugas hiperexcitadas o con signos neurológicos, e individuos en estado comatoso. Se han establecido varios grados de embolia gaseosa asociados con las tres presentaciones iniciales, por lo que la severidad de la embolia puede no ser evidente de inmediato. En general, hay una progresión de estado activo a estuporoso en tortugas con embolia gaseosa de moderada a severa. En la mayoría de los casos, las tortugas también se ven afectadas por otras condiciones asociadas con la interacción como ahogamiento (con o sin aspiración de agua), hipoxia, acidosis, desequilibrios electrolíticos y miopatía por captura. Los hallazgos clínicos en las tortugas con embolismo gaseoso reflejan la ubicación y la gravedad de la formación de burbujas. Los casos leves son asintomáticos, mientras que aquellos con una presencia de gas más extensa exhiben síndrome descompresivo que se caracteriza por signos neurológicos graves, que incluyen extensión prolongada del cuello y apertura de la boca, retracción de las aletas, parálisis parcial o debilitamiento de la contractilidad de la musculatura de los miembros, dificultad respiratoria, pérdida de sensibilidad al dolor regional o de la sensibilidad superficial, e incluso parálisis completa. La flotabilidad positiva y la natación errática pueden ocurrir horas después de la captura cuando las tortugas son devueltas al agua.

El diagnóstico clínico se basa en el historial de los animales (tipo de arte de pesca, tiempo de calado del arte, estado inicial y progresión en el tiempo), signos clínicos y pruebas de diagnóstico complementarias. Las pruebas basadas en la imagen médica son esenciales para confirmar y evaluar la gravedad del embolismo gaseoso, donde la combinación de ecografía y radiografía ha demostrado ser la vía más sencilla, rápida y eficaz para confirmar el diagnóstico en tortugas marinas. En base a la cantidad y localización de las burbujas de gas, se estableció inicialmente la categorización del embolismo gaseoso como leve, moderado o grave, aunque

<sup>16</sup> FAHLMAN *et al.* (2017).

<sup>17</sup> VANN *et al.* (2011).

posteriormente se complementó con una graduación de 0 a 5 en base a los mismos parámetros creando categorías intermedias<sup>18</sup>. La aparición del síndrome descompresivo se asocia principalmente con grados moderados o graves (3 - 5) de embolismo gaseoso, siendo en muchas ocasiones estos casos incompatibles con la vida si no se aplica terapia hiperbárica durante las primeras horas.

Fotografía 3. Tortuga boba (*Caretta caretta*) juvenil en la cubierta del barco tras su captura

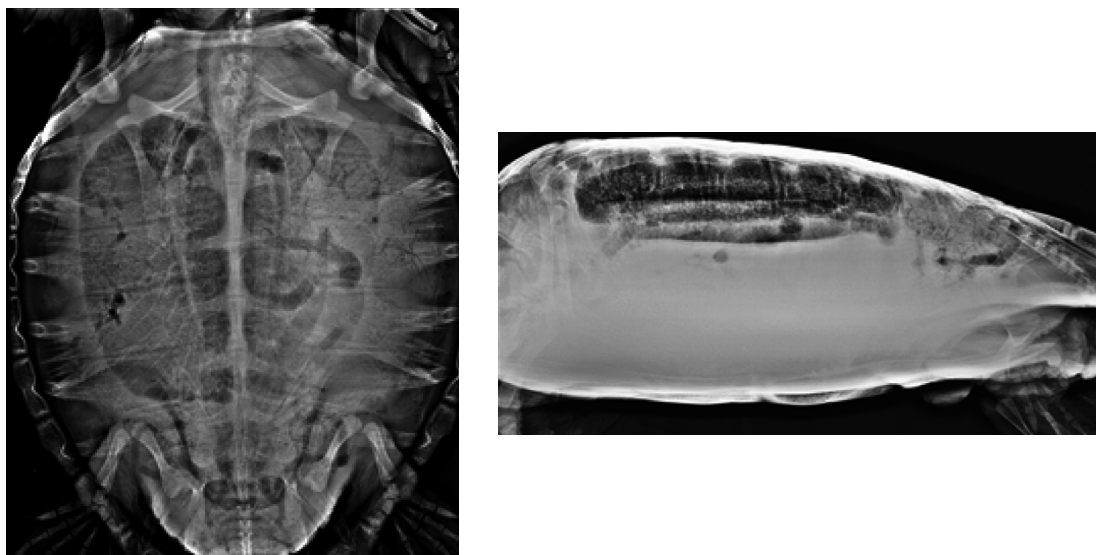


La ecografía es el método más sensible para determinar la presencia de burbujas de gas incluso en casos muy leves de embolismo. La accesibilidad de los riñones para su evaluación ecográfica y su capacidad para retener burbujas de gas circulante los convierte en órganos de elección para detectar el embolismo gaseoso mediante esta técnica. Las burbujas formadas dentro de los vasos renales son visibles como puntos hiperecogénicos (blancos) o como ‘colas de cometa’. Además, el estudio ecocardiográfico en casos leves a moderados generalmente revela burbujas de gas libres dentro de las cámaras cardíacas y grandes vasos, especialmente en el atrio derecho. Con embolismo gaseoso moderado, la acumulación de gas es claramente visible mediante ecografía en los riñones y los vasos asociados, las aurículas derecha e izquierda y en el hígado. El examen mediante ecografía se vuelve menos útil en los casos graves de embolismo ya que la presencia de gas abundante imposibilita el examen de la mayoría de las regiones y tejidos corporales.

<sup>18</sup> GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014); FAHLMAN *et al.* (2017).

La radiografía es el método de diagnóstico por imagen semicuantitativo más simple y más práctico para evaluar la gravedad de la embolia. El gas intravascular se observa radiolúcido (contraste negativo) en el interior del corazón y los vasos. Las proyecciones ortogonales dorsoventral (DV) y laterolateral (LL) son las vistas mínimas recomendadas para la evaluación del grado y la ubicación de los émbolos gaseosos. La proyección DV de cuerpo entero generalmente proporciona información suficiente para clasificar el grado de embolia en casos leves, moderados y graves según la cantidad y la distribución de gas. En los casos graves, los pulmones se colapsan significativamente, como lo demuestra la reducción en el área de los campos pulmonares y el aumento de su radiopacidad (pérdida de contraste). En los casos donde la presencia de gas es menor, la proyección LL de la región renal es la vista más sensible para la detección del gas intravascular.

Fotografía 4. Vista dorsoventral (izquierda) y laterolateral (derecha) de un caso de embolia gaseosa moderada en el que claramente se observa la presencia de gas (contraste negativo) en la vasos renales, hepáticos y grandes vasos sistémicos. Se aprecia también el solapamiento de otros tejidos en el área de proyección pulmonar.



El estudio mediante tomografía computerizada (TAC) supone la mejor tecnología diagnóstica para cuantificar y localizar burbujas de gas, pero generalmente no está disponible en la gran mayoría de centros de rehabilitación y suele requerir de anestesia o sedación en individuos activos. La resonancia magnética (RM) ofrece un potencial adicional para evaluar el daño tisular y las lesiones crónicas subletales en los ejemplares supervivientes. Esta última técnica permite evaluar desde las alteraciones anatómicas, la carencia o disminución de perfusión tisular e incluso la evaluación de la actividad metabólica, lo que aporta información indispensable sobre el alcance del daño tisular en los individuos afectados.



Los cambios en la hematología y la bioquímica sanguínea pueden deberse a los efectos directos de la distorsión de las burbujas de los tejidos, las obstrucciones vasculares y la hemorragia. Como se describe en humanos, los efectos secundarios incluyen daño endotelial, pérdida capilar, extravasación de plasma y hemoconcentración<sup>19</sup>. Las principales alteraciones bioquímicas observadas en tortugas marinas incluyen un aumento de moderado a grave en la concentración de ácido úrico y concentraciones de electrolitos alteradas (principalmente hiponatremia e hipercalcemia). La elevación severa de la creatin-quinasa (CK) en plasma y la elevación moderada en las actividades de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) generalmente se observan durante los días posteriores al ingreso revelando daño muscular. Con frecuencia también se distingue una respuesta inflamatoria con desviación a la izquierda después del tratamiento. Es difícil discernir qué alteraciones son el resultado del embolismo gaseoso en comparación con otros cambios originados por la captura y la inmersión forzada.

## 6. Pronóstico

Las tasas de supervivencia dependen de la gravedad de los signos clínicos en el momento del ingreso, la cantidad total y la distribución del gas intravascular, el tiempo desde la descompresión hasta la terapia con oxígeno hiperbárico (HBOT) y la evidencia de aspiración de agua marina. Si no se presenta ninguna otra complicación (como ahogamiento con aspiración de agua, trauma, enfermedad previa, etc.), los casos leves generalmente sobreviven, aunque no se proporcione un tratamiento específico. Pequeñas cantidades de gas a nivel renal generalmente se reabsorben en 24 a 48 horas. En los casos moderados y graves, según lo observado, los pacientes mueren si no se aplica tratamiento hiperbárico a pesar de la administración de tratamiento *médico* de soporte (fluidoterapia, analgésicos, antiinflamatorios, etc). En casos con embolia moderada, las tortugas con frecuencia muestran un comportamiento activo o hiperactivo durante las primeras horas tras la captura, pero mueren dentro de las 48 a 72 horas si no se aplica tratamiento hiperbárico. En casos severos en su gran mayoría mueren dentro de las primeras 6 a 12 horas de haber hecho superficie, lo que generalmente ocurre durante el transporte en el barco o en vehículo hacia el centro de recuperación antes de que se pueda aplicar el tratamiento. El tiempo hasta la recompresión parece ser un factor verdaderamente crítico para lograr la supervivencia de este último grupo. Además de la supervivencia inicial, no se pueden descartar que el embolismo pueda acarrear efectos subletales en los individuos afectados que dificulten su funcionamiento normal como individuo a largo plazo tras la reintroducción. De hecho, el estudio histopatológico de muestras procedentes de animales afectados revela daños cardíacos, renales y del sistema nervioso central un mes después de sufrir el embolismo en individuos que sobrevivieron al evento descompresivo inicial. Considerando estas alteraciones, los efectos crónicos de este síndrome son de difícil evaluación y potencialmente amplían el impacto sobre las tortugas marinas.

<sup>19</sup> VANN *et al.* (2011).

Actualmente, una de las principales líneas de investigación en este síndrome pone el foco en la supervivencia de animales afectados con dos objetivos. Por un lado, se está evaluando la tasa de supervivencia en tortugas una vez recuperadas del proceso tras su estancia en el centro de recuperación y, por otro lado, se están llevando a cabo embarques de científicos en arrastreros italianos en el mar Adriático y en arrastreros brasileños en el Atlántico sur para evaluar las tortugas capturadas y medir supervivencia en animales positivos sin tratamiento. Para ello se utilizan sistemas de seguimiento satélite ‘pop-up’, de tal manera que estos emisores se liberan o tras cumplirse un tiempo preestablecido o si se dan ciertos criterios previamente establecidos (profundidad, temperatura, oscuridad...) indicativos de la muerte del animal. Una vez liberado el emisor, sube a superficie y envía los datos vía satélite. Gracias a la información que se está generando, se puede empezar a medir el riesgo de posibles secuelas y sus efectos sobre la supervivencia en tortugas recuperadas o la posible compensación del síndrome mediante un patrón de buceo específico en tortugas no tratadas y liberadas directamente tras su captura. Esto permitirá tener una aproximación al impacto real de esta enfermedad sobre las poblaciones de tortugas marinas.

## 7. Diagnóstico *postmortem*

Pese a que no debería resultar complicado detectar la presencia de gas intravascular en aquellos casos positivos, se requieren consideraciones especiales durante la necropsia de animales provenientes de captura accidental y tortugas varadas que pueden haber muerto como resultado de la interacción. Las burbujas de gas pueden crearse como un artefacto durante la disección al igual que durante la descomposición por bacterias asociadas al proceso de autólisis. Igualmente es un hallazgo que puede pasar desapercibido si no se lleva a cabo una disección minuciosa con la precaución de evitar cortar vasos sanguíneos antes de registrar la presencia de gas. Es recomendable llevar a cabo una radiografía o un TAC de los ejemplares con sospecha de embolismo gaseoso con anterioridad a la necropsia, pues permite detectar la presencia y valorar la distribución del gas sin correr los riesgos de generar artefactos. Con el fin de discriminar el origen del gas, tanto las pruebas de imagen como la necropsia, deben realizarse tan pronto como sea posible después de la muerte. En cualquier caso, también se puede llevar a cabo la discriminación del origen del gas en base a la composición de este siguiendo un protocolo específico descrito por Bernaldo de Quirós *et al.*<sup>20</sup>. En casos de embolismo gaseoso producido por la descompresión, la composición mayoritaria del gas será nitrógeno, mientras que es el hidrógeno el gas predominante en los casos de putrefacción.

La presencia de gas en casos moderados y severos es fácilmente detectable en los cadáveres de los animales afectados ya que las burbujas invaden de forma generalizada todo el sistema cardiovascular, hallando mayor o menor acúmulo en las diferentes regiones en función de la gravedad del caso y el tiempo transcurrido. Las principales estructuras en las que se acumu-

<sup>20</sup> BERNALDO DE QUIRÓS *et al.* (2011).

la el gas y por tanto regiones a explorar en busca de este durante el examen post-mortem, comprenden: atrio derecho, seno venoso, venas mesentéricas y venas renales. A medida que la presencia de gas es más severa, se observa una distensión vascular en la gran mayoría de regiones anatómicas, especialmente en los vasos abdominales, mesentéricos, gástricos, pancreáticos, hepáticos y renales, así como en la vena postcava y otros vasos principales. En estos casos, las cámaras y los vasos cardíacos, especialmente la aurícula derecha y el seno venoso, están distendidos masivamente por el gas, que es notable incluso en las venas coronarias. Otros hallazgos macroscópicos generalmente presentes suelen observarse en los riñones como áreas extensas enrojecidas, de forma multifocal, consistentes con congestión y/o hemorragia marcada, congestión segmentaria de la mucosa intestinal y en ocasiones alteraciones como enfisema pulmonar o abundante presencia de líquido trasudado en la cavidad celómica.

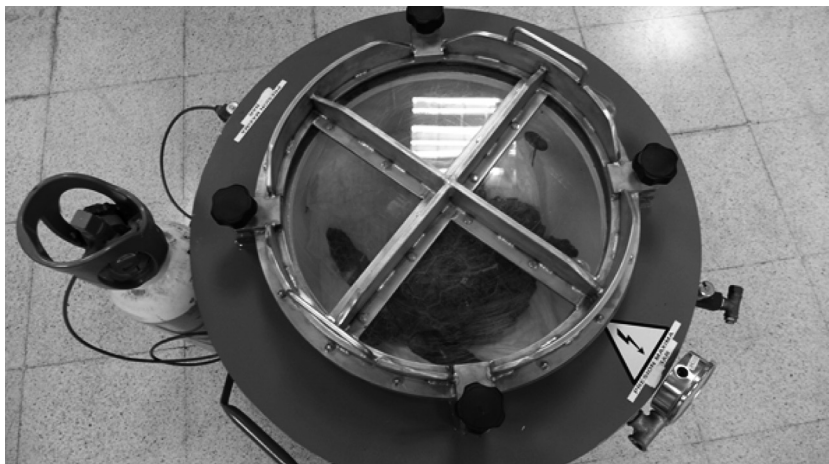
Los hallazgos histopatológicos incluyen congestión multisistémica de moderada a grave con presencia de burbujas intravasculares en múltiples órganos, incluidos el pulmón, el hígado, el riñón y el corazón. Además, el edema y las hemorragias perivasculares, que varían en extensión y gravedad, también están presentes en diferentes tejidos. Otros hallazgos histológicos observados son más inespecíficos e incluyen necrosis miocárdica aguda, multifocal con degeneración vacuolar de miocitos, edema pulmonar, degeneración hepatocelular microvacuolar difusa, edema sinusoidal y formación de glóbulos hialinos en el citoplasma de hepatocitos.

## 8. Tratamiento

Hoy en día no existen opciones de tratamiento razonables para el síndrome descompresivo en tortugas marinas en condiciones campo. Se puede esperar que, en casos menos graves, las tortugas puedan corregir el exceso de nitrógeno disuelto y la presencia de burbujas en sangre a través de la respiración y el buceo, pero la probabilidad de esta maniobra compensatoria resultaría menos practicable en tortugas con embolia gaseosa severa. En esos casos, dadas las alteraciones físicas provocadas y las manifestaciones clínicas observadas en los animales, la capacidad de nado y de buceo queda marcadamente comprometida. En las tortugas con embolia gaseosa de moderada a grave, el único tratamiento efectivo reconocido actualmente es la recompresión con oxígeno en una cámara hiperbárica. De forma colateral, la respuesta al tratamiento de recompresión es la única forma de confirmar un diagnóstico definitivo del síndrome mediante la desaparición de los signos clínicos y la eliminación del gas<sup>21</sup>. Debido a que se considera una afección potencialmente mortal, debe tratarse lo antes posible para maximizar las posibilidades de supervivencia y minimizar las lesiones tisulares ocasionadas por émbolos gaseosos en órganos vitales como los riñones, el corazón y el sistema nervioso central.

<sup>21</sup> FERRIGNO Y LUNDGREN (2003).

Fotografía 5. Recompresión de una tortuga en el interior de una cámara hiperbárica construida exprofeso para tortugas marinas



Antes de la terapia hiperbárica, se recomienda la aplicación del tratamiento de emergencia para el shock. En función de la gravedad de los signos clínicos, algunas de estas medidas podrían implementarse incluso a bordo de la embarcación durante el transporte a puerto. La terapia de apoyo básica está dirigida a promover la circulación sanguínea y la perfusión tisular, así como a recuperar la respiración voluntaria y la oxigenación tisular cuanto antes. Generalmente se administran de forma agresiva fluidos intravenosos, fármacos cardiotónicos, estimulantes respiratorios, analgésicos y/o terapia suplementaria con oxígeno normobárico a través de un tubo endotraqueal, una mascarilla o una unidad de cuidados críticos comercial. Si bien el uso de antiinflamatorios esteroideos (glucocorticoides) es controvertido debido a los posibles efectos secundarios, según la opinión de estos autores y sobre la base de experiencias preliminares con personas descomprimidas, los beneficios parecen superar los posibles riesgos. Se recomienda el uso de esteroides en casos moderados y graves. También se proporcionan antibióticos de amplio espectro y vitaminas suplementarias (especialmente el complejo B). Los controles posteriores al ingreso y tratamiento incluyen entre otros el monitoreo de electrolitos, hematocrito y ácido úrico. En base a estos parámetros se ajusta el régimen de fluidoterapia según lo indicado. La aspiración concurrente de agua de mar conlleva un peor pronóstico y las tortugas deben ser monitorizadas durante un mayor intervalo de tiempo post-admisión.

Debido a que los animales no pueden ser ventilados manual o mecánicamente dentro de la cámara hiperbárica utilizada por los autores, el tratamiento hiperbárico se aplica únicamente cuando las tortugas respiran de forma autónoma. Se podrían lograr más avances en cámaras más grandes donde los animales pudieran ser conectados a ventiladores mecánicos o incluso en cámaras diseñadas para el tratamiento humano donde los veterinarios y asistentes pudieran ingresar con la tortuga a tratar. Si la respiración cesa y la vía respiratoria queda cerrada, se limitaría la eliminación de nitrógeno lo que conllevaría la muerte del paciente dentro de la cámara.

Los protocolos de medicina humana más comunes utilizan tablas de recompresión-descompresión en las que la curva de tratamiento suele durar aproximadamente cinco horas y la presión máxima alcanzada es de 1,8 atmósferas de presión relativa (2,8 ATA)<sup>22</sup>, donde se alternan como gases terapéuticos el oxígeno puro y el aire atmosférico. Estas tablas pueden modificarse para alcanzar presiones más altas y diferentes mezclas de gases dependiendo de la gravedad del proceso y según el criterio del médico hiperbárico especialista. Como punto de partida, la mayoría de los protocolos estándar humanos proporcionaron buenos resultados y tasas de eliminación de gases en tortugas marinas descomprimidas; sin embargo, durante los primeros tratamientos en tortugas, el gas intravascular residual todavía estaba presente en algunos pacientes después de finalizado el ciclo de cinco horas. Posteriormente, se llevó a cabo una adaptación de estos protocolos para tortugas marinas teniendo en cuenta las características anatómicas y fisiológicas, lo que prolongó los regímenes de tratamiento dentro de la cámara (entre 12 y 14 horas). Llevar a cabo tratamiento más largo, acorde al metabolismo reptiliano, donde las frecuencias cardíaca y respiratoria son considerablemente menores que las de un mamífero, mejoró el resultado y resultó en la eliminación completa del gas patológico intra y extravascular. A diferencia de los protocolos usados en medicina humana, el oxígeno puro se utiliza en todo el procedimiento. Idealmente se deberían alternar ciclos de oxígeno puro con aire comprimido. Sin embargo, esto no es factible con la cámara que actualmente está disponible para los autores. Una presión inicial de 1,8 atm sobre la del nivel del mar (2,8 ATA) se mantiene durante las primeras dos horas y disminuye gradualmente durante las siguientes cuatro horas hasta 0,9 atm (1,9 ATA), donde la presión se equilibra para las siguientes seis horas. La presión se reduce gradualmente a la presión atmosférica (1 ATA) mediante la apertura de una válvula durante las últimas dos horas. Es esencial durante las fases de reducción de la presión observar la respiración del animal, ya que la contención de la respiración con una rápida descompresión externa podría conducir a un barotrauma pulmonar.

El protocolo de descompresión actual aún está en fase experimental y puede ajustarse según los diferentes requisitos técnicos (limitaciones de presión de la cámara) y la severidad de la presentación. Es recomendable evaluar el uso de presiones iniciales más elevadas bajo una mezcla de gases con concentraciones de oxígeno más bajas en los casos más severos para reducir el tamaño de la burbuja y facilitar la solubilización del nitrógeno y la difusión del oxígeno lo más rápidamente posible. Teniendo en cuenta las limitaciones de no poder acceder al paciente en la cámara, los casos muy graves, incluidos los pacientes comatosos y sin respiración, podrían someterse a protocolos más cortos (cinco horas de tratamiento) con el paciente intubado dentro de la cámara para equilibrar las presiones y permitir la difusión pasiva de oxígeno. Después del primer ciclo corto de recompresión, se puede asistir de nuevo al paciente fuera de la cámara y proporcionarle un tratamiento de apoyo antes de un nuevo ciclo de recompresión. Los ciclos se pueden repetir según sea necesario. De forma alternativa, si no se dispone de cámara hiperbárica o existen otras limitaciones para su uso (por ejemplo, el tamaño de una tortuga), el paciente se beneficiará si se lo coloca en un tanque hermético y se le permite respirar oxígeno puro normobárico.

<sup>22</sup> VANN *et al.* (2011)

Entre las líneas de trabajo que se están explorando y que supondrían un avance muy significativo en el tratamiento de la enfermedad, destaca el uso de perfluorocarbonos (PCF). Estos compuestos derivados de hidrocarburos están demostrando aplicaciones potencialmente muy interesantes por sus propiedades físicas y químicas. La alta capacidad de solubilización de oxígeno permite oxigenar los tejidos a la vez que podría favorecer la eliminación de las burbujas de nitrógeno tras solubilizarlo y transportarlo hasta los pulmones. Este tratamiento, aún en fase experimental, supondría una revolución al permitir el tratamiento in situ de pacientes afectados y la posible no dependencia de tratamiento hiperbárico.

Fotografía 6. Tortuga marcada con un sistema de seguimiento satélite ‘pop-up’ para evaluar supervivencia



## 9. Posibles estrategias para la mitigación de las capturas accidentales y su impacto sobre las poblaciones de tortugas marinas

Existen múltiples factores que contribuyen a que se produzca la interacción de las tortugas marinas con las diferentes artes de pesca. Conocerlos y aplicar estos conocimientos en los planes de gestión y las estrategias de mitigación es crucial para su éxito. Aspectos fundamentales de la biología de las tortugas marinas, el clima y las condiciones oceanográficas de la zona, así como factores intrínsecos a las artes de pesca empleadas afectan la probabilidad de interacción y el resultado final.

Según un estudio publicado por Finkbainer *et al.* (2011)<sup>23</sup>, después de la implementación de varias medidas de mitigación en la pesca en EEUU entre 1990 y 2007, se estimó que las

<sup>23</sup> FINKBEINER *et al.* (2011).

interacciones disminuyeron en aproximadamente el 60 % y las mortalidades en alrededor del 94 %, aunque los autores señalan que todavía hay margen de mejora. Las estrategias de reducción de las capturas accidentales basan su planteamiento en diferentes puntos de actuación dependiendo de la pesquería objetivo, las características de las especies capturadas, la acogida por parte de los pescadores y la eficacia de la supervisión regulatoria.

Las tortugas marinas pasan la mayor parte de su tiempo por encima de los 40 metros de profundidad<sup>24</sup>, lo que sugiere que las interacciones serán más probables cuando se configuren las artes de pesca como los anzuelos de palangre a menos de esta profundidad. Existen diversas comparativas en las que claramente demuestran una relación entre las pesquerías caladas a mayor profundidad y bajas tasas de captura de tortugas en comparación con las pesquerías poco profundas en diferentes países (Servicio Nacional de Pesca Marina de los EEUU, 2002)<sup>25</sup>. Sin embargo, si las tortugas enganchadas o enredadas en el equipo de palangre no pueden salir a la superficie para respirar, la tasa de mortalidad será mayor independientemente de la profundidad del encuentro.

La temperatura del agua parece jugar un doble papel en función de las condiciones y el tipo del arte de pesca, pudiendo favorecer las interacciones según las circunstancias. En agua más cálidas, el aumento de la actividad asociado a un mayor metabolismo de las tortugas se ha relacionado con una mayor tasa de captura en artes de pesca estacionarios, a la deriva y cebadas<sup>26</sup>. Por otro lado, las tortugas parecen ser menos activas durante los meses de invierno pasando más tiempo en el fondo<sup>27</sup> y estar más limitadas en su capacidad de respuesta para evitar la interacción con artes de pesca activos como las redes de arrastre de fondo<sup>28</sup>.

Otro tipo de fenómenos, como agregaciones estacionales, *hotspots* o áreas de alta fidelidad, que generalmente corresponden a usos biológicos y ecológicos, como alimentación, anidación y migración<sup>29</sup>, pueden predecir áreas con un mayor riesgo de captura accidental e identificar zonas que son especialmente importantes para poblaciones específicas de tortugas marinas o para determinadas fracciones poblacionales.

### 9.1. Sistemas de exclusión de tortugas marinas (*Turtle Exclusion Devices –TED–*)

Fruto de la alta incidencia de capturas accidentales en las pesquerías de camarón en los EEUU y el elevado número de tortugas varadas muertas presumiblemente asociadas a estas, se llevó a cabo el desarrollo de un sistema que permitiera favorecer la salida de tortugas marinas de las redes de pesca durante el arrastre mientras se mantenían las capturas de especies comerciales en el copo. Gracias a la colaboración entre la industria pesquera y el *National Marine Fisheries*

<sup>24</sup> SWIMMER *et al.*; (2002); POLOVINA *et al.* (2003 y 2004); WATSON *et al.* (2005).

<sup>25</sup> SPC (2001); POLOVINA *et al.* (2003).

<sup>26</sup> WATSON *et al.* (2005).

<sup>27</sup> HOCHSCHEID *et al.* (2005 y 2007).

<sup>28</sup> LUTCAVAGE y LUTZ (1991); STABENAU *et al.* (1991) y GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

<sup>29</sup> HENWOOD (1987) y KLEIBER y BOGGS (2000).

*Services* de los Estados Unidos, en 1980 se consiguió un sistema de diseño básico consistente en una rejilla en ángulo (barras metálicas u otro material) insertada en el cuello de la red de arrastre, de tal manera que fuerza a las tortugas (u otros objetos grandes que pudieran entrar en el copo) hacia una vía de escape mientras permite que los camarones avancen al extremo del copo con un mínimo porcentaje de pérdida en las capturas de especies objetivo. Existen diversos tamaños y modificaciones para adaptar su aplicación a los diferentes tipos de red, tipología del fondo marino o especie objetivo.

La implementación del uso de TED fue un proceso prolongado debido a su carácter voluntario inicial, lo que dilató su instauración en las flotas camaroneras hasta decretada su obligatoriedad en 1994. Posteriormente se han ido generando modificaciones para mejorar el sistema, así como su adaptación en artes a menor escala. El uso de TED en la flota de arrastre, redujo significativamente los varamientos de tortugas en épocas coincidentes con la pesca de camarón y la mortalidad directa asociada a la interacción observada en la flota de EEUU<sup>30</sup>. El empleo de esta herramienta para disminuir la captura y mortalidad de tortugas marinas y otro tipo de megafauna es un requerimiento comercial establecido por EEUU a todos los países terceros que pretendan comercializar sus productos pesqueros en EEUU. Curiosamente, aunque es un tema que lleva tiempo sobre la mesa, la Unión Europea aún no ha adoptado como obligatoria una medida de mitigación similar, por lo que concretamente en el Mediterráneo sigue habiendo un número de capturas accidentales de tortugas que se podría reducir significativamente con medidas similares a las planteadas por nuestros vecinos de Norteamérica.

## 9.2. Restricciones en los tiempos y profundidad de calado

### Pesca de arrastre

Restringir el tiempo que una embarcación de arrastre tiene sus redes en el agua de continuo no reduce necesariamente la tasa de captura, pero sí que afecta de forma notable a la tasa de mortalidad. Una menor duración de tiempo de arrastre (aunque esto requiera varios lances para igualar el tiempo total de arrastre) resulta en una menor mortalidad<sup>31</sup>. Se esperan tasas de mortalidad más altas como resultado de períodos más largos de inmersión forzada. Es importante tener en cuenta que además de la descompresión, otro tipo de consecuencias fisiológicas de la inmersión forzada se exacerban con un mayor tiempo de inmersión<sup>32</sup>.

En base a capturas experimentales, la probabilidad de muerte en arrastres menores a 10 minutos es insignificante, tiempo a partir del cual la probabilidad va aumentando de forma progresiva hasta alcanzar el punto de inflexión a los 50 minutos<sup>33</sup>. Según los análisis de factores

<sup>30</sup> EPPERLY (2002) y FINKBEINER *et al.* (2011).

<sup>31</sup> HENWOOD y STUNTZ (1987); WIBBELS (1989); CASALE *et al.* (2004) y SASSO y EPPERLY (2006).

<sup>32</sup> LUTZ y BENTLEY (1985); HARMS *et al.* (2003); STABENAU y VIETTI (2003); SNOODY *et al.* (2009) y WILLIARD (2013).

<sup>33</sup> SASSO y EPPERLY (2006).



de riesgo en los casos positivos en la Comunidad Valenciana, se encontró que, a los 65 metros de profundidad, la probabilidad de sufrir un grado de embolia gaseosa letal era del 50 %.

En base a estas y otras observaciones se han propuesto diferentes recomendaciones para posible disminución de la interacción de tortugas marinas con la pesca de arrastre. Dichas recomendaciones varían en función de la temperatura del agua (estación del año), en base a las diferencias metabólicas y en respuesta a la inmersión forzada observadas en las tortugas a diferentes temperaturas.

### Pesca de enmalle

En este caso existe una relación significativa entre el tiempo de calado del arte y la tasa de captura accidental<sup>34</sup>, mientras que se han descrito diferentes resultados en cuanto a la influencia del momento de calado sobre las capturas por efecto de la luz solar en la actividad de las tortugas<sup>35</sup>.

Disminuir el tiempo de calado de las redes tienen un efecto positivo en la reducción de la mortalidad de tortugas marinas asociadas a la captura<sup>36</sup> (Christiansen *et al.* 2015), pero aumenta de forma significativa la labor del pescador.

### Vedas y zonas de exclusión

Pese al impacto económico que pueda suponer la prohibición de la pesca en determinadas áreas o temporadas, un área cerrada puede ser una opción más deseable que una pesquería cerrada<sup>37</sup>. El establecimiento de rutas migratorias, migraciones estacionales, zonas de anidación, áreas de alimentación y otros puntos calientes de abundancia de tortugas marinas puede ayudar en el establecimiento de vedas o áreas de exclusión para la industria pesquera.

En las pesquerías de palangre del Mediterráneo, las tasas de captura accidental de tortugas marinas en áreas no costeras (más de 35 millas náuticas desde la costa) son hasta cuatro veces más altas que en la zona costera<sup>38</sup>. La presencia de tortugas marinas en mayor densidad se puede anticipar en áreas adyacentes a los principales sitios de anidación durante la temporada reproductiva<sup>39</sup> o dentro de áreas de alimentación<sup>40</sup>.

Estas medidas pueden ser efectivas para evitar áreas de elevada presencia de tortugas marinas y, por lo tanto, disminuir la probabilidad de interacción con los artes de pesca (reduciendo la mortalidad), pero siempre deben considerarse en un contexto de conservación completo.

<sup>34</sup> WATSON *et al.* (2005).

<sup>35</sup> BOLTEN *et al.* (2004).

<sup>36</sup> HARMS *et al.* (2003) y SNODDY *et al.* (2009).

<sup>37</sup> FAO (2009).

<sup>38</sup> BÁEZ *et al.* (2007).

<sup>39</sup> MARGARITOU LIS (2005) y SCHOFIELD *et al.* (2009).

<sup>40</sup> CASALE *et al.* (2008 y 2010).

El cierre de un área o temporada para reducir la captura accidental de algunas especies puede trasladar y concentrar el esfuerzo en otras áreas o períodos con consecuencias no deseadas<sup>41</sup> o más perjudiciales para otras especies. Por ejemplo, el cierre de la pesquería de pez espada con palangre desencadenó el desplazamiento del esfuerzo pesquero del Atlántico noroccidental hacia el Atlántico sur, donde había pocos o ningún control para controlar la captura accidental de tortugas marinas.

### Modificaciones de las redes de enmalle

La adaptación de las redes de enmalle teniendo en cuenta la biología y comportamientos de las tortugas marinas, puede reducir las interacciones con las mismas. Modificaciones en la longitud y altura de la red, adaptaciones para disminuir el efecto bolsa de la red, reducción del tamaño de luz de la malla, minimización del número de líneas de flotación, uso de luces led para facilitar la detección de las redes por parte de la tortuga... Son algunos ejemplos de las múltiples colaboraciones que se establecen entre conservacionistas, investigadores, gestores y pescadores para reducir el impacto de la pesca sobre especies no objetivo.

## Referencias bibliográficas

- BÁEZ, J. C.; REAL, R.; GARCÍA-SOTO, C.; DE SERNA, J. M.; MACÍAS, D. y CAMIÑAS, J. A. (2007): *Marine Ecology Progress Series* 338; pp. 249-256
- BOLTEN, A. B.; MARTINS, H. R.; ISIDRO, E.; SANTOS, M.; FERREIRA R. L.; BETTENCOURT, E. *et al.* (2004): «Experiment to Evaluate Gear Modification on Rates of Sea Turtle Bycatch in the Swordfish Longline Fishery in the Azores—Phase 1 and Phase 2»; in *Proceedings of the International Technical Expert Workshop on Marine Turtle By-Catch in Longline Fisheries. US Dep. Commerce. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/OPR-26*; pp. 139-153
- CASALE, P.; ABBATE, G.; FREGGI, D.; CONTE, N.; OLIVERIO, M. y ARGANO, R. (2008): «Foraging Ecology of Loggerhead Sea Turtles *Caretta caretta* in the Central Mediterranean Sea: Evidence for a Relaxed Life History Model»; *Marine Ecology Progress Series* 372; pp. 265-276. Disponible en: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v372/p265-276/>.
- CASALE, P.; AFFRONTI, M.; INSACCO, G.; FREGGI, D.; VALLINI, C.; PINO D'ASTORE, P. *et al.* (2010): «Sea Turtle Strandings Reveal High Anthropogenic Mortality in Italian Waters»; *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20; pp. 611-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/aqc.1133>.

<sup>41</sup> HALL *et al.* (2000).

- CASALE, P.; BRODERICK, A. C.; CAMINAS, J. A.; CARDONA, L.; CARRERAS, C.; Demetropoulos, A. *et al.* (2018): «Mediterranean Sea Turtles: Current Knowledge and Priorities for Conservation and Research»; *Endanger Species Res* 36; pp. 1-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>.
- CASALE, P.; LAURENT, L. y DE METRIO, G. (2004): «Incidental Capture of Marine Turtles by the Italian Trawl Fishery in the North Adriatic Sea»; *Biological Conservation* 119; pp. 287-95. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.11.013>.
- Council, National Research: *Decline of the Sea Turtles: Causes and Prevention* (National Academies Press, 1990).
- EPPERLY, S. P. (2002): «13 Fisheries-Related Mortality and Turtle Excluder Devices (TED)»; *The Biology of Sea Turtles* 2; p. 339.
- FAHLMAN, A.; CRESPO-PICAZO, J. L.; STERBA-BOATWRIGHT, B.; STACY, B. A. y GARCIA-PARRAGA, D. (2017): «Defining Risk Variables Causing Gas Embolism in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) Caught in Trawls and Gillnets»; *Scientific Reports* 7; pp. 3-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02819-5>.
- FAO (2001): «Fishing Gear Types. Technology Fact Sheets». Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/geartype/220/en>.
- FERRIGNO, M. y LUNDGREN, C. E. G. (2003): «Breath-Hold Diving»; en *Bennett and Elliotts' Physiology and Medicine of Diving 5th Edition*, ed. by A. O. Brubakk and T.S Neuman (Austin, Texas: Saunders, 2003); pp. 153-80.
- Finkbeiner, E. M.; Wallace, B. P.; Moore, J. E.; Lewison, R. L.; Crowder, L. B. y READ, A. J. (2011): «Cumulative Estimates of Sea Turtle Bycatch and Mortality in USA Fisheries between 1990 and 2007»; *Biological Conservation* 144; pp. 2719-2727. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.033>.
- GARCÍA-PARRAGA, D.; CRESPO-PICAZO, J. L.; BERNALDO DE QUIRÓS, Y.; CERVERA, V.; MARTÍ-BONMATI, L.; DÍAZ-DELGADO, J. *et al.* (2014): «Decompression Sickness («the Bends») in Sea Turtles»; *Diseases of Aquatic Organisms* 111; pp. 191-205.
- GARCÍA-PARRAGA, D.; LORENZO, T.; WANG, T.; ORTIZ, J. L.; ORTEGA, J.; CRESPO-PICAZO, J. L. *et al.* (2018): «Deciphering Function of the Pulmonary Arterial Sphincters in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*)»; *The Journal of Experimental Biology* jeb.179820. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/jeb.179820>.
- GEROSA, GUIDO y CASALE, P. (1999): «Interaction of Marine Turtles with Fisheries in the Mediterranean»; *Mediterranean Action Plan - UNEP, Regional Activity Centre For Specially Protected Areas*.
- GILMAN, E. y BIANCHI, G. (2010): *Guidelines to Reduce Sea Turtle Mortality in Fishing Operations. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries*.

- HALL, M. A.; ALVERSON, D. L. y METUZALS, K. I. (2000): «By-Catch: Problems and Solutions»; *Marine Pollution Bulletin* (41); pp. 204-219. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00111-9).
- HARMS, C. A.; MALLO, K. M. ROSS, P. M. y SEGARS, A. L. (2003): «Venous Blood Gases and Lactates of Wild Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) Following Two Capture Techniques»; *Journal of Wildlife Diseases* 39; pp. 366-74.
- HENWOOD, T. A. (1987): «Movements and Seasonal Changes in Loggerhead Turtle *Caretta Caretta* Aggregations in the Vicinity of Cape Canaveral, Florida (1978-84)»; *Biological Conservation* 40; pp. 191-202. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(87\)90085-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(87)90085-1).
- HENWOOD, T. A. y STUNTZ, W. E. (1987): «Analysis of Sea Turtle Captures and Mortalities during Commercial Shrimp Trawling»; *Fishery Bulletin* 85; pp. 813-17.
- HOCHSCHEID, S.; BENTIVEGNA, F. y HAYS, G. C. (2005): «First Records of Dive Durations for a Hibernating Sea Turtle»; *Biology Letters* 1; pp. 82-86. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2004.0250>.
- HOCHSCHEID, S. y Flegra Bentivegna, G. C.; BRADAI HAYS, M. N. (2007): «Overwintering Behaviour in Sea Turtles: Dormancy Is Optional»; *Marine Ecology Progress Series* 340; pp. 287-298. Disponible en: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v340/p287-298/>.
- KLEIBER, P. y BOGGS, C. H. (1999): *Workshop on Reducing Sea Turtle Takes in Longline Fisheries, Miami, August 31-September 1* (Honolulu Laboratory, Southwest Fisheries Science Center, National Marine..., 2000).
- LEWISON, R. L.; FREEMAN, S. A. y CROWDER, L. B. (2004): «Quantifying the Effects of Fisheries on Threatened Species: The Impact of Pelagic Longlines on Loggerhead and Leatherback Sea Turtles»; *Ecology Letters* 7; pp. 221-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00573.x>.
- LEWISON, R. L. y CROWDER, L. B. (2007): «Putting Longline Bycatch of Sea Turtles into Perspective»; *Conservation Biology* 21; pp. 79-86.
- LEWISON, R. L.; CROWDER, L. B.; WALLACE, B. P. MOORE, J. E.; COX, T.; ZYDELIS, R. *et al.* (2014): «Global Patterns of Marine Mammal, Seabird, and Sea Turtle Bycatch Reveal Taxa-Specific and Cumulative Megafauna Hotspots»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111; pp. 5271-5276.
- LUTCAVAGE, M. E. y LUTZ, P. L. (1991): «Voluntary Diving Metabolism and Ventilation in the Loggerhead Sea Turtle»; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 147; pp. 287-296. Disponible en: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981\(91\)90187-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981(91)90187-2).
- LUTZ, P. L. y BENTLEY, T. B. (1985): «Respiratory Physiology of Diving in the Sea Turtle»; *Copeia*; pp. 671-679.

- MARGARITOU, D. (2005): «Nesting Activity and Reproductive Output of Loggerhead Sea Turtles, *Caretta Caretta*, over 19 Seasons (1984-2002) at Laganas Bay, Zakynthos, Greece: The Largest Rookery in the Mediterranean»; *Chelonian Conservation and Biology* 4; pp. 916-929.
- POLOVINA, J. J.; HOWELL, E.; PARKER, D. M. y BALAZS, G. H. (2003): «Dive-Depth Distribution of Loggerhead (*Caretta Carretta*) and Olive Ridley (*Lepidochelys Olivacea*) Sea Turtles in the Central North Pacific: Might Deep Longline Sets Catch Fewer Turtles?»; *Fishery Bulletin* 101; pp. 189-193.
- POLOVINA, J. J.; BALAZS, G. H.; HOWELL, E. A.; PARKER, D. M.; SEKI, M. P. y DUTTON, P. H. (2004): «Forage and Migration Habitat of Loggerhead (*Caretta Caretta*) and Olive Ridley (*Lepidochelys Olivacea*) Sea Turtles in the Central North Pacific Ocean»; *Fisheries Oceanography* 13; pp. 36-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00270.x>.
- DE QUIRÓS, Y. B.; GONZÁLEZ-DÍAZ, O.; SAAVEDRA, P.; ARBELO, M.; SIERRA, E.; SACCHINI, S. *et al.* (2011): «Methodology for in Situ Gas Sampling, Transport and Laboratory Analysis of Gases from Stranded Cetaceans»; *Scientific Reports* 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep00193>.
- SASSO, C. R. y EPPERLY, S. P. (2006): «Seasonal Sea Turtle Mortality Risk from Forced Submergence in Bottom Trawls»; *Fisheries Research*, 81; pp. 86-88.
- SCHOFIELD, G.; MARTIN, L.; BISHOP, C.; BROWN, P.; KATSELIDIS, K.; DIMOPOULOS, P. *et al.* (2009): *Conservation Hotspots: Implications of Intense Spatial Area Use by Breeding Male and Female Loggerheads at the Mediterranean's Largest Rookery, Endangered Species Research*. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/esr00137>.
- SNODDY, J. E.; LANDON, M.; BLANVILLAIN, G. y SOUTHWOOD, A. (2009): «Blood Biochemistry of Sea Turtles Captured in Gillnets in the Lower Cape Fear River, North Carolina, USA»; *The Journal of Wildlife Management* 73; pp. 1394-1401. Disponible en: <https://doi.org/10.2193/2008-472>.
- SPC (2001): «A Review of Turtle By-Catch in the Western and Central Pacific Ocean Tuna Fisheries. A Report Prepared for the South Pacific Regional Environment Programme (SPREP)»; *South Pacific Regional Environment Programme* 26.
- STABENAU, E. K.; HEMING, T. A. y MITCHELL, J. F. (1991): «Respiratory, Acid-Base and Ionic Status of Kemp's Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys Kempfi*) Subjected to Trawling»; *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 99; pp. 107-111.
- STABENAU, E. K. y VIETTI, K. (2003): «The Physiological Effects of Multiple Forced Submergences in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*)»; *Fishery Bulletin* 101; pp. 889-899.
- VANN, R. D.; BUTLER, F. K.; MITCHELL, S. J. y MOON, R. E. (2011): «Decompression Illness»; *The Lancet* 377; pp. 153-164.

- WALLACE, B. P.; SELINA, S.; HEPPELL, R. L.; SHALEYLA KELEZ, L. y CROWDER, L. B. (2008): «Impacts of Fisheries Bycatch on Loggerhead Turtles Worldwide Inferred from Reproductive Value Analyses»; *Journal of Applied Ecology* 45; pp. 1076-1085; Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01507.x>.
- WALLACE, B. P.; KOT, C. Y.; DIMATTEO, A. D.; LEE, T.; CROWDER, L. B. y LEWISON, R. L. (2013): «Impacts of Fisheries Bycatch on Marine Turtle Populations Worldwide: Toward Conservation and Research Priorities»; *Ecosphere* 4; pp. 1-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/ES12-00388.1>.
- WALLACE, B. P.; LEWISON, R. L. MCDONALD, S. L.; MCDONALD, R. K.; KOT, C. Y.; KELEZ, S. *et al.* (2010): «Global Patterns of Marine Turtle Bycatch»; *Conservation Letters* 3; pp. 131-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00105.x>.
- WATSON, J. W.; EPPERLY, S. P.; SHAH, A. K. y FOSTER, D. G. (2005): «Fishing Methods to Reduce Sea Turtle Mortality Associated with Pelagic Longlines»; *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62; pp. 965-981.
- WIBBELS, T. (1989): «Shrimp Trawl-Induced Mortality of Sea Turtles during Short Duration Trawling»; *Marine Turtle Newsletter* 47; pp. 3-5.
- WILLIARD, A. S. (2013): «Physiology as Integrated Systems»; *The Biology of Sea Turtles* 3; pp. 1-30.
- WILSON, S. M.; RABY, G. D.; BURNETT, N. J.; HINCH, S. G. y COOKE, S. J. (2014): «Looking beyond the Mortality of Bycatch: Sublethal Effects of Incidental Capture on Marine Animals»; *Biological Conservation* 171; pp. 61-72.
- SWIMMER, Y.; BRILL, R. y MUSYL, M. (2002): «Use of Pop-Up Satellite Archival Tags to Quantify Mortality of Marine Turtles Incidentally Captured in Longline Fishing Gear»; *Marine Turtle Newsletter* 97; pp. 3-7.



# CALENTAMIENTO GLOBAL E IMPACTO HUMANO SOBRE LOS MAMÍFEROS MARINOS

*Alicia Borque-Espinosa*

Investigadora predoctoral de la Universitat de València  
Fundación Oceanogràfic de la Comunitat Valenciana

## Resumen

Casi la mitad de los mamíferos marinos del Mediterráneo están amenazados por el aumento de temperatura. Como importantes reguladores de la salud del ecosistema, su continuidad requiere de un cambio social, educativo y político que apoye a la comunidad científica para estudiar sus limitaciones biológicas. Este esfuerzo conjunto, permitirá estimar las consecuencias de nuestra actividad sobre su supervivencia, impulsando su conservación y la propia protección de nuestro patrimonio natural.

## Abstract

*Almost half the marine mammals in the Mediterranean are threatened by the rise in temperatures. As important regulators of the health of the ecosystem, their survival requires a social, educational and political change that will support the scientific community in studying their biological limitations. This joint effort will allow us to estimate the impact of our activity on marine mammals' survival, so that we can promote their conservation and protect our natural heritage.*

## 1. Introducción: el calentamiento global y el océano

La evolución del ciclo climático en el planeta Tierra ha estado condicionada por su propia historia geológica y por la dinámica del sistema solar. No obstante, desde el inicio de la revolución industrial y, en paralelo a nuestro propio éxito productivo, social y económico, se ha añadido un nuevo factor que ha modificado la intensidad y la velocidad de este ciclo natural: la elevada actividad humana. Los crecientes efectos del calentamiento global han sido demostrados durante las últimas décadas gracias al intenso esfuerzo científico para evaluar y cuantificar sus consecuencias. De una forma u otra, nuestra percepción de la magnitud de este fenómeno está cambiando, y aquellas 'incómodas' variaciones en las temperaturas o las lluvias, se han transformado en fenómenos meteorológicos extremos (fuertes sequías, olas de calor y de frío, grandes temporales, etc.) que evidencian nuestra delicada situación. El océano siempre ha tenido una elevada implicación en la regulación del clima global, pero su resilien-

cia ha terminado sucumbiendo ante nuestro creciente desarrollo, situando al ecosistema más grande del planeta en una posición de gran amenaza. El deshielo de los polos, la degradación de los grandes arrecifes de coral, o el aumento de las poblaciones de determinados organismos (*blooms*), son ejemplos del impacto del calentamiento global en el océano. El entorno natural está sufriendo grandes cambios, y los seres vivos deben encontrar nuevas alternativas para sobrevivir mientras su mundo cambia vertiginosamente. Dentro de la intrincada y delicada red que constituye el ecosistema marino, cada una de estas permutas tendrá efectos en los diferentes eslabones. Como consecuencia, hasta los grandes depredadores como los mamíferos marinos, deberán tomar importantes decisiones que determinarán la supervivencia de sus poblaciones.

## 2. Mamíferos marinos: qué son y por qué son importantes

El término mamífero marino engloba a un conjunto de especies que dependen de este medio acuático para su supervivencia (en mayor o menor medida). Todas ellas comparten con sus congéneres terrestres las características principales de esta clase de vertebrados: son capaces de regular su temperatura corporal (homeotermia) ayudados en parte por gruesas capas de grasa, respiran a través de los pulmones, presentan pelo en al menos alguna de las fases del desarrollo, las crías se desarrollan en el vientre de las hembras (viviparismo), y pasan por una fase de lactancia durante las etapas tempranas de vida. Sin embargo, debido a que esta agrupación se basa en cuestiones ecológicas, algunas especies están evolutivamente alejadas del resto. Esto señala la existencia de múltiples intentos de colonización del medio marino por parte de antecesores terrestres pertenecientes a diferentes linajes evolutivos, que probablemente buscaban nuevos recursos alimenticios en este medio acuático<sup>1</sup>. Después de millones de años de evolución, hoy en día convivimos con 131 especies<sup>2</sup> de mamíferos marinos (Figura 1) habitando todos los océanos del planeta, aunque su clasificación se encuentra bajo constante revisión<sup>3</sup>. Algunas de estas especies permanecen toda su vida sumergidas en el agua y son las más alejadas morfológicamente de sus parientes terrestres: las grandes ballenas con barbas (misticetos) y los delfines con dientes (odontocetos) forman el grupo de los cetáceos y, por otra parte, estarían los sirénidos (dugongos y manatíes), los únicos mamíferos marinos herbívoros. En general, estas especies presentan cuerpos morfológicamente hidrodinámicos, reducción o sustitución de las extremidades por aletas, pérdida casi total del pelo, reducción del sentido del olfato, e incluso migración de los orificio nasales hacia la parte posterior del cráneo (espiráculo) en los cetáceos.

El siguiente grupo serían los pinnípedos, aquellos mamíferos que se alimentan en el medio marino pero cuya anatomía les permite desplazarse por el medio terrestre, donde emergen eventualmente para descansar y reproducirse. Dentro de este grupo encontraríamos a los leones marinos (otáridos), las focas (fócidos) y las morsas (odobénidos). Estos cuentan con cuerpos

<sup>1</sup> BERTA *et al.* (2006).

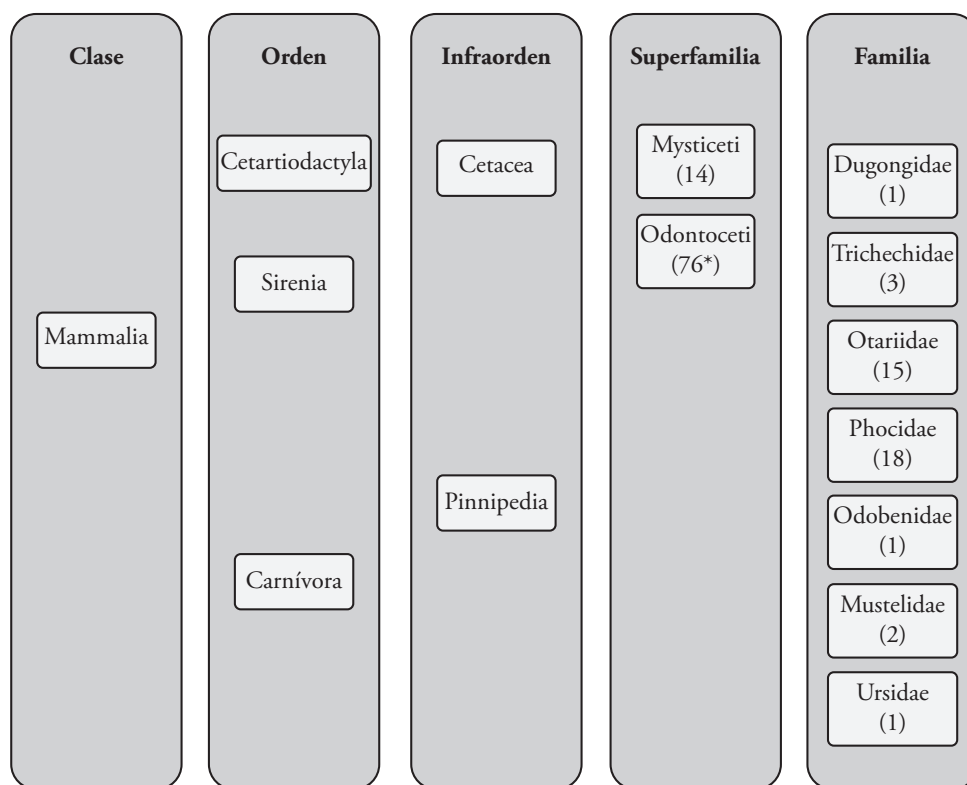
<sup>2</sup> UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA, UICN (2019).

<sup>3</sup> COMMITTEE ON TAXONOMY (2016).



hidrodinámicos y extremidades transformadas en aletas que les permiten la movilidad en ambos medios (aunque la gracilidad de su movimiento en tierra depende del grupo), mantienen el pelaje en diferentes grados, y poseen unos bigotes denominados *vibrisas* que les ayudan en su sentido del tacto. Por último, también se incluye dentro de los mamíferos marinos a los osos polares (úrsidos) y a las nutrias marinas (mustélidos). Estos animales todavía conservan sus cuatro extremidades sin transformar en aletas y sus sentidos se asemejan mucho más a los de los mamíferos terrestres, pero están completamente capacitados para el aprovechamiento de los recursos marinos. Este grupo de mamíferos presenta muchas otras particularidades y adaptaciones específicas<sup>4</sup>, algunas de las cuales se desarrollarán en detalle a lo largo del presente capítulo, para comprender cuáles son sus limitaciones biológicas frente al calentamiento global. Pero si algo tienen en común todos los mamíferos marinos es que, independientemente de su modo de vida, los encuentros con estos fantásticos animales han sido un elemento clave en la historia de la humanidad.

Figura 1. Clasificación de las principales superfamilias y familias consideradas como mamíferos marinos y número de especies actuales, incluidas en cada grupo, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)



\* 4 de las 76 especies solo han sido avistadas en aguas continentales.

<sup>4</sup> REIDENBERG (2007), PERRIN *et al.* (2009) y JEFFERSON *et al.* (2015).

## 2.1. Interacción humana con los mamíferos marinos: pasado y presente

Inicialmente, los mamíferos marinos (sobre todo los cetáceos) fueron objeto de respeto y temor, habitualmente representados como enormes peces que desprendían grandes cantidades de agua por los orificios de su cabeza. Posteriormente, comenzarían también a generar sentimientos de admiración, fascinación o misterio, y llenarían las diferentes culturas de nuestro planeta con fábulas, mitos, cuentos, novelas e incluso relatos religiosos, algunos de ellos tiznados de terror<sup>5</sup>. Cuando el ser humano sintió una mayor necesidad de explorar el medio marino y nuestros antepasados se adentraron mucho más en el vasto océano, comenzamos a explotar a estos animales en nuestro beneficio. Diversas civilizaciones utilizaron la piel, la carne, los huesos y la grasa de aquellos animales más accesibles debido a su curiosidad y tranquilidad y, durante mucho tiempo, fueron un recurso principal para muchas poblaciones. De hecho, hubo que esperar hasta la década de los años 70 para presenciar el asentamiento de un movimiento mundial en contra de la caza de ballenas, cuando muchas de sus poblaciones comenzaron a considerarse diezmadas<sup>6</sup>. Finalmente, sería en el año 1986 cuando entró en vigor la moratoria internacional sobre la caza de ballenas, la cual es regulada desde entonces por la Comisión Ballenera Internacional (*International Whaling Commission, IWC*)<sup>7</sup>. Aunque hoy en día la captura de mamíferos marinos todavía se mantiene con fines científicos o de subsistencia en ciertas regiones de nuestro planeta<sup>8</sup>, durante el siglo XX modificamos la percepción y el interés por nuestro entorno y el de los seres vivos que habitan en él. Por ello, los mamíferos marinos han pasado de ser criaturas descritas como terroríficas o perseguidas para nuestro consumo, a criaturas capaces de aflorar una notoria admiración, carisma y sensibilidad, así como un creciente sentimiento de protección. Actualmente, el impacto del calentamiento global y de otras amenazas relacionadas con la actividad humana, está poniendo en peligro la supervivencia de muchas especies de mamíferos marinos. La mayoría de ellos no tienen enemigos naturales, exceptuando algunos tiburones u otros mamíferos de su mismo grupo, y su causa de mortalidad más frecuente ha sido la contracción de enfermedades. Sin embargo, ya sea por su histórica explotación, como por la progresiva modificación de su entorno, el ser humano ha sido siempre su mayor peligro.

## 2.2. Valor ecológico

Cada uno de los seres vivos que habita nuestro planeta es poseedor de un gran valor intrínseco, por lo que todos ellos merecen de nuestra atención y respeto, ya que pertenecen a nuestro patrimonio natural. Sin embargo, en cada ecosistema encontramos un conjunto de especies que reportan un beneficio tal en términos ecológicos, que deben ser especialmente valorados. Los mamíferos marinos se encuentran, como muchas otras especies, en los eslabones más altos

<sup>5</sup> ROMAN (2008).

<sup>6</sup> ROMAN (2008).

<sup>7</sup> IWC (2019).

<sup>8</sup> ÁVILA *et al.* (2018) y IWC (2019).

de la cadena o pirámide alimentaria (trófica). Son voraces depredadores que mantienen en equilibrio a las poblaciones de presas, por lo que conservan la salud del ecosistema. Por desgracia, como consecuencia de esta elevada posición en la pirámide trófica, son acumuladores de los productos nocivos y contaminantes que incorporamos en el medio marino, por lo que también son utilizados como verdaderos indicadores del estado de salud del ecosistema. Asimismo, muchas de las poblaciones de estas especies que se encuentran dentro de programas de conservación, actúan como ‘especies paraguas’, ya que las propias acciones implementadas dentro de los programas específicos son beneficiosas colateralmente para especies que conviven con los mamíferos marinos protegidos. El creciente vigor por la conservación de este grupo de animales puede estar justificado debido a los sentimientos que despiertan en nuestra civilización, o debido al aumento de concienciación sobre nuestra responsabilidad en la protección del medio ambiente. Pero lo que verdaderamente justifica su valor de conservación (además de su propio valor intrínseco), es que mientras sigamos realizando avistamientos de estas especies significará que estamos manteniendo la salud del medio marino y, en consecuencia, la salud de nuestro propio mundo.

### 2.3. Estado global de conservación

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)<sup>9</sup> actualiza de forma periódica un listado sobre el estado de conservación de todas las formas de vida del planeta (*Lista Roja* de la UICN), incluyéndolas en diferentes categorías en función de su probabilidad de extinción y el área de distribución evaluada<sup>10</sup> (Figura 2). Este tipo de valoraciones presentan grandes desafíos que son en parte mitigados gracias al trabajo multidisciplinar de investigación.

No obstante, a pesar de los últimos avances tecnológicos y científicos, todavía no hemos equiparado el conocimiento del medio terrestre con el del medio marino<sup>11</sup>. Este hecho se refleja en que los mamíferos marinos suponen únicamente un 2 % de la totalidad de mamíferos conocidos, pero la proporción de especies marinas bajo la categoría «datos insuficientes» es mayor con respecto a la de las terrestres<sup>12</sup> (Figura 3). Por otra parte, el porcentaje de especies extintas duplica al de las especies terrestres, y la proporción de especies que han sido determinadas como amenazadas (suma de las categorías CR, EN y VU, ver Figura 2), asciende al 27 %, frente al 21 % en el caso de sus congéneres terrestres (Figura 3). Además, cabe destacar que si tenemos en cuenta a las especies de las que no tenemos información suficiente (las cuales podrían estar también amenazadas), el rango de amenaza de los mamíferos marinos estaría entre el 27-47 % frente al 21-36 % de los terrestres, evidenciando la crítica situación de los primeros<sup>13</sup>.

<sup>9</sup> Del inglés: *International Union for Conservation of Nature* (IUCN).

<sup>10</sup> UICN (2012a).

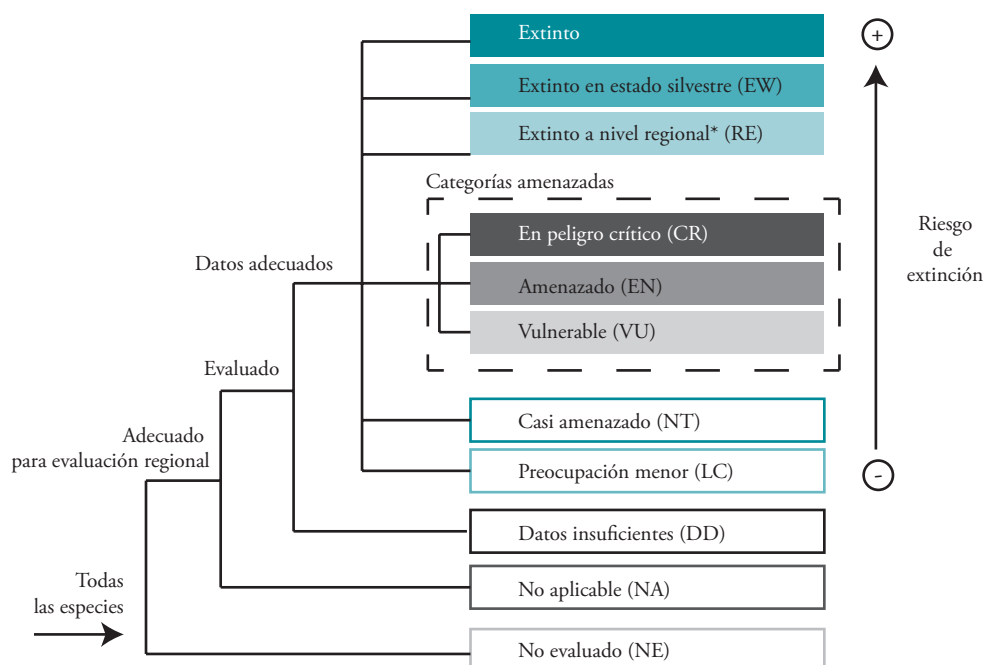
<sup>11</sup> SCHIPPER *et al.* (2008).

<sup>12</sup> SCHIPPER *et al.* (2008).

<sup>13</sup> SCHIPPER *et al.* (2008).

Aunque estas cifras han disminuido en los últimos años<sup>14</sup> gracias al aumento del estudio de las poblaciones y a la implementación de programas de conservación, los datos presentados en el presente capítulo siguen mostrando la necesidad de incrementar la información sobre el medio marino, y a su vez, manifiestan las consecuencias que está sufriendo el mayor ecosistema de nuestro planeta.

Figura 2. Categorías sobre el estado de amenaza en función de la probabilidad de extinción, establecidas por la UICN para la actualización de la *Lista Roja* de especies

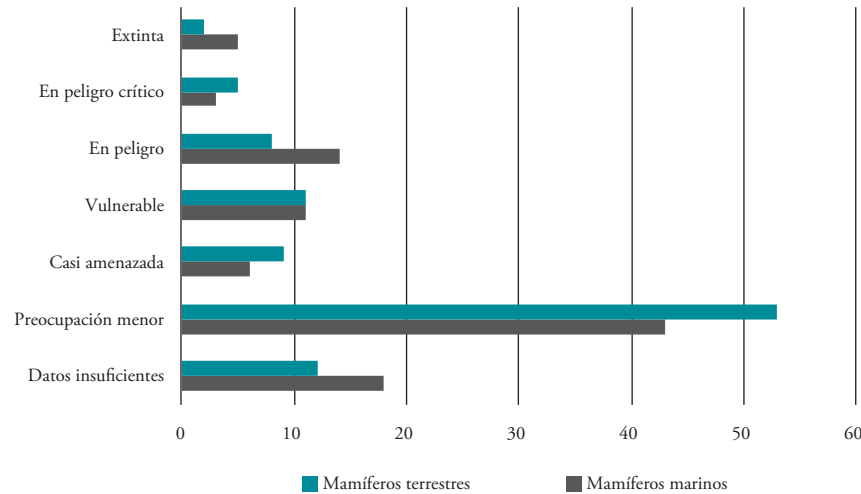


\* Esta clasificación es aplicable tanto a especies como a grupos taxonómicos, pudiendo variar en función el área de distribución evaluada.

Fuente: UICN (2012a).

<sup>14</sup> UICN (2019).

Figura 3. Diagrama que muestra la proporción de especies de mamíferos marinos (anillo interno) y de mamíferos terrestres (anillo externo), incluidas por la UICN en cada una de las categorías de la *Lista Roja*



\* Solo se indican las categorías en las que hay al menos una especie. La categoría «Extinta en estado silvestre» no aparece representada en el diagrama debido a su baja proporción (dos especies de mamíferos terrestres).

Fuente: UICN (2012a).

### 3. Mamíferos marinos del mar Mediterráneo

El Mediterráneo es un mar semicerrado que cuenta con una amplia variedad de ambientes costeros y profundos, estructuras geológicas submarinas, y dinámicas oceanográficas que resultan en la posibilidad de una elevada riqueza de hábitats y áreas de gran productividad. Como consecuencia, sostiene una gran concentración de vida y acoge un diverso y singular número de especies, motivo por el que ha sido reconocido como uno de los puntos calientes de biodiversidad (*biodiversity hot spot*) más importantes del planeta, con aproximadamente un 20 % de especies exclusivas o endémicas de este mar<sup>15</sup>. La distribución geográfica de los mamíferos marinos viene determinada por la temperatura del mar, la morfología de la costa o topografía del fondo marino, la abundancia del alimento (directamente relacionada con las corrientes oceánicas), así como por la intensidad de la actividad humana<sup>16</sup>. En el mar Mediterráneo tenemos la suerte de contar con 11 especies de mamíferos marinos residentes<sup>17</sup> (Tabla 1), registradas a lo largo de todo el año y que crían en la región, siendo una de ellas el segundo mamífero marino más grande del planeta: el rorcual común. Además, nuestro mar también es visitado de forma eventual o aislada

<sup>15</sup> UICN (2012b) y Pace *et al.* (2015).

<sup>16</sup> UICN (2012b) y Pace *et al.* (2015).

<sup>17</sup> PACE *et al.* (2015).

por otras 10 especies<sup>18</sup> (Tabla 2). Según la UICN, más de la mitad de las especies residentes están disminuyendo sus poblaciones y se encuentran clasificadas bajo diferentes categorías de amenaza (Tabla 1), destacando el estado de la foca monje del Mediterráneo, cuya población se encuentra entre los 350-450 individuos maduros<sup>19</sup>.

Tabla 1. Especies de mamíferos marinos visitantes\* y errantes del mar Mediterráneo. Distribución y categoría global de clasificación en la *Lista Roja* según la UICN (2019)

Grupo	Especie	Nombre común	Distribución	Categoría
Odontocetos	<i>Hyperoodon ampullatus</i> (Foster, 1770)	Zifio calderón boreal	Oceánica	DD
	<i>Kogia sima</i> (Owen, 1866)	Cachalote enano	Oceánica	DD
	<i>Mesoplodon densirostris</i> (Blainville, 1817)	Zifio Blainville	Oceánica	DD
	<i>Mesoplodon europaeus</i> (Gervais, 1855)	Zifio de Gervais	Oceánica	DD
	<i>Pseudorca crassidens</i> (Owen, 1846)	Falsa orca*	Nerítica/océánica	NT
Misticetos	<i>Balaenoptera acutoristrata</i> (Lacépède, 1804)	Rorcual aliblanco*	Nerítica/océánica	LC
	<i>Megaptera novaeangliae</i> (Borowski, 1781)	Ballena jorobada*	Nerítica/océánica	LC
	<i>Balaenoptera borealis</i> (Lesson, 1828)	Rorcual boreal	Nerítica/océánica	EN
	<i>Eubalaena glacialis</i> (P. L. S Müller, 1776)	Ballena franca del norte	Nerítica/océánica	EN
	<i>Eschrichtius robustus</i> (Lilljeborg, 1861)	Ballena gris	Nerítica/océánica	LC

Tabla 2. Especies de mamíferos marinos residentes en el mar Mediterráneo. Distribución y categoría de la *Lista Roja* según la UICN referida únicamente a las poblaciones mediterráneas

Grupo	Especie	Nombre común	Distribución	Categoría
Odontocetos	<i>Delphinus delphis</i> (Linnaeus, 1758)	Delfín común	Nerítica/océánica	EN
	<i>Globicephala melas</i> (Traill, 1809)	Calderón común	Oceánica	DD
	<i>Grampus griseus</i> (G. Cuvier, 1812)	Calderón gris	Oceánica	DD
	<i>Orcinus orca</i> (Linnaeus, 1758)	Orca*	Costera	CR
	<i>Physeter macrocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	Cachalote	Nerítica/océánica	EN
	<i>Stenella coeruleoalba</i> (Meyen, 1833)	Delfín listado	Oceánica	VU
	<i>Steno bredanensis</i> (Cuvier in Lesson, 1828)	Delfín de dientes rugosos*	Costera/nerítica	NE
	<i>Tursiops truncatus</i> (Montagu, 1821)	Delfín mular	Nerítica/océánica	VU
	<i>Ziphius cavirostris</i> (Cuvier, 1823)	Ballena de Cuvier	Nerítica/océánica	DD
Misticetos	<i>Balaenoptera physalus</i> (Lannaenus, 1758)	Rorcual común	Nerítica	VU
Fócidos	<i>Monachus monachus</i> (Hermann, 1779)	Foca monje del Mediterráneo	Costera/nerítica	CR

\* Estas dos especies han sido históricamente consideradas como visitantes del Mediterráneo. No obstante, Pace et al. (2015) las añaden al cómputo de especies residentes debido a que algunas poblaciones se están asentando en el estrecho de Gibraltar (orca) y en la cuenca levantina (delfín de dientes rugosos).

<sup>18</sup> PACE et al. (2015).

<sup>19</sup> UICN (2019).

Además, a las especies restantes no se les ha asignado ninguna categoría de amenaza debido a la ausencia de evaluación o la falta de información, por lo que el porcentaje de especies amenazadas podría ser aún mayor. La elevada proporción de especies amenazadas en la cuenca mediterránea<sup>20</sup> es un claro reflejo de la nueva realidad de nuestro mar, el cual se está transformando poco a poco en un hogar inhóspito para la singular vida que contiene.

### *Un mar lleno de vida, aunque colmado de amenazas*

Antiguamente, los mamíferos marinos en el mar Mediterráneo también fueron capturados por su aceite, huesos y carne<sup>21</sup>, pero hoy en día, los dos tercios de las especies catalogadas bajo amenaza en nuestro mar se enfrentan a un conjunto de peligros que resultan de una actividad muy diferente. La UICN ha establecido hasta 12 categorías generales de amenazas para los seres vivos del planeta, que se subdividen en función de los diferentes tipos de actividad. En el caso de los mamíferos marinos del mar Mediterráneo identificamos 8 de estas categorías, cuyo origen, tipología y consecuencias son brevemente tratadas en el presente capítulo (Tabla 3), siendo especialmente recomendable la consulta en detalle de sus complejas interacciones en la profunda revisión de Pace *et al.* (2015).

Tabla 3. Categorías de amenaza, actividades de origen humano implicadas, y consecuencias directas e indirectas para los mamíferos marinos. Se indican únicamente las categorías que encontramos en el mar Mediterráneo según la UICN

Categoría	Actividades implicadas	Consecuencias
Desarrollo residencial y comercial	Expansión urbana, industrial, comercial, turística y de ocio	Modificaciones en el medio natural
Corredores o vías de transporte y servicios	Tráfico marítimo, turístico, recreativo y comercial	Colisiones, muertes accidentales, incremento de contaminantes (químicos y acústicos) y estrés
Uso de los recursos biológico	Sobreexplotación, pesquera y pesca menor	Capturas accidentales ( <i>bycatch</i> ) y disminución de recursos alimenticios
Perturbaciones	Actividades de ocio, trabajo o maniobras militares	Modificaciones en el medio y estrés
Modificaciones del sistema natural	Cualquier tipo de transformación del medio	Pérdida de salud y calidad del sistema
Interacciones	Interespecíficas (con otras especies): especies invasoras o patógenos	Aumento de la competencia y mortalidad por enfermedades
	Intraespecíficas (con la propia especie): disminución del contacto con otras poblaciones aldeanas	Pérdida de variabilidad genética
Contaminación	Elementos fisicoquímicos: hidrocarburos, metales pesados, basura, etc.	Depresión del sistema inmune, disminución de la reproducción, ingestión de basura y animales atrapados
	Elementos energéticos: ruido, luz, radiación, etc.	Interferencia con los sistemas de emisión y recepción del sonido
Cambio climático	Aumento de temperatura, del dióxido de carbono disuelto en el agua y variaciones en la salinidad	Perturbaciones integrales del equilibrio del ecosistema*

\* Las consecuencias del cambio climático son tratadas en particular en el siguiente apartado.

<sup>20</sup> ÁVILA *et al.* (2018).

<sup>21</sup> PACE *et al.* (2015).

En la ‘pequeña’ cuenca mediterránea, hemos conseguido reunir la colección completa de impactos sobre el medio marino, ya que las 4 categorías restantes propuestas por la UICN están más vinculadas al medio terrestre o a las catástrofes naturales. Aunque es cierto que también hay factores ecológicos que afectan a los mamíferos marinos, como las interacciones con otras especies, la proporción de impactos de origen humano es incomparable. El tipo de amenaza y el grado de afectación varía en función de las características biológicas y ecológicas de cada especie, por lo que las que compartan hábitos tendrán amenazas comunes, mientras que otros peligros tendrán consecuencias en un grupo reducido de especies. Por ello, no es de extrañar que el delfín mular, una de las especies de distribución más amplia y comportamiento menos tímido, sea la especie que reúna el mayor número de impactos. O que aquellas especies menos ubiquestas, más reservadas, menos conocidas, y que viven a mayor profundidad, como el delfín de dientes rugosos, el calderón gris, la ballena de cuvier o el cachalote, sean las que reúnan un número menor (Gráfico 1). Independientemente, la cantidad de tipos de impactos no determina por sí sola el grado de amenaza de las especies, ya que el grado de afectación también tiene que ver con las características del área que sufre la perturbación y, sobre todo, de la intensidad de esta. La costa mediterránea presenta una elevada presión turística y comercial que incrementa sustancialmente la interacción con el medio marino<sup>22</sup>. Además, los efectos de nuestra actividad no son independientes, sino que en la mayoría de los casos son acumulativos y actúan de forma sinérgica. De hecho, estudios recientes han situado a la cuenca mediterránea como uno de los mares más amenazados de todo el planeta debido a su gran concentración de impactos<sup>23</sup>, y la gravedad es todavía mayor si tenemos en cuenta su elevada riqueza de biodiversidad y endemismos. Las especies de mamíferos marinos del mar Mediterráneo están en su mayoría amenazadas por el uso de recursos biológicos, la contaminación, y las perturbaciones (Gráfico 2). No obstante, los efectos del calentamiento global están produciendo notables modificaciones en las dinámicas oceanográficas, con estimas de un aumento de la temperatura de hasta 0,35 °C por década entre los años 2000 y 2100, por lo que nuestra cuenca ha llegado a ser considerada como una de las regiones de mayor vulnerabilidad ante este cambio.

Diversos análisis apuntan a que los efectos del calentamiento global van a determinar el futuro de la biodiversidad del mar Mediterráneo y, en el caso de los mamíferos marinos, ya contamos con el 45 % de las especies bajo su amenaza (Gráfico 2). Pero para comprender cómo perjudica este fenómeno a estos animales, debemos empezar a pensar en el océano como un conjunto de factores estrechamente interconectados.

<sup>22</sup> PACE *et al.* (2015) y LEJEUSNE *et al.* (2010).

<sup>23</sup> HALPERN *et al.* (2008) y ÁVILA *et al.* (2018).

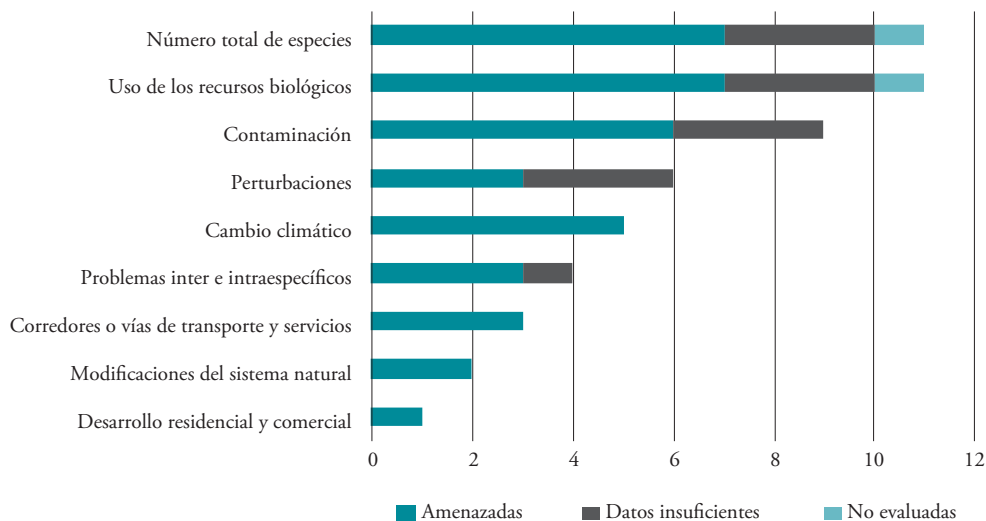


Gráfico 1. Principales impactos que amenazan las poblaciones de las especies de mamíferos marinos residentes en el mar Mediterráneo

	Delfin mular	Foca monje	Rorcual común	Delfin listado	Orca	Calderón común	Delfin común	Cachalote	Ballena de Cuvier	Calderón gris	Delfin de dientes rugosos
Cambio climático											
Contaminación											
Problemas inter e intraespecíficos											
Modificaciones del sistema natural											
Perturbaciones											
Uso de los recursos biológicos											
Corredores o vías de transporte											
Desarrollo residencial y comercial											
<b>Número de impactos sobre total (8)</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

\* Las actividades concretas, así como la intensidad de sus efectos pueden ser consultadas en detalle en UICN (2019).

Gráfico 2. Número de especies de mamíferos marinos del mar Mediterráneo agrupadas por categoría de amenaza y diferenciadas por su estado de conservación



## 4. El futuro de los mamíferos marinos: un nuevo escenario ecológico

La dinámica de los ecosistemas está determinada por las características fisicoquímicas del entorno (factores abióticos) y la actividad de los seres vivos que habitan en este (factores bióticos), de forma que los cambios producidos en cualquiera de los niveles tendrán consecuencias en el sistema. Este ciclo periódico ‘causa-efecto’ ha sido un proceso natural sobre el cual ha operado la evolución para la regulación del funcionamiento de los ecosistemas. Sin embargo, la velocidad de cambio del calentamiento global es demasiado elevada en comparación a la de los procesos terrestres, por lo que el equilibrio natural está siendo alterado<sup>24</sup>. El aumento de la temperatura global se debe a la creciente producción del principal gas de efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este patrón físico y químico se extiende hasta el medio acuático, por lo que ambos factores son culpables de las alteraciones que están sufriendo el océano y todos sus habitantes<sup>25</sup>. Por una parte, el aumento del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua aumenta la acidificación del medio marino, por lo que muchos organismos dependientes de la composición química del agua, como diversos componentes de la base de la pirámide alimentaria (fitoplancton y zooplancton), están viendo comprometida su supervivencia. Por otra parte, el aumento de temperatura induce el deshielo de los polos y el aumento del nivel del mar, variaciones en la salinidad del medio, aumento del rango de las latitudes templadas, cambios en la dinámica del viento, de las corrientes y de los ciclos oceanográficos<sup>26</sup>. Como consecuencia, el hábitat de muchas especies está desapareciendo poco a poco, las especies cuya supervivencia depende de la temperatura están modificando su área de distribución, y las poblaciones de organismos que sustentan las cadenas tróficas también están disminuyendo su abundancia por el cambio en las dinámicas oceánicas<sup>27</sup>. En el caso particular de los mamíferos marinos, muchas especies sufren de forma directa los cambios en la temperatura: las especies ligadas al medio terrestre o regiones cubiertas de hielo están perdiendo su hábitat, y aquellas cuya biología está adaptada a latitudes concretas podrían ver reducido su rango de distribución<sup>28</sup>. Por último, otras especies más tolerantes a los cambios de temperatura podrían aumentar su distribución geográfica, pero con la consecuente incertidumbre en cuanto a la cantidad y calidad de recursos, así como a la presencia de especies competidoras o depredadoras que puedan encontrar<sup>29</sup>.

Al mismo tiempo, las consecuencias del calentamiento global sobre la estructura de los factores bióticos del ecosistema marino derivan en un impacto indirecto de vital relevancia: el acceso a los recursos alimenticios. Las especies de mamíferos marinos que dependen de las áreas de gran productividad primaria se enfrentan a épocas de escasez de alimento, viéndose especialmente afectadas las especies que invierten un inmenso gasto energético durante sus

<sup>24</sup> SIMMONDS y ISAAC (2007).

<sup>25</sup> GIBSON *et al.* (2007) y BRIERLEY y KINGSFORD (2009).

<sup>26</sup> BRIERLEY y KINGSFORD (2009).

<sup>27</sup> GIBSON *et al.* (2007).

<sup>28</sup> SIMMONDS y ISAAC (2007) y GIBSON *et al.* (2007).

<sup>29</sup> GIBSON *et al.* (2007).

extensas migraciones<sup>30</sup>. O también aquellas especies que están especializadas en la explotación de un recurso alimenticio concreto, debido a estructuras o comportamientos específicos, o porque sus presas son nutricionalmente óptimas para su supervivencia. Como resultado de los cambios en la distribución y la abundancia del alimento, algunas especies deberán optar por consumir recursos menos nutritivos, y otras quizás tendrán que realizar un esfuerzo mayor durante su búsqueda<sup>31</sup>, lo que conllevaría posibles variaciones en su distribución, comportamiento, éxito reproductivo, abundancia de individuos, y susceptibilidad ante la contaminación y las enfermedades<sup>32</sup>.

Como hemos visto en el apartado anterior, las estimas y evaluaciones del posible marco futuro en el mar Mediterráneo no son para nada esperanzadoras, y podemos pronosticar cualquiera de los escenarios descritos. El cambio en la temperatura del agua, la salinidad, y la acidificación<sup>33</sup>, podrían no tener consecuencias directas sobre la supervivencia de los mamíferos marinos, pero producirán cambios en la distribución y abundancia del plancton que tendrán repercusiones en los niveles consecutivos, hasta alcanzar a las especies de mamíferos marinos. También podría tener lugar la instalación definitiva de nuevas especies que conllevaría al aumento de la competencia por el alimento. La respuesta del ecosistema es la que está evidenciando el principal problema: el ritmo del cambio climático no permite una adaptación progresiva, sino que nos está conduciendo hacia un cambio vertiginoso del que no tenemos control. Los mamíferos marinos van a depender de su respuesta biológica ante las variaciones del entorno, mientras que la salud del ecosistema seguirá dependiendo de su existencia. Y será la búsqueda y óptima adquisición del alimento, uno de los principales factores que intervendrán en el devenir de estas especies.

## 5. Alimentarse o respirar, esa es la cuestión

Desde su exitoso regreso al medio acuático, el océano ha moldeado las características biológicas de los mamíferos marinos, proporcionándoles las herramientas que les han permitido su eficaz explotación, pero alejándoles evolutivamente de sus parientes terrestres<sup>34</sup>. Uno de los principales factores implicados fue el diverso mundo de posibilidades nutritivas, que favoreció la aparición de una elevada diversidad de adaptaciones y estrategias alimenticias, y permitió el acceso a los recursos. Como resultado, actualmente encontramos desde especies herbívoras, hasta especies carnívoras que se alimentan de una gran variedad de presas (*krill*, animales con conchas o gelatinosos, peces, aves, e incluso otros mamíferos) mediante sistemas de filtración, estrategias de caza cooperativa, e incluso elaboradas técnicas de confusión para sus presas<sup>35</sup>. No obstante, sobrevivir en el medio marino supuso todo un reto: el agua era más densa que el

<sup>30</sup> GIBSON *et al.* (2007) y SIMMONDS y ISAAC (2007).

<sup>31</sup> GIBSON *et al.* (2007).

<sup>32</sup> LIONELLO *et al.* (2012).

<sup>33</sup> LIONELLO *et al.* (2012).

<sup>34</sup> BERTA *et al.* (2006).

<sup>35</sup> JEFFERSON *et al.* (2015) y BERTA *et al.* (2006).

aire y la presión ambiental aumentaba con la profundidad, la temperatura corporal se perdía más rápidamente, y la oscuridad total se cernía a elevadas profundidades. Pero, sin lugar a duda, hubo un factor decisivo que determinó la dirección de la evolución de estos animales, y es que, mientras su alimento se encontraba sumergido, su acceso al oxígeno ( $O_2$ ) permanecía en la superficie. Debido a las grandes diferencias y limitaciones ecológicas que supuso la colonización del medio marino, este grupo de mamíferos no solo tuvo que adquirir diversas adaptaciones anatómicas y sensoriales<sup>36</sup>, sino que también tuvieron que modificar su fisiología. Los mecanismos fisiológicos engloban al conjunto de procesos celulares que, bajo unas condiciones ambientales determinadas, permiten el correcto funcionamiento de los órganos y la integración de los diferentes sistemas. Aunque todas las funciones de los procesos fisiológicos son de vital relevancia, podríamos destacar dos aspectos básicos para el éxito de la colonización de un ambiente: el coste que supone alcanzar un estado de bienestar en el nuevo medio, y el compromiso entre la eficacia en la asimilación del recurso alimenticio y el precio energético de su búsqueda. Esto condujo a que la presión evolutiva también favoreciera la aparición de modificaciones fisiológicas que permitieran la supervivencia de los mamíferos marinos en los diferentes hábitats donde se encontraba su alimento favorito y, gracias a ello, hoy en día su riqueza de especies se extiende desde el norte hasta el sur de los océanos de nuestro planeta, llegando incluso a alcanzar las grandes profundidades del océano. Como única consecuencia, el precio que tuvieron que pagar los mamíferos marinos para lograr el equilibrio entre la adquisición de energía y su consumo, resultó en uno de los comportamientos que mayor fascinación ha causado entre la comunidad científica: el buceo.

### *¿Qué sucede cuando los mamíferos marinos se sumergen?*

La respiración es un proceso que consiste en la utilización de  $O_2$  para la producción de energía y la consecuente formación de  $CO_2$ , y los principales sistemas implicados en los animales pulmonados son: el sistema respiratorio que se encarga de facilitar el acceso del aire exterior introduciéndolo en el organismo, y el sistema circulatorio cuya función es el reparto del  $O_2$  desde los pulmones hasta los órganos, tejidos y, finalmente, las células. Estos dos sistemas deben tener una conexión y sincronización perfectas para poder realizar su tarea de forma efectiva, siendo los procesos fisiológicos los que se encargan de integrarlos. Los mamíferos marinos poseen parte de los mecanismos fisiológicos originales de sus ancestros terrestres, pero moldeados y optimizados para permitir largos periodos sin aporte de  $O_2$  bajo la superficie del océano. A grandes rasgos, cuando los mamíferos marinos llenan sus pulmones de aire antes de comenzar la inmersión, se produce un aumento de la frecuencia cardiaca (taquicardia) con el fin de repartir rápidamente el  $O_2$  y preparar todos los tejidos para el buceo. Muchas especies tienen una mayor cantidad de glóbulos rojos, las células sanguíneas que contienen la proteína encargada de la captación del oxígeno: la hemoglobina. Además, también es característica la elevada presencia en el músculo de otra proteína cuya afinidad por el oxígeno es aún mayor:

<sup>36</sup> BERTA *et al.* (2006) y REIDENBERG (2007).

la mioglobina. Por ello, el paso de la sangre por los pulmones retira rápidamente el oxígeno que será depositado en todos los tejidos, pero con mayor afinidad en los músculos, preparándolos para el elevado gasto energético del buceo. Muy poco después tiene lugar una disminución de la frecuencia cardíaca (bradicardia) y una restricción diferencial de la circulación sanguínea (vasoconstricción), de forma que el  $O_2$  restante es enviado a los órganos de mayor importancia como el corazón y el cerebro, evitando los órganos viscerales que disminuyen su actividad (metabolismo). Además, estos animales han desarrollado una locomoción muy eficaz durante el buceo que, ayudada por sus cuerpos hidrodinámicos, les convierte en verdaderos ahorradores energéticos. Finalmente, cuando estos animales ascienden hacia la superficie, se produce nuevamente una taquicardia y la recirculación de la sangre, con el fin de recoger el  $CO_2$  producido y como anticipación al reparto del nuevo  $O_2$ .

Los ajustes fisiológicos que tienen lugar durante el buceo son un compromiso entre conseguir el objetivo de la inmersión (alimento), el tiempo y el gasto necesario de  $O_2$ . Un océano donde cada vez sea más difícil encontrar el alimento, desequilibra el balance energético de esta ecuación, ya que el coste de la búsqueda podría no verse recompensado. Estos animales pueden tener respuestas fisiológicas diferenciales en función de sus necesidades, pero lo que no pueden es modificar completamente sus mecanismos debido a un drástico cambio en su entorno. Pero ¿sabemos dónde están sus límites fisiológicos?

## 6. Últimos avances en el estudio fisiológico de los mamíferos marinos

El estudio del comportamiento del buceo siempre ha conllevado una gran dificultad debido a nuestras limitaciones tecnológicas, pero gracias al reciente desarrollo en la exploración marina<sup>37</sup>, hoy en día hemos podido registrar récords de inmersiones de más de una hora de duración y kilómetros de profundidad en algunas especies<sup>38</sup>, lo que demuestra la gran capacidad fisiológica de estos animales. Además, el intenso esfuerzo científico a lo largo de las últimas décadas ha conducido a una mejora sustancial del entendimiento de los ajustes que tienen lugar durante el buceo, que pueden ser estudiados y consultados incluso en volúmenes específicos<sup>39</sup>. Las primeras investigaciones trataron sobre el estudio de la capacidad de los mamíferos marinos para permanecer largos periodos de tiempo sin renovación de  $O_2$ <sup>40</sup>. Paralelamente, los investigadores también dirigieron su progreso hacia el estudio de la anatomía<sup>41</sup> (estructura, composición y morfología) y del funcionamiento de los procesos respiratorios<sup>42</sup> (mecánica pulmonar), por lo que empezamos a descubrir algunas de las características que los diferencian

<sup>37</sup> CASTELLINI (2012).

<sup>38</sup> BERTA *et al.* (2006), PONGANIS (2011) y ROBERT-COUDERT *et al.* (2018).

<sup>39</sup> CASTELLINI y MELLISH (2015) y PONGANIS (2015).

<sup>40</sup> CASTELLINI (2012).

<sup>41</sup> PISCITELLI *et al.* (2010) y MOORE *et al.* (2014).

<sup>42</sup> FAHLMAN *et al.* (2017).

de los mamíferos terrestres<sup>43</sup>. Los estudios sobre mecánica pulmonar también han permitido la elaboración de teorías sobre cómo estos animales evitan la enfermedad descompresiva<sup>44</sup>, también llamada ‘enfermedad del buzo’, sobre la cual encontramos dedicado un capítulo completo en el presente volumen. Muchos de estos avances científicos tuvieron lugar gracias al estudio anatómico de animales varados y, en sus orígenes, algunas de las investigaciones sobre mecánica pulmonar se realizaron mediante el estudio de animales capturados para tal fin. Sin embargo, algunos científicos consideran que esta información debe ser tratada con precaución, dado que algunas de las características funcionales no pueden ser entendidas si los organismos no están vivos y, por otro lado, los mecanismos fisiológicos que operan durante una situación de peligro (como puede ser una captura), podrían no ser un reflejo real del comportamiento en condiciones habituales. Independientemente, los estudios iniciales arrojaron luz suficiente al respecto de las diferencias entre los mamíferos marinos y los terrestres, como para demostrar la necesidad de intensificar el estudio de su particular biología. Por este motivo, durante las últimas décadas la metodología para el estudio de la fisiología respiratoria de los mamíferos marinos ha dado un giro excepcional gracias al trabajo mediante la participación voluntaria de animales bajo el cuidado humano<sup>45</sup>. El trabajo científico en colaboración con los animales excluye componentes adicionales que pudieran adulterar los resultados obtenidos, y permite la obtención de información de muchas especies diferentes. Una de las herramientas aplicadas para incrementar nuestro conocimiento sobre el funcionamiento del sistema respiratorio, son las técnicas de función pulmonar<sup>46</sup> (o espirometrías), originales del ámbito de la medicina humana. Gracias a la adaptación de estos equipos de medición a las diferentes especies, podemos obtener información sobre sus volúmenes y flujos pulmonares, así como de su gasto energético (tasa de utilización de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub>). Conocer cuánta energía necesitan incorporar para su supervivencia, así como los límites fisiológicos de su sistema respiratorio, respondería a muchas de las preguntas que surgen debido a los posibles cambios en la cantidad, calidad y distribución de sus presas: ¿cuánto alimento necesitan para su supervivencia? ¿Podrán sobrevivir alimentándose de presas menos energéticas? ¿Son capaces de aumentar sus tiempos de inmersión si sus presas cambian su distribución? Además, otro de los aspectos destacables del uso de esta metodología es su aplicación veterinaria, ya que la información obtenida puede ser utilizada para comprender las frecuentes enfermedades pulmonares que padecen los animales que se encuentran en el océano. Científicos de la Fundación Oceanogràfic, en colaboración con otras múltiples instituciones de investigación, están actualmente aplicando esta metodología de participación voluntaria para realizar diversos estudios fisiológicos sobre la especie más amenazada del mar Mediterráneo: el delfín mular<sup>47</sup>. Pero también destaca el estudio de especies como las belugas<sup>48</sup> o las morsas<sup>49</sup>, cuyo hábitat, el Ártico, también se encuentra especialmente amenazado por el cambio climático. Esta versátil metodología implica

<sup>43</sup> FAHLMAN *et al.* (2017).

<sup>44</sup> GARCÍA PÁRRAGA *et al.* (2018).

<sup>45</sup> FAHLMAN *et al.* (2015), FAHLMAN y MADIGAN (2016), FAHLMAN *et al.* (2019) y FAHLMAN (datos no publicados).

<sup>46</sup> GARCÍA-RÍOJA *et al.* (2013).

<sup>47</sup> MIEDLER *et al.* (2015) y FAHLMAN *et al.* (2019).

<sup>48</sup> FAHLMAN *et al.* (2018).

<sup>49</sup> BORQUE-ESPINOSA *et al.* (datos no publicados).

el trabajo multidisciplinar entre cuidadores, científicos y veterinarios, asegurando la obtención de información bajo los necesarios estándares de bienestar animal. Sin embargo, si algo hemos de destacar dentro de esta gran colaboración, es la aportación de los animales implicados en estos estudios, ya que son ellos los que están proporcionando datos de extrema relevancia que nos ayudarán a entender la situación de las especies que actualmente se encuentran bajo un elevado y creciente grado de preocupación.

## 7. Conclusiones

El océano sigue siendo ese inmenso, fascinante y desconocido acompañante de nuestra existencia. Todavía no habíamos llegado a conocer y comprender la vida que contiene, o a descubrir muchos de sus rincones y secretos, y cuando pensábamos que avanzábamos en el camino, nos dimos cuenta de que habíamos propiciado su lenta e inexorable destrucción. El impacto del calentamiento global está ganando posiciones en los últimos años y sus efectos nos envían claros mensajes de alarma a través de los cambios en el paisaje, dinámicas marinas, y la distribución y composición de especies. Por ello, debemos concentrar nuestro esfuerzo en la mejora de las herramientas de predicción de las futuras condiciones ecológicas, así como de sus consecuencias, de forma que seamos capaces de pronosticar la respuesta de todos los niveles del sistema. Los grandes depredadores como los mamíferos marinos tienen un papel fundamental en el mantenimiento de la salud del ecosistema, por lo que el estudio de su biología y ecología es de vital relevancia para valorar con precisión los posibles escenarios futuros. El estudio del funcionamiento del sistema respiratorio y del consumo energético de estos animales, nos proporcionará información que ayudará a comprender los límites del buceo, permitiéndonos la inclusión de estas restricciones en los programas de conservación. Sin embargo, nuestra situación no solo requiere de una participación activa de la comunidad científica, sino que también reclama una respuesta inmediata desde todos los niveles de la sociedad. Durante los próximos años, políticos, educadores y científicos, tendrán que unir fuerzas y establecer fuertes vínculos que resulten en la creación y ejecución responsable de programas de conservación y educación, que ayuden a mitigar los riesgos y amenazas de estos animales. Siendo igualmente importante la aportación individual de cada uno de los ciudadanos a través de pequeños cambios en nuestros hábitos, y la demanda de acciones que protejan nuestro patrimonio natural. Por ello, todos nosotros tenemos una responsabilidad conjunta: procurar salvaguardar la oportunidad de convivencia y supervivencia de la biodiversidad de nuestro planeta.

## Referencias bibliográficas

- AVILA, I. C.; KASCHNER, K. y DORMANN, C. F. (2018): «Current global risks to marine mammals: Taking stock of the threats»; en *Biological Conservation* 221; pp. 44-58.
- BERTA, A., SUMICH, J. L. y KOVACS, K. M. (2006): *Marine Mammals-Evolutionary Biology*. Amsterdam, Academic Press.
- BORQUE-ESPINOSA, A.; FERRERO-FERNÁNDEZ, D.; CAPACCIONI AZZATI, R. y FAHLMAN A.: «Lung function through voluntary participation in healthy adult female walruses (*Odobenus rosmarus*) resting stationed in water and on land». Datos no publicados.
- BRIERLEY, A. S. y KINGSFORD, M. J. (2009): «Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems»; en *Current Biology* (14 19); pp. R602-R614.
- CASTELLINI, M. (2012): «Life Under Water: Physiological Adaptations to Diving and Living at Sea»; en *Comprehensive Physiology* 2); pp. 18889-11919.
- CASTELLINI, M. A. y MELLISH, J. A. (2015): *Marine Mammal Physiology: Requisites for Ocean Living*. CRC Press.
- COMMITTEE ON TAXONOMY (2016): List of Marine Mammal Species and Subspecies. Society for Marine Mammalogy. Disponible en: <https://www.marinemammalscience.org/specie-sinformation/list-marine-mammal-species-subspecies/>. Visitado el 15 de mayo de 2019.
- FAHLMAN, A. y MADIGAN, J. (2016): «Respiratory function in voluntary participating Patagonia sea lions in sternal recumbency»; en *Frontiers in Physiology* (528 7); pp. 1-9.
- FAHLMAN, A.; LORING, S. H.; LEVINE, G.; ROCHO-LEVINE, J.; AUSTIN, T. y BRODSKY, M. (2015): «Lung mechanics and pulmonary function testing in cetaceans »; en *Journal of Experimental Biology* 218); pp. 2030-2038.
- FAHLMAN, A.; MOORE, M. J. y GARCÍA-PARRAGA, D. (2017): «Respiratory function and mechanics in pinnipeds and cetaceans»; en *Journal of Experimental Biology* (10 220); pp. 1761-1763.
- FAHLMAN, A.; EPPLE, A.; GARCÍA-PARRAGA, D.; ROBECK, T.; HAULENA, M.; PISCITELLI-DOSHKOV, M. y BRODSKY, M. (2018): «Characterizing respiratory capacity in belugas (*Delphinapterus leucas*)»; en *Respiratory Physiology & Neurobiology* pp.
- FAHLMAN, A.; BRODSKY, M.; MIEDLER, S.; DENNISON, S.; IVANČIĆ, M.; LEVINE, G.; ROCHO-LEVINE, J.; MANLEY, M.; ROCABERT, J. y BORQUE-ESPINOSA, A. (2019): «Ventilation and gas exchange before and after voluntary static surface breath-holds in clinically healthy bottlenose dolphins, (*Tursiops truncatus*)»; en *The Journal of Experimental Biology* pp. jeb.192211.
- FAHLMAN, A., MEEGAN, J. y BORQUE-ESPINOSA, A.: «Respiratory function in voluntary participating California sea lions (*Zalophus californianus*) in water and on land». Datos no publicados.



- GARCÍA PÁRRAGA, D., MOORE, M. y FAHLMAN, A. (2018): «Pulmonary ventilation–perfusion mismatch: a novel hypothesis for how diving vertebrates may avoid the bends»; en *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (1877 285); pp.
- GARCÍA-RÍOA, F., CALLE, M., BURGOS, F., CASAN, P., DEL CAMPO, F., GALDIZ, J. B., GINER, J., GONZÁLEZ-MANGADO, N., ORTEGA, F. y MAESTU, L. P. (2013): «Spirometry»; en *Archivos de Bronconeumología* (9 49); pp.:88-401.
- HALPERN, B. S.; WALBRIDGE, S.; SELKOE, K. A.; KAPPEL, C. V.; MICHELI, F.; D'AGROSA, C.; BRUNO, J. F.; CASEY, K. S.; EBERT, C.; FOX, H. E.; FUJITA, R.; HEINEMANN, D.; LENIHAN, H. S.; MADIN, E. M. P.; PERRY, M. T.; SELIG, E. R.; SPALDING, M.; STENECK, R. y WATSON, R. (2008): «A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems»; en *Science* (5865 319); pp. 948-952.
- IPCC. (2014): «Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». Cambridge and New York. Cambridge University Press.
- IWC (2019): <https://iwc.int/home>. Visitado el 15 de mayo de 2019.
- JEFFERSON, T. A.; WEBBER, M. A. y PITMAN, R. L. (2015): *Marine Mammals of the World: A Comprehensive Guide to Their Identification*. Elsevier Science.
- LEJEUSNE, C.; CHEVALDONNÉ, P.; PERGENT-MARTINI, C.; BOUDOURESQUE, C. F. y PÉREZ, T. (2010): «Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea»; en *Trends in Ecology & Evolution* (4 25); pp. 250-260.
- LIONELLO, P.; GACIC, M.; GOMIS, D.; GARCIA-HERRERA, R.; GIORGI, F.; PLANTON, S.; TRIGO, R.; THEOCHARIS, A.; TSIMPLIS, M. N.; ULBRICH, U. y XOPLAKI, E. (2012): «Program focuses on climate of the Mediterranean region»; en *Eos, Transactions American Geophysical Union* (10 93); pp. 105-106.
- MIEDLER, S.; FAHLMAN, A.; VALLS TORRES, M.; ÁLVARO ÁLVAREZ, T. y GARCÍA-PARRAGA, D. (2015): «Evaluating cardiac physiology through echocardiography in bottlenose dolphins: using stroke volume and cardiac output to estimate systolic left ventricular function during rest and following exercise»; en *Journal of Experimental Biology* (22 218); pp. 3604-3610.
- MOORE, C.; MOORE, M. J.; TRUMBLE, S.; NIEMEYER, M.; LENTELL, B.; MCLELLAN, W.; COSTIDIS, A. y FAHLMAN, A. (2014): «A Comparative Analysis of Marine Mammal Tracheas»; en *Journal of Experimental Biology* (217); pp. 1154-1166.
- N GIBSON, R.; J A ATKINSON, R.; D M GORDON, J.; EDITORS, T.; IN, F.; LEARMONTH, J.; D. MACLEOD, C.; SANTOS, M.; PIERCE, G.; CRICK, H. y ROBINSON, R. (2007): «Potential Effects Of Climate Change On Marine Mammals»; en *dir.*; pp. 431-464.

- PACE, D. S.; TIZZI, R. y MUSSI, B. (2015): «Cetaceans Value and Conservation in the Mediterranean Sea»; en *Journal of Biodiversity & Endangered Species* S1:004); pp. 1-24.
- PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B. y THEWISSEN, J. G. M. (2009): *Encyclopedia of Marine Mammals*. Amsterdam, Academic Press.
- PISCITELLI, M. A.; MCLELLAN, W. A.; ROMMEL, S. A.; BLUM, J. E.; BARCO, S. G. y PABST, D. A. (2010): «Lung size and thoracic morphology in shallow- and deep-diving cetaceans»; en *Journal of Morphology* (6 271); pp. 654-673.
- PONGANIS, P. J. (2011): «Diving Mammals»; en *Comprehensive Physiology* 1); pp. 517-535.
- PONGANIS, P. J. (2015): *Diving Physiology of Marine Mammals and Seabirds*. Cornwall, UK, Cambridge University Press.
- REIDENBERG, J. S. (2007): «Anatomical adaptations of aquatic mammals»; en *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology* (6 290); pp. 507-513.
- ROMAN, J. (2008): *Ballena*. Barcelona, Editorial Melusina.
- ROPERT-COUDERT, Y.; KATO, A.; ROBBINS, A. y HUMPHRIES, G. R. W. (2018): The Penguin book version 3.0. World Wide Web electronic publication. En: <http://www.penguin.net>
- SCHIPPER, J.; CHANSON, J. S.; CHIOZZA, F.; COX, N. A.; HOFFMANN, M.; KATARIYA, V.; LAMOREUX, J.; RODRIGUES, A. S. L.; STUART, S. N.; TEMPLE, H. J.; BAILLIE, J.; BOITANI, L.; LACHER, T. E.; MITTERMEIER, R. A.; SMITH, A. T.; ABSOLON, D.; AGUIAR, J. M.; AMORI, G.; BAKKOUR, N.; BALDI, R.; BERRIDGE, R. J.; BIELBY, J.; BLACK, P. A.; BLANC, J. J.; BROOKS, T. M.; BURTON, J. A.; BUTYNSKI, T. M.; CATULLO, G.; CHAPMAN, R.; COKELISS, Z.; COLLEN, B.; CONROY, J.; COOKE, J. G.; DA FONSECA, G. A. B.; DEROCHE, A. E.; DUBLIN, H. T.; DUCKWORTH, J. W.; EMMONS, L.; EMSLIE, R. H.; FESTA-BIANCHET, M.; FOSTER, M.; FOSTER, S.; GARSHELIS, D. L.; GATES, C.; GIMÉNEZ-DIXON, M.; GONZALEZ, S.; GONZÁLEZ-MAYA, J. F.; GOOD, T. C.; HAMMERSON, G.; HAMMOND, P. S.; HAPPOLD, D.; HAPPOLD, M.; HARE, J.; HARRIS, R. B.; HAWKINS, C. E.; HAYWOOD, M.; HEANEY, L. R.; HEDGES, S.; HELGEN, K. M.; HILTON-TAYLOR, C.; HUSSAIN, S. A.; ISHII, N.; JEFFERSON, T. A.; JENKINS, R. K. B.; JOHNSTON, C. H.; KEITH, M.; KINGDON, J.; KNOX, D. H.; KOVACS, K. M.; LANGHAMMER, P.; LEUS, K.; LEWISON, R.; LICHTENSTEIN, G.; LOWRY, L. F.; MACAVOY, Z.; MACE, G. M.; MALLON, D. P.; MASI, M.; MCKNIGHT, M. W.; MEDELLÍN, R. A.; MEDICI, P.; MILLS, G.; MOEHLMAN, P. D.; MOLUR, S.; MORA, A.; NOWELL, K.; OATES, J. F.; OLECH, W.; OLIVER, W. R. L.; OPREA, M.; PATTERSON, B. D.; PERRIN, W. F.; POLIDORO, B. A.; POLLOCK, C.; POWEL, A.; PROTAS, Y.; RACEY, P.; RAGLE, J.; RAMANI, P.; RATHBUN, G.; REEVES, R. R.; REILLY, S. B.; REYNOLDS, J. E.; RONDINI, C.; ROSELL-AMBAL, R. G.; RULLI, M.; RYLANDS, A. B.; SAVINI, S.; SCHANK, C. J.; SECHREST, W.; SELF-SULLIVAN, C.; SHOEMAKER, A.; SILLERO-ZUBIRI, C.; DE SILVA, N.;

SMITH, D. E.; SRINIVASULU, C.; STEPHENSON, P. J.; VAN STRIEN, N.; TALUKDAR, B. K.; TAYLOR, B. L.; TIMMINS, R.; TIRIRA, D. G.; TOGNETTI, M. F.; TSYTSULINA, K.; VEIGA, L. M.; VIÉ, J. C.; WILLIAMSON, E. A.; WYATT, S. A.; XIE, Y. y YOUNG, B. E. (2008): «The Status of the World's Land and Marine Mammals: Diversity, Threat, and Knowledge»; en *Science* (5899 322); pp. 225-230.

SHALTOU, M. y OMSTEDT, A. (2014): «Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea»; en *Oceanologia* (3 56); pp. 411-443.

SIMMONDS, M. P. y ISAAC, S. J. (2007): «The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems»; en *Oryx* (1 41); pp. 19-26.

UICN (2012a): *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición*. Gland, Suiza y Cambridge. UICN. Disponible en: <https://www.iucn.org/es/content/categor%C3%ADas-y-criterios-de-la-lista-roja-de-la-uicn-versi%C3%B3n-3-1-segunda-edici%C3%B3n>. Visitado el 1 de mayo de 2019.

UICN (2012b): «Mamíferos y tortugas marinos del Mediterráneo y del mar Negro». Gland y Málaga. UICN.

UICN (2019): The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2019-1. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>. Visitado el 24 de marzo de 2019.





# MEDITERRÁNEO ECONÓMICO

33

- I. La importancia del mar para la humanidad
- II. Debilidades y amenazas
- III. Fortalezas y oportunidades





# LA CONSERVACIÓN COMO FIN, LA INVESTIGACIÓN Y LA INTERPRETACIÓN COMO MEDIO

Francisco Torner

Director de Control de Gestión. Oceanográfico. Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia

## Resumen

Conforme mayor evidencia se dispone sobre los impactos antropogénicos que sufre la biodiversidad a través de los diferentes motores del cambio global, mayor empieza a ser la reclamación que desde diferentes ámbitos de la sociedad se hace de la pérdida de servicios que dejamos de percibir, contribuyendo como consecuencia a un desequilibrio sociológico transferido por aquel sufrido por los ecosistemas naturales. Se hace por lo tanto necesario iniciar una adecuada interrelación entre las sociedades y el entorno natural con la finalidad de interpretar adecuadamente los beneficios que este nos pueda aportar y asegurar así su mantenimiento sostenible en el tiempo. Con la finalidad de conseguir tan firme propósito, se propone un modelo de actuación que persiga como objetivo último la conservación ambiental, pero partiendo para ello de, por un lado, la generación de conocimiento a través de la investigación científica y, por otro lado, la difusión del mismo a la sociedad mediante herramientas de interpretación ambiental. El modelo así planteado utiliza como referencia un punto caliente de biodiversidad marina, al entender que el medio marino, al estar más exento de identidad que los terrestres, y al aportar una mayor complejidad en cuanto a accesibilidad, aporta una mayor robustez a los resultados que se pretenden obtener.

## Abstract

*The more evidence becomes available on the anthropogenic impacts which the various drivers of global change are having on biodiversity, the stronger the claims raised by different sectors of society regarding the loss of services we no longer receive, indicating that the imbalance in natural ecosystems contributes to a sociological imbalance. We therefore need to build an appropriate relationship between societies and the natural environment in order to adequately interpret the benefits we derive from the natural environment and so ensure that it is maintained sustainably over time. To that end, we propose an approach aimed ultimately at environmental conservation but starting with efforts to generate knowledge through scientific research and disseminate that knowledge in society through environmental interpretation tools. For reference, this approach uses a hotspot of marine biodiversity, on the understanding that the marine environment, being less tied to an identity than terrestrial environments and offering greater complexity in terms of accessibility, will add robustness to the desired results.*

## 1. Introducción

La conservación ambiental, entendida meramente como un esfuerzo para mantener en el tiempo espacios naturales frondosos y exuberantes, no necesariamente requiere de amplios conocimientos técnicos y un elevado grado de concienciación. Sin embargo, la conservación entendida como un proceso que garantice a largo plazo la continuidad de la compleja biodiversidad presente en los ecosistemas, sí que va a requerir necesariamente de un considerable esfuerzo técnico, social y económico. Llegado a este punto de entendimiento, debemos preguntarnos si merece la pena desplegar dicho esfuerzo, si ha llegado el momento de hacerlo y qué consecuencias o interferencias puede tener sobre nuestro bienestar, tanto el hecho de no hacerlo o hacerlo tarde, como el de hacerlo.

El presente capítulo pretende, aunque de forma muy sintética, dar respuestas a estas preguntas desde la visión y experiencia del que suscribe estas palabras. Para ello se propone un modelo en el que la investigación científica y la interpretación o educación ambiental comparten como objetivo último la conservación de la biodiversidad, focalizándonos para ello en el medio marino como escenario y en la costa alicantina de la comarca de la Marina Alta como ‘punto caliente’ de biodiversidad sobre el que proyectar dicho modelo.

## 2. La conservación ambiental como fin. Estrategias de conservación

Hablar de conservación requiere necesariamente alcanzar tres disposiciones básicas: el conocimiento de lo que se pretende conservar, el convencimiento de querer actuar y la propia acción, actuar. Estas tres disposiciones, aunque básicas en su planteamiento, representan algo tan fundamental, como a su vez complejo; la necesidad de enlazar una cadena de valores conformada por tres eslabones: el conocimiento, las actitudes y las conductas.

A pesar de las grandes lagunas que todavía existen respecto al conocimiento de la biodiversidad global, a su composición, a las interacciones o procesos ecológicos que la configuran y a sus interacciones con el resto de procesos geoquímicos del planeta, existe un consenso internacional respecto a los grandes motores que dan movimiento al cambio que está sufriendo la biosfera como resultado de la actividad humana, el cambio global<sup>1</sup>, y cuyo funcionamiento ensordecedor ya es una evidencia.

Centrémonos a partir de este momento en el entorno marino, pues al aportar una mayor complejidad para alcanzar las tres disposiciones anteriores, nos dota de mayor robustez a los argumentos que justifican el modelo de actuación que proponemos en el presente capítulo.

La alteración de la biodiversidad no solo se hace evidente en los ecosistemas terrestres, más próximos a los países industrializados y con mayor demanda de recursos naturales, sino que se hace extensiva a lugares cada vez más remotos, sumergiéndose en la actualidad en el seno de las aguas de mares y océanos. Esta afección que podríamos considerar descontrolada requiere de una intervención global para estimar su alcance y la repercusión que está teniendo sobre los procesos ecológicos que conforman la esencia de la biodiversidad y que, de forma directa e indirecta, están contribuyendo al bienestar de las personas a través de los servicios que nos prestan; servicios de aprovisionamiento, de regulación ecológica y culturales. Fruto de este impacto creciente y de su afección sobre las sociedades, la biodiversidad se percibe ya como un limitante para el desarrollo económico y para la estabilidad y sostenibilidad de las propias sociedades. Esta focalización ya ha trascendido a los mares y océanos como fuente imprescin-

<sup>1</sup> DUARTE *et al.* (2006).



dible en la provisión de servicios a la humanidad, quedando plasmada en la presentación en 2016 por parte de la ONU de la primera evaluación mundial de los océanos<sup>2</sup>.

Tal y como se reconoce en el ámbito de la psicología ambiental, la preocupación sobre el medioambiente es una realidad en las sociedades actuales. Sin embargo, la capacidad de actuar se tiende a trasladar a otras manos, la de los expertos o poderosos, posiblemente como consecuencia de dos aspectos fundamentales: la falta de difusión del conocimiento científico y la escala global de un problema al que parece imposible enfrentarse individualmente.

Este distanciamiento de la realidad ambiental, y más aun de los entornos acuáticos, nos obliga a intensificar, tanto la generación de conocimiento sobre la biodiversidad marina, como la transferencia del mismo a las sociedades. Su puesta en valor es fundamental para generar actitudes y con ello desarrollar la conservación ambiental como estrategia. Como dato esperanzador, indicar que la tendencia detectada por los sociólogos en las últimas décadas apunta al reconocimiento del ‘nuevo paradigma ecológico’, según el cual la visión del mundo basada en la excepcionalidad humana, característica de la era industrial, capacidad para aislarse de la naturaleza y dominarla, ha sido sustituida por la aceptación de la finitud del planeta y por la interconexión entre los humanos y el resto de biodiversidad<sup>3</sup>. Ahora bien, superada la intencionalidad, es decir, la actitud provocada por el conocimiento de nuestro entorno, qué estrategias nos ofrecen mayor rendimiento y de qué manera utilizarlas.

Refiriéndonos de nuevo al entorno marino, en función de la interacción e integración en el mismo, la conservación se puede llevar a cabo de dos formas:

1. Forma directa (acciones correctivas)
2. Forma indirecta (acciones correctivas y preventivas)

De forma directa (*in situ*), a través del despliegue de acciones, siempre correctivas, integradas directamente en el medio.

La conservación directa se materializa, bien a través del despliegue de acciones de restauración eficaz, bien a través de acciones de restauración potencial pero enmarcadas en campañas de concienciación (concienciación social) estructuradas y organizadas a efectos de garantizar la integración de procesos de enseñanza y aprendizaje.

Por lo tanto, en función del alcance e interpretación de las acciones directas desplegadas, la conservación puede interpretarse:

<sup>2</sup> NACIONES UNIDAS (2017).

<sup>3</sup> DUNLAP (2000) y GARCÍA (2004).

- a) Como una herramienta destinada a restaurar el entorno hacia un equilibrio natural (*restauración eficaz*) Es el caso de acciones directas sobre entornos acotados espacialmente y con una resiliencia facilitadora.
- b) Como una herramienta de concienciación social (*restauración potencial*). Es el caso de acciones directas sobre entornos o áreas de distribución cuya magnitud es lo suficientemente importante como para requerir de intervenciones globales para conseguir su restauración (regionales, nacionales o planetarias). En este caso es imprescindible que, por una parte, las propias acciones estén lo suficientemente estructuradas y organizadas como para asegurar el entendimiento e interpretación del propio objetivo y que, por otra parte, se establezcan potentes plataformas de comunicación que aseguren la difusión de tales resultados (entendimiento e interpretación del objetivo).

De forma indirecta (*ex situ e in situ*) a través de acciones que permitan el desarrollo de conocimiento, experiencia y habilidades (aptitudes) orientadas a:

- a) Mejorar y optimizar las acciones directas correctivas. Hablamos del despliegue de programas de investigación específicos.
- b) A prevenir la sostenibilidad ambiental y garantizar con esto último la integración de las sociedades en el entorno. Hablamos del despliegue de programas de investigación, de educación y concienciación social cuyos resultados permitan, a medio-largo plazo, por una parte, motivar en la gobernanza la aplicación de nuevas regulaciones o de adaptaciones del ordenamiento jurídico adscrito al ámbito ambiental marino y, por otra parte, motivar a organizaciones sociales y ciudadanía al despliegue de acciones y buenas prácticas proambientales.

Este tipo de conservación alcanzada de forma indirecta es la que representa la base que justifica el modelo expuesto en el enunciado del presente capítulo: aportar, a través de un cuidado rigor científico y metodológico, las herramientas necesarias para valorar y concienciar a los propios agentes locales, y de forma genérica a las poblaciones afectadas, con la finalidad última de promover la conservación del patrimonio natural marino de diferentes sectores geográficos.

### 3. El Mediterráneo: fragilidad y testigo al servicio de la humanidad

Son muchas las referencias que se pueden utilizar para realizar una descripción del mar Mediterráneo, pero no puedo resistir la tentación de referirme casi de forma exclusiva a la visión y al conocimiento que de este mar tuvo una de las figuras más destacadas de la ecología marina mundial, el profesor Ramón Margalef.

El mar Mediterráneo se nos presenta como un mar prácticamente cerrado, con una tasa de evaporación superior a la de renovación de agua que entra a través del estrecho de Gibraltar y el canal de Suez, con una circulación generada principalmente por las diferencias de densidad y con una superficie pequeña en comparación con las grandes masas de agua que circundan el planeta emergido. En palabras de Ramón Margalef, un mar a escala humana, pero a su vez un modelo a pequeña escala de un verdadero océano<sup>4</sup>.

Desde un punto de vista de su producción biológica, las aguas mediterráneas se consideran oligotróficas, es decir, relativamente pobres en cuanto a nutrientes, ricas en oxígeno y con una baja productividad primaria. Ello traduce una escasez en cuanto a biomasa, responsable a su vez de una menor dispersión y absorción de la luz solar incidente, aportando como resultado una mayor transparencia del agua y un azul intenso en las áreas más profundas. No obstante, a pesar de ello, se generan episodios de fertilización de sus aguas, variables en el espacio y el tiempo, lo suficientemente frecuentes como para asegurar un ratio muy alto entre extracción de recursos pesqueros y productividad<sup>5</sup>. Esta fertilización adicional, responsable además de una variación en la composición espectral de la luz reflejada, no siempre responde a procesos naturales.

A pesar de la baja productividad y biomasa de sus masas de agua, sus índices de biodiversidad reflejan un escenario muy diferente. El Mediterráneo, a pesar de representar un volumen de agua de tan solo un 0,3 % del volumen total de mares y océanos del planeta (3.735.000 km<sup>3</sup> vs. 1.300.000.000 km<sup>3</sup>), y una superficie equivalente al 0,8 %, está reconocida como una de las regiones más diversas del planeta, incluyendo en el seno de sus aguas en torno al 5 % del total de especies macroscópicas marinas conocidas, de acuerdo a la revisión realizada por Coll *et al.* (2010)<sup>6</sup>. El 90 % de dicha diversidad se sitúa en las capas más superficiales, siempre por encima de los 1.000 metros de profundidad<sup>7</sup>. En su conjunto incluye especies templadas, cosmopolitas, subtropicales, atlánticas e indopacíficas que convierten al Mediterráneo en un *hotspot* de biodiversidad<sup>8</sup>.

<sup>4</sup> MARGALEF (1985).

<sup>5</sup> CRUZADO (1985).

<sup>6</sup> COLL, PIRODDI y STEENBEEK (2010).

<sup>7</sup> BOUDOURESQUE (2004).

<sup>8</sup> BIANCHI y MORRI (2000) y BOUDOURESQUE (2004).

Figura 1. El mar Mediterráneo



Fuente: [www.paleopolis.rediris.es](http://www.paleopolis.rediris.es) (©2008 por CdM Créations).

La elevada biodiversidad de sus aguas parece responder a la más que turbulenta historia de sus cuencas a lo largo de los últimos 230 millones de años, sometidas a eventos geológicos e hidrológicos generadores de frecuentes procesos de extinción y especiación. A su vez, la compleja configuración topográfica de sus costas, la elevada diversidad de hábitats y la heterogeneidad espacial de estos, ha provocado una más que amplia variedad de condiciones climáticas, hidrológicas, hidrodinámicas, sedimentarias y de sustratos que a su vez han contribuido a generar una amplia diversidad de especies y endemismos, representando estos últimos alrededor de un 25 % de sus especies<sup>9</sup>.

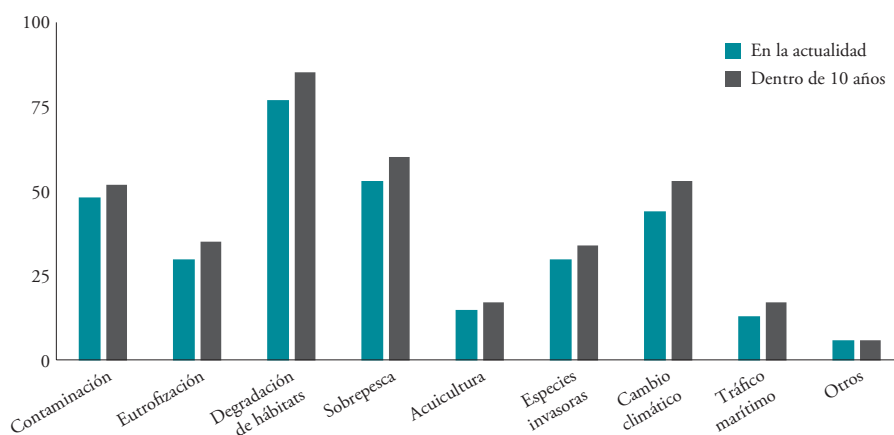
En definitiva, se puede considerar que somos afortunados por compartir espacio con un entorno natural que, debido a las contingencias pasadas, ha integrado unas condiciones ideales para una biodiversidad rica y única, tanto en cuanto a especies y hábitats, como en cuanto a las comunidades biológicas que conjuntamente conforman. Sin embargo, esta configuración, que se podría considerar caprichosa, se enfrenta en la actualidad a unas amenazas, a unos procesos de cambio, que en este caso están siendo configurados, de forma intencionada por un metabolismo impuesto por la humanidad para satisfacer sus necesidades socioeconómicas. Nos referimos al cambio global y a los motores que lo impulsan. Citemos a continuación las principales afecciones sufridas por el Mediterráneo.

A partir de la disponibilidad de datos que aporta sobre el Mediterráneo y sus diferentes áreas, tanto la literatura científica, como las bases de datos que acumulan series históricas de registros, se ha conseguido integrar suficiente información como para identificar la huella que recientemente está dejando la actividad humana sobre la biodiversidad mediterránea. El resultado sitúa a este mar como una de las regiones marinas que mayor impacto mundial están sufriendo, tal y como muestra el Gráfico 1, como consecuencia de la presión que ejercen los siguientes motores de cambio: la pérdida de hábitats, el cambio climático (calentamiento, aci-

<sup>9</sup> BOUDOURESQUE (2004) y TEMPLADO (2014).

dificación, ascenso del nivel del mar, etc.), la eutrofización y la polución, la sobreexplotación de recursos marinos y la invasión de especies<sup>10</sup>.

Gráfico 1. Amenazas actuales y futuras de la diversidad marina mediterránea



Fuente: Coll *et al.* (2010).

#### 4. Biodiversidad marina mediterránea: una aproximación a su organización y funcionamiento

La tan elevada diversidad biológica que aporta el mar Mediterráneo en comparación con sus dimensiones, se encuentra distribuida en una alta variedad de hábitats y organizada a través de ecosistemas, el nivel organizativo más alto al referirnos a la biodiversidad. A los efectos de un mejor entendimiento, indicar que los hábitats constituyen el soporte físico o biofísico sobre el que se asienta una comunidad biológica, mientras que el conjunto, hábitat y comunidad, conforman el ecosistema.

Ante la multitud de formas que existen para clasificar la biodiversidad marina y la incapacidad que como observadores tenemos para definir los límites del orden natural, escogeremos el nivel más genérico de diferenciación con la finalidad de facilitar la comprensión del presente capítulo. Distinguiremos dos horizontes de distribución de hábitats perfectamente establecidos. Aquel que se extiende en la propia columna de agua y al que denominaremos dominio pelágico, y aquel que descansa sobre el fondo marino, el sustrato primario, y al que denominamos dominio bentónico. La denominación de sustrato primario responde a la capacidad de muchas especies a, una vez asentadas sobre un sustrato, generar con sus propias estructuras biofísicas nuevos sustratos solapados que tienden a incrementar la heterogeneidad espacial y, con ello,

<sup>10</sup> COLL, PIRODDI y STEENBEEK (2010); LEJEUSNE *et al.* (2010) y ZENETOS *et al.* (2012).

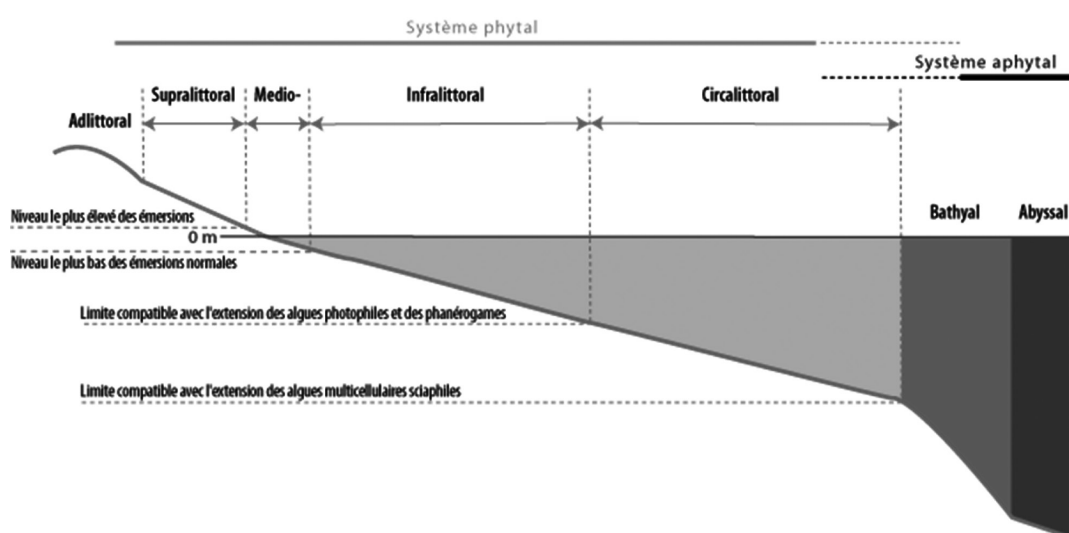
la propia diversidad de hábitats y de especies. Esta complejidad estructural del espacio, frente a la mayor homogeneidad que aporta la columna de agua, explica el hecho de que más del 85 % de especies marinas sean bentónicas. No obstante, su biología depende en gran medida del pélagos, bien por que permanecen en él durante su fase larvaria, bien porque es en dicho dominio donde se encuentra la principal fuente de producción primaria y, por lo tanto, de alimentación (transferencia energética entre dominios).

Dado que el modelo de trabajo que se expone en el presente capítulo se refiere a los fondos marinos, ceñiremos nuestra aproximación exclusivamente al dominio bentónico.

La primera descripción que se realizó sobre la estructura organizativa del bentos fue aportada por Pérès y Picard en 1958, estableciéndose una clasificación de hábitats basada en la variabilidad existente en un plano horizontal y vertical de diferentes factores abióticos, entre ellos el grado de exposición al hidrodinamismo, irradiancia, temperatura, densidad, presión, topografía y naturaleza del sustrato. La variación de gran parte de estos factores con la batimetría se ha utilizado como referencia para clasificar los hábitats, en un primer nivel, a través de horizontes que en su conjunto describen una zonación por ‘pisos’. A su vez, en cada uno de dichos niveles o ‘pisos’ se distribuyen diferentes tipos de hábitats, y sobre ellos las diferentes poblaciones de especies que conforman las comunidades biológicas.

En el mar Mediterráneo se distinguen, tal y como se representan en el Gráfico 2, los siguientes pisos en un eje vertical: supralitoral, mesolitoral, infralitoral y circalitoral.

Gráfico 2. Distribución de pisos litorales en el mar Mediterráneo



Fuente: [www.paleopolis.rediris.es](http://www.paleopolis.rediris.es) (©2008 por Cdm Créations).

Las zonas expuestas al aire atmosférico están representadas por los pisos supralitoral y mesolitoral. El supralitoral se presenta a modo de transición entre los dominios terrestres y marinos, y su exposición al aire es prácticamente permanente, tan solo interrumpida por las salpicaduras del mar o por excepcionales inmersiones provocadas por el rompiente del oleaje. Su límite superior está marcado por el alcance máximo de las salpicaduras. A continuación se presenta el mesolitoral como una banda en la que los periodos de emersión e inmersión son continuos como resultado del efecto permanente de las mareas y del oleaje. Sus límites, superior e inferior, lo representan la pleamar y la bajamar de las mareas vivas.

Permanentemente sumergidos se sitúan los pisos infralitoral y circalitoral. En el caso del infralitoral su límite inferior lo representa el alcance máximo que tiene la distribución de las algas fotófilas y las fanerógamas marinas. En el caso que nos ocupa utilizaremos como referencia el límite de distribución de la *Posidonia oceanica*, dependiente de la transparencia de las aguas mediterráneas, pero que como promedio se sitúa entre los 30 y los 40 metros de profundidad. A continuación se inicia el horizonte correspondiente al piso circalitoral, que se extiende hasta la profundidad máxima a la que llegan las algas pluricelulares, correspondiéndose con el límite inferior de la plataforma continental.

Tal y como se puede apreciar, la distribución de hábitats establecida para el mar Mediterráneo se encuentra regulada por dos factores principales, la profundidad y el grado de humectación, que a pesar de la arbitrariedad o incluso artificialidad que parecen aportar al orden que se pretende obtener, consiguen agrupar condiciones ecológicas constantes en pisos diferentes, gracias a que dichos factores a su vez se encuentran correlacionados con otros parámetros abióticos que son determinantes para el establecimiento diferencial de la propia biodiversidad marina.

Entendida la distribución de hábitats así configurada, avancemos en el entendimiento de cómo se producen los asentamientos de la poblaciones de especies. Nos aproximamos a la conclusión del concepto de biodiversidad.

En función del grado de tolerancia que tienen las diferentes especies marinas a los diferentes parámetros ambientales, tanto bióticos, como abióticos, se produce un asentamiento más o menos selectivo en el dominio bentónico. En el caso de las especies conocidas como euritópicas –con un alto grado de tolerancia– el asentamiento no es tan selectivo y tiende a disponer de un amplio rango de distribución, siempre en el entorno que delimiten los parámetros que conducen su tolerancia. Citar como ejemplo aquellas especies que tienden a ocupar diferentes hábitats de diferentes regiones oceánicas del planeta, pero en todas ellas con una distribución limitada por la profundidad. Por lo general se trata de especies que son malos indicadores ambientales o bioindicadores.

Otro caso lo representan las especies estenotópicas, aquellas con un estrecho grado de tolerancia, sujeto a unas condiciones bióticas y abióticas muy concretas. Se trata de especies que si que actúan como buenos bioindicadores, tanto mayor cuanto más estrecho sea su grado de tolerancia, llegando a representar modelos predictivos basados sobre criterios biológicos.

Tanto su ausencia como su presencia, o el incremento o detrimento de su población, nos traducen una variación en los parámetros ambientales y, por lo tanto, nos alerta de la puesta en marcha de algún motor de cambio. Citar como ejemplo la aparición de especies indo-pacíficas en aguas del mediterráneo oriental. Se trataría de la aparición de poblaciones de individuos en respuesta a un cambio en la estructura térmica de las aguas (tropicalización) e indicaría la aparición de dos motores de cambio retroalimentados, ‘cambio climático’ y ‘especies invasoras’.

El asentamiento de poblaciones euritópicas y estenotópicas conforman las comunidades biológicas o biocenosis, que, como resultado de su integración y adaptación a las condiciones de los hábitats anteriormente descritos en el Mediterráneo, definen el concepto de ecosistema

Una vez determinada la forma en la que se relaciona la vida marina con su entorno y como a partir de ello esta se organiza y se puede llegar a clasificar, se requiere de un componente más de interacción para concluir con la definición de la biodiversidad. Este componente es aquel que marca la diversidad de interacciones entre las especies y poblaciones que componen las comunidades biológicas y ecosistemas.

Por ello, la biodiversidad marina no solo debe ser entendida como la variedad de genes, especies y ecosistemas, sino también como la variedad de interacciones que se establecen entre tales componentes. En definitiva, abarca la variedad de vida, en todos los niveles de organización, clasificada tanto por criterios evolutivos (filogenéticos) como ecológicos (funcionales)<sup>11</sup>.

A partir de esta concepción de la biodiversidad y desde una perspectiva de la conservación medioambiental, debemos aproximarnos al valor que aporta a la humanidad. Para ello debemos entender las funciones ecológicas que transfiere la biodiversidad, como aquellos procesos ecológicos inherentes al equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas y que contribuyen al bienestar humano. Introducimos de esta forma el concepto de servicios ecosistémicos (Figura 2), como el resultado de la interacción que el ser humano ejerce sobre la biodiversidad, cuando esta se sitúa en un óptimo estado de organización y funcionamiento.

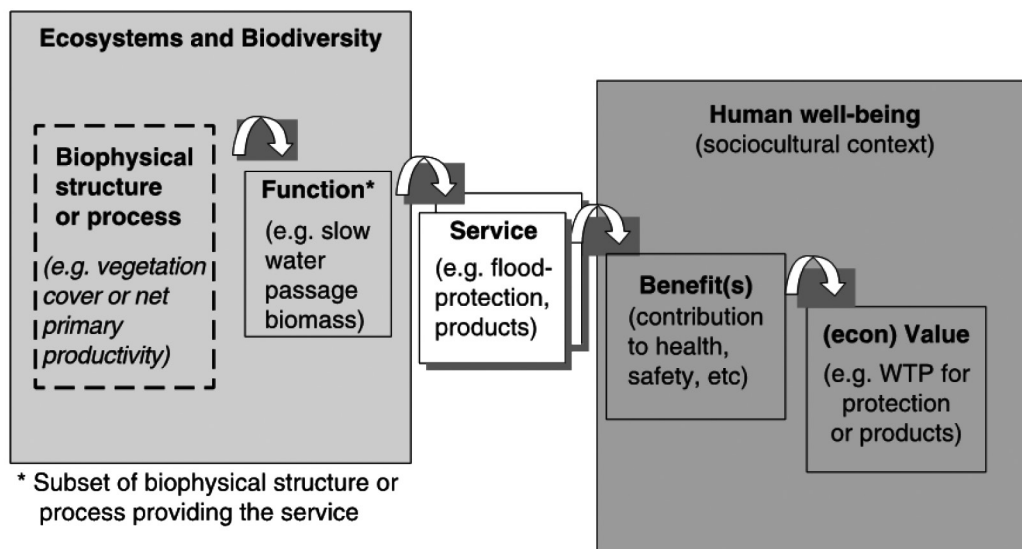
Esta visión no debe obedecer a una mera visión antropocéntrica y egoísta, sino más bien como un medio para alcanzar un compromiso que permita asegurar la máxima estabilidad de la biosfera y de la totalidad de ecosistemas que la conforma, incluidas nuestras estructuras sociales. Traslademos esta concepción a un entorno como el marino, que se presenta como un gran desconocido para las personas pero que, sin embargo, es indispensable para el equilibrio de la biosfera a gran escala. Representa el principal interlocutor de la humanidad para mantener un diálogo prospero y sostenido en el tiempo.

---

<sup>11</sup> COLWELL (2009).



Figura 2. Interdependencia entre la biodiversidad, procesos ecológicos o biofísicos, funciones ecosistémicas y bienestar humano



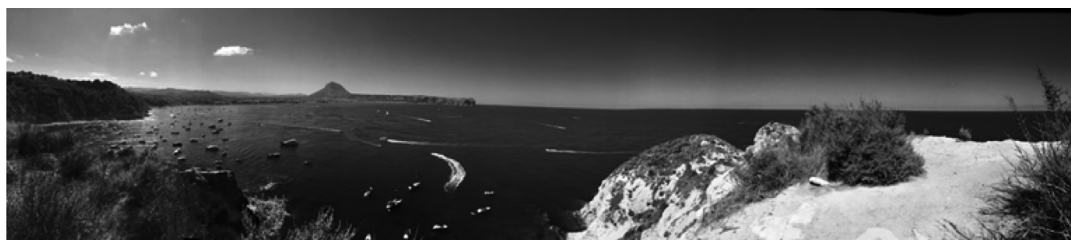
Fuente: Groot (2010).

## 5. Conservar para disfrutar, un modelo a replicar. Proyecto Xàbia

Les presento a continuación un modelo de proyecto en cuyo desarrollo se suceden, de forma secuencial, la generación de conocimiento a través de la investigación, la interpretación a través de una transferencia de conocimiento experiencial y, como fin último, la identificación y conservación de los valores naturales.

Bajo el título ‘Aproximación al Conocimiento, Interpretación y Conservación de la Biodiversidad de los Fondos Marinos del Municipio de Xàbia’, la Fundación del Oceanográfico de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia presenta –actualmente en fase de desarrollo– un proyecto que propone la aplicación del conocimiento y metodología de la bionomía como herramientas destinadas a aproximar a las sociedades la identificación e interpretación de la biodiversidad marina y, a partir de ello, proponer acciones dirigidas a su conservación.

Figura 3. Bahía de Jávea desde el Cap Prim



Fuente: F. Torner.

Se trata de un proyecto adscrito a un programa que abarca un ámbito global del litoral de la Comunidad Valenciana, pero que a través de una experiencia piloto pretende convertirse en un modelo a replicar.

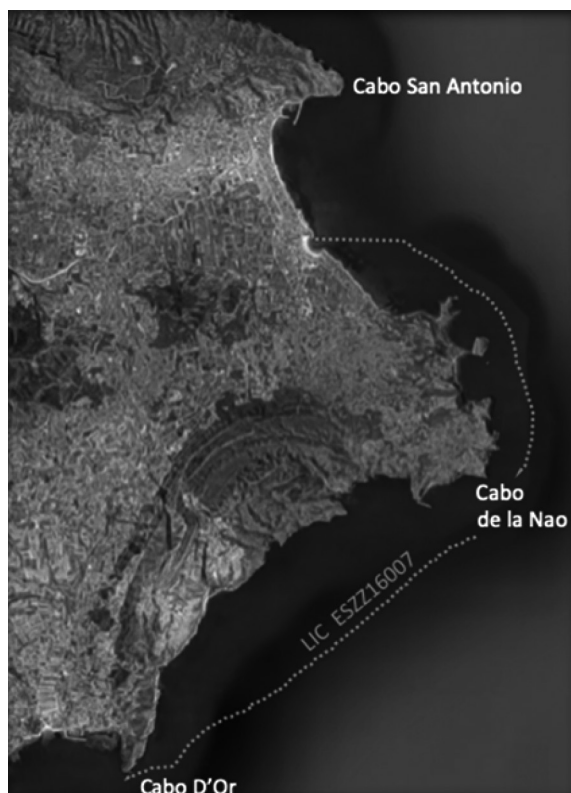
El área geográfica escogida (Figura 4) para la experiencia piloto se centra principalmente, en un 93 %, en el litoral del municipio de Xàbia (costa norte de la provincia de Alicante, en la costa central de la comarca de la Marina Alta), y en un 7 % en un tramo adicional que baña las costas de municipios vecinos (Benitachell y Teulada). Comprende el tramo litoral (dominio nerítico: 0 hasta -30 m) comprendido entre el Cabo de San Antonio y el Cabo D'Or de Moraira.

Figura 4. Área geográfica de la zona estudio



La zona de estudio (Figura 5) presenta un elevado valor natural, incluyendo en su área marina la reserva marina de interés pesquero del Cabo San Antonio y, formando parte de la Red Natura 2000, el LIC ESZZ16007 (Espacio Marino de la Marina Alta).

Figura 5. Área de estudio



Fuente: recuperado de <https://earth.app.goo.gl/7quAt6>, modificado

La selección del área de estudio ha respondido a cinco factores fundamentales:

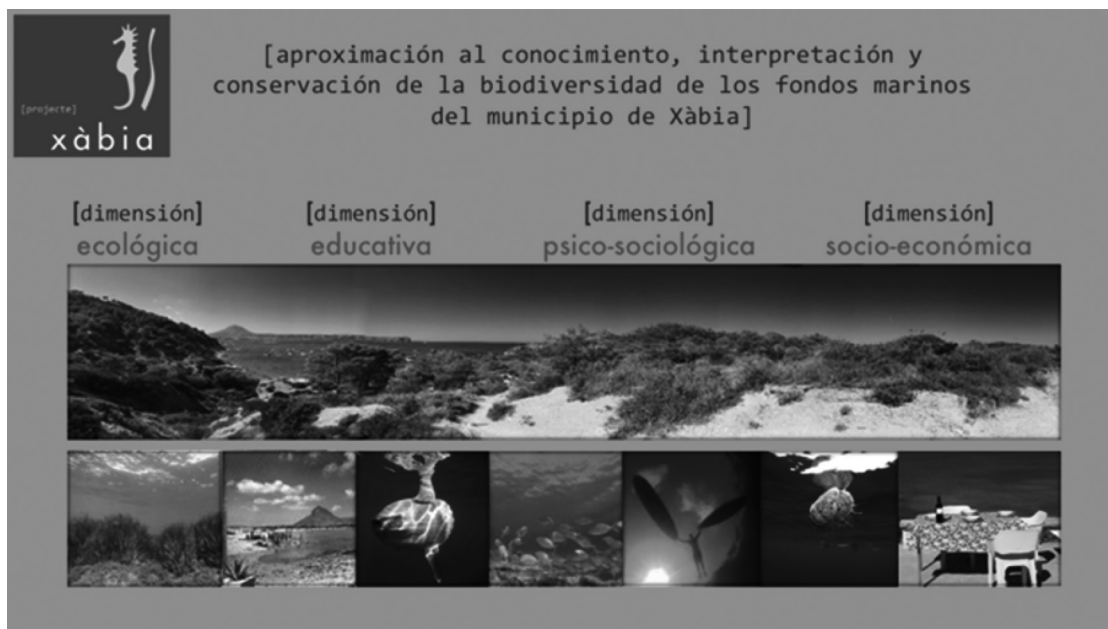
- Ser uno de los enclaves con mayor diversidad de comunidades bentónicas en la Comunidad Valenciana.
- Ser un punto caliente de biodiversidad, expuesto a altas tasas de sobrefrecuentación antrópica.
- La propia configuración de su geomorfología litoral, compuesta de zonas accesibles conformadas por playas y acantilados bajos, y zonas inaccesibles como resultado de la exposición de altos acantilados –por encima de los 100 metros de altitud–, permitiendo como resultado disponer de comunidades biológicas expuestas a un gradiente de afección antropogénica.
- El conocimiento y participación de agentes locales cuyos sectores de actividad profesional se circunscribe al medio marino.
- La propia implicación del municipio en la promoción del turismo sostenible.

Tal y como se ha expuesto al inicio del presente capítulo, al establecer las conexiones entre biodiversidad y sociedad, y la forma en la que los desequilibrios ecológicos de un ecosistema pueden dar lugar a alteraciones sociológicas resultantes del ‘cortocircuito’ que se produce en el suministro de ecoservicios (o servicios ecosistémicos), se hace necesario establecer un nuevo enfoque en cuanto a la exploración de la biodiversidad.

El presente estudio propone este nuevo enfoque, consistente en la aproximación de la biodiversidad a la sociedad –colectivos, comunidades, agentes locales, ciudadanía en general– que interactúa con ella, contribuyendo a su conocimiento, a su interpretación desde diferentes perspectivas e intereses y, con ello, a la puesta en marcha de acciones integradoras con el tejido social que permitan su conservación.

Con ello se justifica y propone el objeto del presente proyecto y del programa genérico al que queda adscrito: aportar, a través de un cuidado rigor científico y metodológico, las herramientas necesarias para valorar y conservar el patrimonio natural marino, aquel del que depende en cierto modo parte del desarrollo cultural, social y económico de los municipios pertenecientes a una determinada área geográfica, integrando para ello a los propios agentes locales y de forma genérica a las poblaciones afectadas.

Figura 6. Objetivos del Proyecto Xàbia



El proyecto consta de los siguientes estadios y fases:

A. *Estadio Técnico-Científico* (generación de la información sobre la que aplicar la Interpretación y la Conservación). Se corresponde con la dimensión ecológica. Incluye:

- Desarrollo metodológico que nos permita el acceso a las fuentes de información con estudios previos del área de estudio y a la identificación de las estaciones de muestreo que permitan definir la biodiversidad representativa.
- Descriptiva de la situación actual de los fondos marinos seleccionados: catálogo biológico y caracterización.
- Evaluación del estado de conservación e impactos.
- Ecocartografiado del área de estudio para determinar la distribución espacial de las diferentes comunidades bentónicas (rango desde 0 a -30 metros de profundidad).
- Recomendaciones (medidas preventivas/correctivas) y planificación del seguimiento.

B. *Estadio Interpretativo* (difusión de la información entre agentes locales y ciudadanía a través de la Interpretación como herramienta): Se corresponde con las dimensiones educativas y psicosociológica. Incluye:

- Identificación de los agentes locales, grupos y comunidades poblacionales sobre las que intervenir.
- Recopilación documental que permita establecer la integración del patrimonio natural con el cultural y el desarrollo socioeconómico, y la identificación de testimonios y recursos históricos.
- Difusión de los resultados del proyecto y recomendaciones: exposiciones y charlas dirigidas a colectivos específicos, con especial énfasis en los agentes locales.
- Acciones de concienciación estructuradas a través de técnicas de Interpretación ambiental, dirigidas a la diseminación de la información a efectos de su conocimiento y a la puesta en marcha de cambios de actitudes y conductas.
- Evaluación psicosociológica de los usuarios de las actividades.

C. *Estadio de los Servicios Ecosistémicos*: evaluación de la contribución que genera la biodiversidad marina local sobre el modelo socioeconómico y cultural del municipio. Se corresponde con la dimensión Socioeconómica.

A partir de las próximas líneas les invito a realizar una somera inmersión en el tejido del presente proyecto, cuya ejecución se espera finalizar el primer semestre de 2020. Parte de la documentación expuesta a continuación está extraída de la memoria metodológica del propio proyecto (*‘Aproximación al Conocimiento, Interpretación y Conservación de la Biodiversidad de los Fondos Marinos del municipio de Xàbia’*).

## Estadio Técnico-Científico. Exploración de la biodiversidad marina local

### *Metodología: campañas de exploración*

El estudio de la biodiversidad marina del área de estudio se centra en los pisos mesolitoral e infralitoral, incluyendo en el caso del primero a las comunidades de sustratos duros y, en el caso del segundo, a las comunidades bentónicas de sustratos duros y a las praderas de *Posidonia oceanica*.

El estudio incluye dos tipos de intervenciones:

- Recorridos sobre costa o superficie del agua (en piso mesolitoral) o inmersiones (en piso infralitoral) con la finalidad de describir las diferentes comunidades biológicas, su estado de conservación y el posible impacto antrópico.
- Ecocartografiado (o cartografía bionómica) mediante sondas de barrido lateral y multihaz, con la finalidad de determinar la distribución espacial de las diferentes comunidades biológicas bentónicas existentes en el área de estudio.

Tanto sobre la totalidad del piso mesolitoral, como sobre las estaciones seleccionadas en el piso infralitoral, se han realizado dos campañas de muestreo:

1. Una primera campaña de muestreo, planificada en primavera de 2017, coincidiendo con el pico de crecimiento de las comunidades algales litorales y con el ciclo bimodal de crecimiento de *Posidonia oceanica*.
2. Una segunda campaña de muestreo planificada en otoño. El objetivo de esta segunda campaña es obtener más y nuevos datos sobre la biodiversidad (descripción, estructura y estado de conservación) con el objetivo último de, por una parte, consolidar su conocimiento y estatus actual, y por otra parte, comparar el estado de una misma comunidad bentónica identificada en varios puntos de muestreo, sometidos a distintos grados de antropización, antes y después del periodo estival. Teniendo en cuenta el resto de variables medioambientales, se pretende comprobar cómo afectan sobre estas comunidades las distintas actividades humanas que se desarrollan en la zona de estudio.

Simultáneamente, se ha definido un plan de intervención documental (entrevistas, obtención de historias de vida y estudio de documentación bibliográfica) para disponer de una aproximación a cuál ha sido la evolución histórica de la biodiversidad marina local a lo largo del tiempo en el área de estudio.

El estadio técnico-científico se espera concluir a lo largo del año 2019 con el desarrollo de un ecocartografiado completo del área de estudio y con el procesamiento completo de la totalidad de información obtenida.

### *Metodología: el muestreo*

La metodología que se expone a continuación ha sido desplegada en las diferentes estaciones de muestreo seleccionadas, variando en función de las comunidades o pisos litorales a estudiar. Hay que destacar que en ningún caso la metodología utilizada ha requerido de métodos extractivos, utilizándose únicamente la observación, captura de imagen y mediciones realizadas *in situ*. De esta manera se consigue prescindir de posteriores procesados en laboratorio, facilitándose de esta manera, tanto la evaluación y monitorización ambiental, como la reducción de costes económicos, y sin renunciar al rigor científico.

En las comunidades bentónicas de sustrato duro del mesolitoral se ha aplicado el método CARLIT, coincidente con el aplicado según la Directiva Marco de Agua en la Comunidad Valenciana<sup>12</sup>. Mediante esta metodología de muestreo se permite calcular un índice de calidad ecológica (EQR: *Ecological Quality Ratio*) del piso mesolitoral, el cual evalúa el estado ecológico de las masas de aguas costeras a partir de la cartografía de las comunidades de macroalgas existentes en el mesolitoral de un determinado tramo de costa rocosa, tales como el grupo de *Cystoseira* spp. o Ulvales. El índice EQR se calcula comparando los valores del área estudiada con aquellos establecidos como referencia para dicha área geográfica (grupo geográfico de intercalibración del mar Mediterráneo). A efectos de maximizar la gestión de los datos obtenidos, cartográficos y ambientales, se integran todos ellos mediante la tecnología GIS (sistema de información geográfica).

En las comunidades bentónicas de sustrato duro del infralitoral se ha realizado un inventario de especies (composición específica) presentes y estimaciones de sus abundancias relativas, al menos de las especies de los grupos sésiles más conspicuos (esponjas, cnidarios, ascidias y briozoos) y de las especies de la macrofauna de grupos como moluscos, crustáceos o equinodermos.

Se ha de tener en cuenta que la composición específica es un factor que contribuye a la estructura de la comunidad y su seguimiento posterior puede indicar un cambio cíclico o una tendencia en la evolución de esa comunidad. Por otra parte, la presencia y abundancia relativa del conjunto de especies permite evaluar la calidad de una comunidad.

<sup>12</sup> COMISIÓN EUROPEA (2020).

Aparte de estos indicadores de primer nivel, también se valora:

- *Cobertura general y espesor del poblamiento* como indicativo del nivel de productividad.
- *Identificación de especies típicas* como especies relevantes para mantener una comunidad en un estado de conservación favorable, ya sea por su dominancia (valor estructural) y/o por la influencia clave de su actividad en el funcionamiento ecológico.
- *Representatividad de especies características/notables como indicativo de su estado actual.* La especie (o especies) característica seleccionada debe ser un elemento estructural importante de la comunidad o indicativo de su estado actual. Por su parte, las especies notables pueden considerarse como tal desde un punto de vista conservacionista en función de (1) su escasez/rareza; (2) por contribuir a la estructura o integridad del arrecife; (3) por ser indicadoras de estrés ambiental, de cambios en los patrones de circulación del agua (por ejemplo, margen del área de distribución) o de sensibilidad a contaminantes.
- *Tamaño relativo de las especies principales* como indicativo de la estabilidad de los poblamientos; mayor tiempo de crecimiento implica mayor tamaño relativo de una especie.
- *Nivel de presencia de especies no dominantes*, como indicativo de la diversidad relativa del poblamiento.
- *Nivel de presencia y tamaño de la fauna sésil o asociada al sustrato* como indicativo del nivel de productividad secundaria.
- *Presencia relativa de especies sésiles diferentes*, como indicador de diversidad.
- *Tamaño de ejemplares de especies delicadas* como indicador de efectos de erosión mecánica.

Para llevar a cabo el procedimiento de medición, se ha planteado un diseño de parcelas de exploración (Figura 7). El muestreo se ha realizado en inmersión con escafandra autónoma, identificando cada una de las variables o descriptores que se han mencionado anteriormente mediante observación directa. Se han empleado técnicas de análisis de imagen, tomando imágenes y vídeos para el análisis de los componentes más conspicuos de la comunidad y cuantificando coberturas a partir de los porcentajes respecto a las superficies relativas mostradas en imágenes fijas.

En estas comunidades infralitorales de sustratos duros la utilización de índices para su evaluación, caracterización y seguimiento, como descriptores locales de su estructura e indicadores de su estado de salud, presenta dificultades. Esto es debido a la diversidad estructural de los enclaves que participan en la definición de este tipo de comunidades, dependientes de puntos de vista muy diferentes: geomorfológico, origen estructural (biogénico /no biogénico), rango batimétrico, o comunidades que lo constituyen o que lo habitan, entre otros.



Figura 7. Parcela de exploración sobre una población de *Parazoanthus axenillae*

En el caso de las praderas de fanerógamas marinas, la exploración y evaluación ha sido de especial relevancia, tanto por el extraordinario valor biológico y ecosistémico que representan, como por el elevado grado de protección ambiental que las ampara a nivel nacional e internacional. El estudio se ha centrado en las dos especies presentes en la zona, *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, especialmente en la primera por su gran representatividad en el área de estudio, cubriendo aproximadamente el 27 % del suelo marino que se extiende hasta la isobata de los 30 metros de profundidad.

Las praderas de *Posidonia oceanica*, reconocidas como hábitat prioritario por la Directiva de Hábitats de la Unión Europea (Directiva 92/43/CE), al asentarse en el área de estudio sobre fondos arenosos y rocoso, se convierten en un sustrato secundario que contribuye a incrementar notablemente la heterogeneidad estructural y tridimensional, generando una gran riqueza de microhábitas.

Para la evaluación de las praderas de posidonia se ha optado por una serie de descriptores estructurales y morfológicos que se consideran excelentes descriptores locales de la estructura de este tipo de hábitat e indicadores de su estado de salud, ya que son sensibles a los cambios ambientales que interfieren sobre ellas. Estos parámetros se suelen medir a lo largo de transectos aleatorios o permanentes, lo cual requiere cierto esfuerzo de campo.

Figura 8. Muestreo sobre una pradera de *posidonia oceánica* del litoral de Jávea (junio de 2017)



El indicador utilizado como integrador de los parámetros mencionados y que ha permitido la evaluación del estado de conservación de este tipo de hábitat, ha sido el Índice Valencian-CS (*Valencian Classification System*), que es una aplicación del Índice POMI en la Comunidad Valenciana en la Directiva Marco del Agua. El EQR así obtenido define hasta cinco estados ecológicos: alto, bueno, moderado, pobre y malo<sup>13</sup>.

Los descriptores utilizados son:

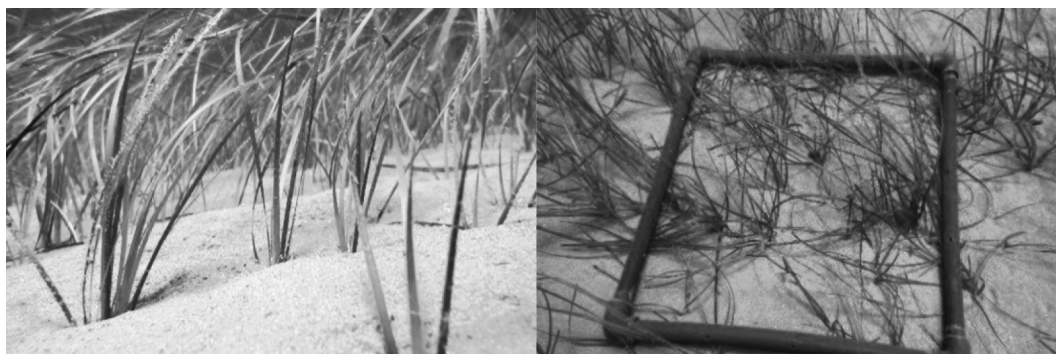
1. Cobertura de pradera viva y mata muerta.
2. Densidad de haces.
3. Superficie foliar.
4. Porcentaje de necrosis.
5. Herbivoría.
6. Grado de descalzamiento o enterramiento.
7. Porcentaje de rizomas plagiotropos.
8. Epífitación.

En el caso de las praderas de *Cymodocea nodosa*, su presencia permanente es mucho más escasa en el área de estudio. Su evaluación se realiza a través de recuentos puntuales de cobertura y densidad, siguiendo la misma metodología descrita para posidonia.

Además de las diferentes comunidades bentónicas exploradas en el piso infralitoral, la evaluación en este piso se ha completado con el seguimiento de la población de peces, la ictiofauna.

<sup>13</sup> FERNÁNDEZ-TROQUEMADA *et al.* (2008)

Figura 9. Muestreo sobre una pradera de *Cymodocea nodosa* del litoral de Jávea (junio de 2017)



El estudio de la ictiofauna se ha fundamentado en la realización de un tipo de censo visual en inmersión con escafandra autónoma, siguiendo transectos de 20 metros de largo por 5 metros de ancho, siendo la superficie muestreada por transecto de 100 m<sup>2</sup>, sobre las cuales se anotarán las presencias y abundancias de las especies observadas. Para ello se ha utilizado como punto de inicio de los transectos el punto de fondeo predeterminado, realizando recorridos, siguiendo el rumbo preestablecido, desde dicho punto hasta recorrer los 20 metros. Los censos visuales submarinos son considerados como la mejor técnica para la estimación de la riqueza, abundancia y densidad de peces, tanto en los arrecifes naturales como artificiales<sup>14</sup>.

Los censos se han realizado en cada uno de las estaciones de muestreo seleccionados, siempre en horario de mañana, en condiciones meteorológicas e hidrológicas semejantes, y con visibilidades horizontales en el agua siempre mayores de 5 metros, para evitar sesgos en los datos debidos a estos factores. En cada estación de muestreo, se han realizado tres transectos.

## Estadio interpretativo. Divulgación y concienciación

### *Consideraciones generales y objetivos*

Con la finalidad de facilitar al lector la comprensión de la interpretación como herramienta y de los objetivos que pretendemos alcanzar mediante su uso, permítanme unas consideraciones generales sobre dicho concepto.

El patrimonio natural y cultural se relaciona estrechamente con la diversidad biocultural. Tiene profundos nexos con los saberes, con las identidades y la interculturalidad, con la valoración, el sentido y la sabiduría de quienes habitan los lugares patrimoniales, y con las emociones, conocimientos y sentimientos de quienes los visitan. Por eso, una de las tareas más importantes al iniciar la reflexión sobre qué se entiende por interpretación del patrimonio, es plantear la necesaria búsqueda de un acercamiento respetuoso, sensible y vital de las personas

<sup>14</sup> HARMELIN-VIVIEN *et al.* (1985).

a los valores que están presentes en la naturaleza y las culturas<sup>15</sup>. Con este firme propósito se pretende vertebrar nuestra forma de focalizar las acciones de divulgación y concienciación sobre el patrimonio natural, e incluso cultural, que conforma la biodiversidad marina del municipio de Xàbia, actuando sobre los agentes locales cuya actividad socio-económica se despliega sobre el entorno marino, así como sobre la totalidad de la ciudadanía. Pretendemos generar una cadena de valor a través del tejido social, producir conciencia para ser consumida e iniciar nuevamente la fase de producción.

Entre la multitud de definiciones que tiene la interpretación como herramienta de difusión y concienciación, nos basamos en aquella que aporta la Asociación de Interpretación del patrimonio (AIP): *La interpretación del patrimonio es el 'arte' de revelar in situ el significado del legado natural y cultural al público que visita esos lugares en su tiempo libre*. En esta definición destacan dos elementos centrales: la inclusión del arte, como elemento prioritario de comunicación, y el planteamiento de que la interpretación se orienta a un público que hace uso de su tiempo libre, por lo que no se trata de visitantes 'cautivos', en términos de su inserción en alguna actividad educativa, formativa o de capacitación, que los obligue a estar presentes o realizar algunas tareas<sup>16</sup>. Tal y como señala la AIP, se trata de un proceso creativo de comunicación orientado a conectar intelectual y emocionalmente al visitante con los significados del recurso o lugar patrimonial visitado.

Una vez reconocida y seleccionada este tipo de herramienta como clave para nuestro proyecto, se ha propuesto un Plan de Interpretación que engloba una serie de objetivos generales, los cuales se muestran a continuación, y cuyo último fin es la conservación. Estos objetivos generales son compatibles con otros objetivos específicos que se aplicarán sobre cada una de las acciones interpretativas que se proponen desplegar.

- Dar a conocer el patrimonio natural sumergido del municipio, que *a priori*, es el gran desconocido.
- Ponerlo en valor.
- Traducir, desvelar significados de este patrimonio para crear un relato que el público entienda, que sea comprensible y que emocione.
- Concienciar acerca de los impactos que se generan en el medio marino y la influencia directa de las actividades antrópicas.
- Sensibilizar a la población ante la necesidad de conservar los recursos marinos, a modo de una inversión en capital natural a largo plazo.
- Contribuir al desarrollo económico del municipio desde una perspectiva sostenible.

<sup>15</sup> MOREIRA-WACHTEL y TRÉLLEZ (2013).

<sup>16</sup> HAM (2005).

- Adoptar actitudes de responsabilidad a la hora de legar este patrimonio a las generaciones futuras.
- Obtener una métrica, siempre que sea posible, para poder gestionar e interpretar los datos: evaluación psicosociológica.

La presente propuesta en cuanto a objetivos debe estar sujeta a un planteamiento dinámico y revisado, de forma que pueda ser adaptada en función de la consecución de cada objetivo y de la experiencia y valoraciones que se obtenga a lo largo de su desarrollo.

### *Metodología: marco general de actuación*

La totalidad de acciones que componen el Plan de Interpretación propuesto se rigen por las siguientes premisas:

- Los datos recopilados en esta fase han sido obtenidos con absoluto rigor científico, tanto a través de la metodología aplicada, como a través de la exhaustiva revisión documental (artículos de investigación y documentos relacionados con el patrimonio cultural y natural del municipio).
- La fuente de información biológica está totalmente actualizada, dada la inmediatez temporal de las campañas de muestreo realizadas para tal fin.
- Muchas de las acciones del Plan de Interpretación pretenden crear conocimiento entre la población local, público general y comunidad educativa. Capacitar a los agentes locales y ciudadanía es fundamental para que actúen de antenas del proyecto y se transformen en ‘guardianes de la biodiversidad’ del municipio.
- La sostenibilidad como eje vertebrador del proyecto, entendiendo la sostenibilidad desde tres perspectivas: ambiental, económica y social. La sostenibilidad no debe ser tratada como una rama del proyecto, sino que debe ser entendida como una actitud que impregne cualquier acción desde su inicio hasta su evaluación final.
- Transversalidad y multidisciplinariedad. La idea de crear un proyecto transversal que abarque aspectos de amplio espectro (científicos, técnicos, culturales, económicos, sociales, turismo, etc.) le confiere un valor añadido que es fundamental a la hora de trabajar en un proyecto dinámico como es este. Para conseguir llegar a todos estos ámbitos es necesario trabajar con un equipo multidisciplinar que trabaje activamente y sea colaborativo.
- El Plan de Interpretación debe conectar con la realidad actual del municipio: Xàbia apuesta por un turismo de calidad que contempla los recursos naturales, entre ellos el patrimonio natural sumergido.

- Implicar a los agentes locales con una actividad socio-económica vinculada con el mar es esencial en este proyecto, pues representan una fuente de información muy valiosa para confeccionar nuestro relato y, además, y gracias a la capacitación de los mismos, representan potenciales antenas de comunicación de todos los valores patrimoniales; contribuyen por lo tanto a la cadena de valor anteriormente mencionada.
- Metodología de trabajo colaborativa. Se propone desde inicio la participación de cualquier entidad que lo desee (pública, privada, ONG, voluntariado, etc.) con el fin de enriquecer el proyecto original y amplificar su alcance, manteniendo en todo momento los valores, autoría y compromiso de cada participante.
- A la hora de diseñar el conjunto de acciones de interpretación, se ha intentado desestacionalizar el plan de acción, de manera que exista una oferta distribuida a lo largo de todo el año, independientemente de la temporada estival de máxima afluencia de visitantes al municipio.
- Cada acción está sujeta a su medición y evaluación, con el fin de saber si se ha llegado a impactar sobre el destinatario y estudiar el retorno de dicha acción. Además, el hecho de evaluar nos va a permitir, siempre que sea posible, adoptar medidas correctoras para mejorar ciertos aspectos.
- Asegurar la máxima difusión de cada acción y de sus resultados. Se debe maximizar su alcance y, en el caso de no ser posible, como el caso de actividades destinadas a escolares que tienen un público limitado, se debe implementar con una buena comunicación de la misma para que llegue a más público. De ahí la importancia de la integración de las redes sociales y de las nuevas tecnologías. Ante cualquier acción, siempre se intentará realizar una campaña previa de difusión de la misma y otra posterior de comunicación de sus resultados (web, redes sociales, relaciones públicas, soportes gráficos, documentales y audiovisuales).

### *Metodología: despliegue del Plan de Interpretación*

El despliegue del proceso interpretativo propuesto requiere transitar por cinco etapas principales:

#### *1. Primera etapa*

Descubrimiento de la esencia del lugar, qué marca la diferencia en Xàbia que lo hace un municipio singular y diferente del resto de municipios de la comarca. Esta etapa es totalmente participativa.

#### *2. Segunda etapa*

El análisis de la información generada por el proyecto, así como los estudios y la documentación existentes. Es un abordaje interdisciplinario, que complementa el paso anterior, en el cual habrá que analizar estudios provenientes de la ecología, la antropología, la arqueología, la historia, la sociología y otras disciplinas relacionadas, así como documentos referidos a las condiciones socioeconómicas de la zona, y a detalles históricos y espirituales sobre los pobladores.

### 3. *Tercera etapa*

La interpretación de las informaciones recopiladas y los posibles enfoques del proceso. Sobre la base de las dos etapas anteriores, se procede a definir los enfoques y mensajes interpretativos, así como las formas comunicacionales con las cuales se espera llegar a los visitantes. Es preciso, entonces, determinar las estrategias adecuadas para que los mensajes lleguen a las personas, de manera tal que puedan comprenderlos y sentirse motivados, intelectual y emocionalmente. En esta etapa hemos de crear el relato que sea el eje vertebrador del proyecto y con el que se identifique la población.

### 4. *Cuarta etapa*

La interpretación propia que realiza el público visitante. Cada persona o grupo de visitantes recibe los mensajes y los procesa, a través del pensamiento, el sentimiento, la reflexión y el análisis personal. Es en esta etapa donde se construyen las conexiones más profundas, se elaboran los significados propios y se puede incidir en los cambios de comportamiento, en la mejora de las actitudes y en la posibilidad de que se propicien conductas positivas de cuidado y valoración. Se trata de la etapa de concienciación y sensibilización, la más compleja si se quiere inducir un cambio de comportamiento con el fin de preservar los recursos marinos.

### 5. *Quinta etapa*

Evaluación del proceso interpretativo, siempre que sea posible y dispongamos de las herramientas y el personal para evaluar.

El conjunto de estas etapas entrelazan la consecución de los objetivos que pretendemos: generamos y rescatamos conocimiento, lo interpretamos y, como resultado, provocamos el paso a la acción. Por lo tanto, pretendemos como fin último la motivación de actitudes que se transformen en conductas. Para todo ello se han propuesto los siguientes soportes interpretativos:

- Exposición
- Documentos audiovisuales
- Acciones de sensibilización

Respecto a las acciones de sensibilización, que en sí representan al factor experiencial y foco principal del proceso interpretativo, tal y como se muestra en la Figura 12, se ha seleccionado un amplio abanico de tipologías a partir del cual poder abordar, mediante diferentes herramientas interpretativas, el objetivo general que se pretende.

Figura 10. Tipologías de acciones de interpretación desplegadas en el marco del Proyecto Xàbia



Como conclusión a la metodología diseñada para el presente proyecto, y con la finalidad de facilitar la comprensión del lector respecto a cómo desplegar el estadio interpretativo del mismo, les expongo en la Tabla 1 la relación de acciones diseñadas.

Pretendemos a través de las mismas contribuir a revelar, entre la población de un municipio costero, el significado y valor de su capital natural, con el reto añadido de tener que superar la accesibilidad a dicho patrimonio, inmerso bajo unas aguas que han condicionado y condicionan el desarrollo cultural, social y económico de su historia.

Las palabras que aquí concluyen han pretendido hacerles reflexionar sobre la necesidad de la colaboración para abordar objetivos tan ambiciosos como la conservación ambiental. Con independencia de la magnitud del entorno a conservar, y de su mayor o menor accesibilidad, el éxito reside en nuestras propias conductas y las de la propia gobernanza, expresadas estas a través del ordenamiento jurídico. No obstante, alcanzar tales conductas requiere previamente la generación de cambios de actitud individuales y colectivos que se consiguen gracias a la interpretación y a la transferencia del conocimiento técnico que genera la comunidad científica. La conservación como fin, la investigación y la interpretación como medio. Difundir la comprensión contribuye a globalizar nuestros pequeños gestos y con ello asegurar grandes retos.

Inspirar este modelo 'productivo' nos asegurará un dialogo continuo y compartido con nuestro propio entorno natural, con un grado de comprensión que nos aísle de los principios ideológicos y nos asiente sobre la realidad más inmediata e universal.



Tabla 1. Relación de acciones de interpretación correspondientes al Proyecto Xàbia  
Difusión de conocimiento y buenas prácticas, sensibilización y conservación directa e indirecta

1. Díptico de buenas prácticas para embarcaciones
2. Manual de buenas prácticas náuticas 'Disfruta del mar sin dejar huella'
3. Jornada de sensibilización sobre varamientos de animales en Jávea
4. Suelta tortuga Jávea
5. Limpieza de playas
6. 'Sea Weekend Xàbia'
7. Suelta de pintarrojas
8. Curso Formación Policía Local-Cruz Roja-Guardia Civil
9. Entrega contenedores Proyecto Plumbum (recogida residuos plomo)
10. Presentación curso profesorado
11. Curso Formación 'Náuticos y Marinas'
12. Charla Posidonia oceanica y medusas
13. Festival Internacional de Cortometrajes 'Arte-Cine-Mar'
14. Formación profesorado Xàbia (primaria, secundaria y bachiller)
15. Formación centros de buceo: difusión de conocimiento y buenas prácticas
16. Limpieza de playas (Semana Europea de Prevención de Residuos)
17. Itinerarios interpretativos marinos: difusión de conocimiento y buenas prácticas
18. Fotografía gran formato: impacto y buenas prácticas
19. Entrevistas agentes locales vinculados al mar (historias de vida)
20. Presentación Proyecto Alcaldía: difusión de conocimiento y buenas prácticas
21. Presentación Proyecto Ministerio Medio Ambiente: difusión de conocimiento y buenas prácticas
22. Visitas semanales/quincenales a los dirigentes locales: difusión de conocimiento y buenas prácticas
23. Mensaje en una botella (buenas prácticas ambientales y el mar dirigidas a escolares)
24. Formación Cofradía de Pescadores
25. Campaña de sensibilización de la posidonia (mupis Ayuntamiento)
26. Recetario de cocina (pesca sostenible)
27. Charlas orientación alumnado secundaria
28. Congreso Científico Infantil 'Biodiversidad Marina'
29. Formación ('Quiero ser un chiringuito responsable')
30. Exposición fin de proyecto
31. Análisis sobre la percepción de los habitantes del municipio respecto al mar y la sostenibilidad
32. Relatos sobre el mar (literatura)
33. Mini-guía submarina de bioindicadores
34. Coloniz-Arte (arte-conservación ambiental)
35. Pildoras de biodiversidad
36. Ciencia ciudadana sumergida
37. Fotosub (concurso fotográfico)
38. 'Soy pescador y por eso protejo el mar'
39. Voluntariado y sensibilización ambiental
40. 'Engalana tu calle con sabor a mar'
41. Informadores ambientales marinos
42. Haikus escolares (taller de microrrelatos)
43. Comunicar el medio marino (charlas/mesas redondas)
44. Presentación, rueda de prensa de los resultados y conclusiones del estudio científico-técnico

## Referencias bibliográficas

- BIANCHI, C. N. y MORRI, C. (2000): «Marine biodiversity of the Mediterranean Sea»; Situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* 40; pp. 367-376.
- BOUDOURESQUE, C. F. (2004): «Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities»; *Sci Rep Port-Cros Natl Park* 20; pp. 97-146
- COLL, M.; PIRODDI, C.; STEENBEEK, J. *et al.* (2010): «The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats»; *PLoS ONE* 5(8); e11842; doi:10.1371/journal.pone.0011842.
- COLWELL, R. K. (2009): «Biodiversity: concepts, patterns and measurement»; In LEVIN, S. A.: *The Princeton guide to ecology*. EEUU, Princeton, NJ. Princeton University Press; pp. 257-263.
- CRUZADO, A. (1985): «Química de las aguas mediterráneas»; en MARGALEF, R., dir.: *El Mediterráneo Occidental*. Barcelona. Ediciones Omega; pp. 128-149.
- DE GROOT, R. S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L. *et al.* (2010): «Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making»; *Ecological Complexity* 7; pp.260-272.
- DIRECTIVA 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Diario Oficial de la Comunidad Europea, no 206, de 22 de julio de 1992.
- DIRECTIVA 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas de agua. Diario Oficial de la Comunidad Europea, no 327, de 23 de octubre de 2000.
- DUARTE, M. (2006): *Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- DUNLAP, R. E.; VAN LIERE, K. D.; MERTIG, A. G. y JONES, R. E. (2000): «Measuring endorsement of the new ecological paradigm: a revised NEP scale»; *Journal of Social Issues* 6(3); pp. 425-442.
- FERNÁNDEZ-TROQUEMADA, Y.; DIAZ-VALDÉS, M.; CODILLA, F. *et al.* (2008): «Descriptors from *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in coastal waters of Valencia, Spain, in the context of the EU Water Framework Directive»; *ICES Journal of Marine Science* 65; pp. 1492–1497.
- GARCIA, E. (2004a): *Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid, Alianza.

- HARMELIN-VIVIEN, M. L.; HARMELIN, J. G.; CHAUVET, C. *et al.* (1985): «Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: methodes et problemes»; *Terre Vie* 40; pp. 467-539.
- LEJEUSNE, C.; CHEVALDONNÉ, P.; PERGENT-MARTINI, C. *et al.* (2010). «Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea»; *Trends in Ecology and Evolution* 25; pp. 250-260.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005): *Ecosystems and human well-being, wetlands and water synthesis*. Washington, D. C., World Resource Institute.
- MOREIRA-WACHTEL, S. y TRÉLLEZ, E. (2013): *La interpretación del patrimonio natural y cultural. Una visión intercultural y participativa*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Programa Desarrollo Rural Sostenible (PDRS) y Ministerio del Ambiente Dirección General de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental de Perú.
- SCHMUCK, P. y SCHULTZ, W. P. (2002): *Psychology of sustainable development*. Dordrecht, Holanda. Kluwer.
- TEMPLADO, J. (2014): «Future Trends of Mediterranean Biodiversity»; en GOFFREDO, S. y DUBINSKY, Z., eds.: *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. Springer Science+Business Media Dordrecht; pp. 479-498.
- UNITED NATIONS (ed.) (2017): *The First Global Integrated Marine Assessment I*. Cambridge, Cambridge University Press.
- ZENETOS, A.; GOFAS, S.; MORRI, C. *et al.* (2012): «Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways»; *Mediterranean Marine Science* 13; pp. 328-352.





# EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL, TERRITORIO DE RIESGO AUMENTO DE LA VULNERABILIDAD Y LA EXPOSICIÓN A LA PELIGROSIDAD NATURAL

*Jorge Olcina Cantos*

Catedrático de Análisis Geográfico Regional (Universidad de Alicante)

## Resumen

El litoral mediterráneo español es un territorio de riesgo, debido a la confluencia de peligrosidad natural elevada y fuerte ocupación del espacio geográfico con actividades económicas de alto valor comercial y núcleos urbanos. El aprovechamiento de los recursos naturales que ha favorecido su desarrollo socioeconómico durante las últimas décadas, ha traído, asimismo, como consecuencia un aumento de la vulnerabilidad y la exposición a los peligros de la naturaleza, especialmente a los de causa atmosférica (inundaciones, sequías, temporales). De manera que, en la actualidad, más de dos millones de personas viven, en esta región, en áreas con riesgo de inundación. El proceso de calentamiento climático actual está ocasionando cambios en los elementos climáticos, lo que puede poner en riesgo el desarrollo de esta región española. Y obliga a tomar medidas para conseguir una adaptación a dichos cambios. Esto va a afectar a la planificación agraria, hidráulica, turística y a la propia gestión territorial en las áreas urbanas. Temperaturas menos confortables, especialmente en los meses de verano y precipitaciones menos abundantes y con un grado mayor de intensidad horaria son los efectos, ya registrados, del calentamiento atmosférico terrestre en esta región española. Y los modelos de cambio climático para las próximas décadas indican que estas alteraciones pueden incrementar su frecuencia de desarrollo e intensidad. El litoral mediterráneo ha sido siempre espacio de contrastes en su medio físico; ha vivido a golpe de extremos, y a ello han tenido que adaptar sus pobladores su ritmo vital y actividades económicas. La cuestión es preparar el territorio y su población a un escenario de mayor vulnerabilidad e incertidumbre. Este es el reto de la acción política y del comportamiento de las sociedades en esta región geográfica de nuestro país para los próximos años.

## Abstract

*The Spanish Mediterranean coast is a territory at risk, owing to the confluence of high natural hazards and intense occupation of the geographical space by high-value economic activities and urban centres. The exploitation of natural resources that has driven the region's social and economic development in recent decades has brought with it an increased vulnerability and exposure to the hazards of nature, especially those caused by the weather (floods, droughts, storms). As a result, more than two million people in the Mediterranean now live in flood risk areas. The current climate warming process is leading to changes in climate features that may jeopardise the development of the Spanish Mediterranean coast. Steps must be taken to adapt to those changes. This will affect agricultural, water supply and tourism planning and land use management in urban areas. The effects of global warming on Spain's Mediterranean coast are already apparent in the form of less comfortable temperatures, especially in the summer months, and lower but more concentrated rainfall. Moreover, climate change models for the next few decades indicate that the changes may become more frequent and more intense. The Mediterranean coast has always been a region of contrasts in its physical environment. Its inhabitants have had to cope with extremes and adapt their lifestyle and economy accordingly. The task today is to prepare the territory and its population for a scenario of increased vulnerability and uncertainty. That is the challenge for policy and practice in the societies of Spain's Mediterranean region for the years ahead.*

«Pero cuando los dioses purifican la tierra inundándola con agua, se salvan los que viven en los montes, mientras que los que viven en vuestras ciudades son llevados por los ríos hasta el mar».

Platón (*Timeo*)

## 1. Litoral mediterráneo español: territorio de excelencia natural, no sin sobresaltos

Desde época histórica ha habido una constante adaptación del ser humano a las condiciones del medio físico en las tierras del Mediterráneo, que a veces ha sido diálogo fluido, sosegado, y otra dialéctica feroz. Lo paradójico es que cuando se habla de 'lo mediterráneo' desde el punto de vista del medio físico, suele asimilarse con rasgos de tranquilidad, placidez, sosiego y luz; es la impresión que invade el relato de Kapuscinski cuando describe Argel en sus *Viajes con Heródoto*: «Nunca había estado en un lugar donde la naturaleza se mostrase más amable y benévola con el ser humano. Había en él de todo y a un tiempo: el sol, el frescor del viento, la transparencia del aire y el plateado brillo del mar».

Pero las tierras del Mediterráneo conocen también una cara poco amable en el comportamiento de los elementos del medio natural: el desarrollo de episodios naturales de rango extremo que ocasionan daños y, en numerosas ocasiones, víctimas. Lo explica bien F. Braudel en sus *Memorias del Mediterráneo*: «Tendemos demasiado a creer en la suavidad, la facilidad espontánea de la vida mediterránea. Es dejarse engañar por el encanto del paisaje. La tierra cultivable es escasa, las montañas áridas o poco fértiles son omnipresentes; el agua de las lluvias está mal repartida: abunda cuando la vegetación descansa en invierno, desaparece cuando más la necesitan las plantas nacientes...». Y añade acertadamente: «El motor climático del Mediterráneo se puede averiar, la lluvia puede llegar demasiado abundante o insuficiente, los vientos caprichosos pueden traer, en un momento inoportuno, la sequía o el exceso de agua o las heladas primaverales...».

El litoral mediterráneo es, pues, tierra de contrastes, de adaptación y lucha frente a un medio físico que ofrece recursos, pero también sinsabores. Esta cara menos amable es la que apenas aparece cuando se describen los rasgos geográficos significativos de las tierras del Mediterráneo, pero es, sin duda, uno de los elementos que le otorgan personalidad territorial y que ha ido adquiriendo un protagonismo destacado desde los años cincuenta del pasado siglo hasta la actualidad.

Un espacio geográfico define su función, su personalidad, a partir de unos factores que favorecen el desarrollo de actividades económicas. La existencia de dinamismo social, de capacidad emprendedora, las posibilidades de acceso a los recursos naturales, el desarrollo de redes de transporte y comunicación rápidas, la consolidación de mecanismos de financiación o la puesta en marcha de políticas públicas son básicas para entender el mayor o menor éxito de las iniciativas de desarrollo económico. Todos estos aspectos integran el conjunto de factores endógenos y exógenos que, desde el siglo XIX, han permitido la consolidación de las diversas formas de organización económica del litoral mediterráneo español, con sus evidentes efectos socio-territoriales. Y junto a ellos, la existencia de un medio natural con rasgos favorecedores de las actividades puestas en marcha por las sociedades que en él se desarrollan, son una pieza básica, especialmente en aquellos sectores que dependen ampliamente de estos elementos del medio físico.

El litoral mediterráneo español dispone de unas excelencias en sus condiciones climáticas muy idóneas para la implantación de actividades agrarias y de ocio y recreación que son la base importante de su desarrollo económico (Tabla 1); lo que explica, en definitiva, la acumulación de población en esta parte de la península ibérica. Temperaturas agradables a lo largo del año, importante número de horas de sol, abundancia de días despejados, soplo de vientos locales (brisas) que atemperan los rigores térmicos del verano, precipitaciones no muy abundantes pero suficientes para el desarrollo de las actividades económicas implantadas y el abastecimiento de las ciudades. A las condiciones climáticas mediterráneas, generalmente bonancibles, se suma el predominio de aguas cálidas en la orilla del Mediterráneo durante el semestre estival, especialmente en su segunda mitad, cuando son muy propicias para el turismo de sol y playa (26 °C por término medio), manteniéndose aún en unos 21 °C durante el otoño.

Tabla 1. Litoral mediterráneo español. Recursos y riesgos

Aspectos	Recursos	Efectos de riesgo
Geológicos y geomorfológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedad de paisajes y tipos de costa</li> <li>• Proximidad de relieves al mar</li> <li>• Relieves de formación joven (recursos minerales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona de sismicidad activa</li> <li>• Territorio activador de fenómenos de deslizamiento y erosión</li> <li>• Potenciador de fenómenos convectivos (efectos de disparo orográfico)</li> <li>• Concentración de la población en una franja estrecha de territorio (línea costera)</li> </ul>
Oceanográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mar cálido</li> <li>• Mar, generalmente, con oleajes moderados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activador de procesos meteorológicos autónomos (ciclogénesis)</li> <li>• Alto grado de transferencia de calor. Formación de nubosidad convectiva</li> </ul>
Climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de tiempos atmosféricos estables (sol, buenas temperaturas)</li> <li>• Proximidad a la dinámica atmosférica del norte de África (sahariana)</li> <li>• Situación a sotavento de los flujos atlánticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catálogo variado de tipos de tiempo y de situaciones atmosféricas excepcionales</li> <li>• Importancia creciente de la masa sahariana (episodios de lluvia intensa)</li> <li>• Escasa precipitación salvo en zonas de montaña</li> </ul>
Social-económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio de desarrollo económico (agrario, industrial y turístico)</li> <li>• Territorio de atracción demográfica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la exposición y vulnerabilidad ante los peligros naturales (principalmente inundaciones, sequías y sismicidad)</li> </ul>

El clima es, pues, un elemento básico para entender la evolución del litoral mediterráneo español a lo largo de la historia. Y especialmente a partir de mediados del siglo pasado ha sido la base para la consolidación de una economía dinámica basada en actividades dependientes de las condiciones atmosféricas en gran medida (agricultura de mercado y turismo). Sin embargo, las manifestaciones cada vez más evidentes del proceso de calentamiento térmico planetario han impulsado estudios sobre sus efectos en el litoral mediterráneo español.

## 2. Aumento de la vulnerabilidad y la exposición a los peligros naturales en el litoral mediterráneo

El litoral mediterráneo español es una región-riesgo en el contexto europeo; esto es, un espacio geográfico caracterizado por el desarrollo potencial –y real– de eventos naturales de rango extremo con incidencia sobre las poblaciones, los asentamientos y las actividades allí instaladas hasta el punto de supeditar, de forma coyuntural o estructural, el desarrollo de una vida normal en estas sociedades. Así quedó demostrado en el informe sobre peligrosidad natural y tecnológica en Europa (ESPON, 2008), que ha confirmado en el *Atlas of the Human Planet* (JRC, 2017). España ocupa el quinto lugar de Europa por volumen de población expuesta a las inundaciones (2,3 millones), siendo las áreas litorales, especialmente de la costa mediterránea, las que concentran un nivel de riesgo mayor ante este peligro natural. Solo en el período 1975-2015 la población expuesta a las inundaciones en España se habría incrementado un 24 %, la gran mayoría de ella en su costa mediterránea (JRC, 2017: 53). Los perjuicios económicos ocasionados por acontecimientos atmosféricos extraordinarios representan pérdidas económicas entre el 0,2 y 1 % del PIB, según años, y el número de víctimas causadas por los peligros de la naturaleza sigue siendo aún elevado en relación con el nivel de desarrollo económico de nuestro país.

El abanico de peligros naturales que pueden afectar al litoral mediterráneo español es amplio (atmosféricos, geológicos y geomorfológicos, hidrológicos, biogeográficos). Entre ellos, los episodios de inundación originados fundamentalmente por lluvias intensas, las sequías, los terremotos y los temporales de viento son los que originan mayores pérdidas económicas, efectos ambientales y pérdida de vidas humanas. Y junto a ellos, deslizamientos, olas de calor y frío, granizadas con repercusión en la actividad agraria y tornados completan la relación de peligrosidad natural que se da en este espacio regional (Tabla 2).

Tabla 2. Cambios en el protagonismo socio-territorial de los peligros climáticos en el litoral mediterráneo español

Peligros atmosféricos que mantienen su protagonismo	Peligros atmosféricos con protagonismo en alza
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lluvias intensas o torrenciales que generan inundaciones</li> <li>• Secuencias de sequía</li> <li>• Granizadas</li> <li>• Heladas</li> <li>• Incendios forestales (riesgo mixto)</li> <li>• Temporales de mar con oleaje fuerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Golpes de calor y ‘noches tropicales’ (pérdida de <i>comfort</i> climático)</li> <li>• Trombas marinas y tornados</li> <li>• Tormentas intensas (50-100 mm en 1 hora)</li> <li>• Tormentas con aparato eléctrico</li> <li>• Borrascas ‘explosivas’</li> </ul>



De todos ellos, las inundaciones son los episodios que con mayor frecuencia ocasionan daños económicos y pérdida de vidas humanas, aún en la actualidad. En nuestro país, la peligrosidad ante las inundaciones ha pasado de ser una cuestión de llanuras de inundación de grandes colectores fluviales, a convertirse en un problema en cuencas pequeñas con un grado elevado de ocupación humana en sus tramos medios y finales. Son en estas áreas, donde se producen los daños por episodios de lluvia torrencial y crecida de cursos fluviales menores. Ello es debido a la acumulación de población y actividades en el medio urbano y a la deficiente planificación urbana que no ha tenido en cuenta, como norma común, el problema de las inundaciones y sus efectos territoriales en los procesos de asignación de usos en el suelo.

La responsabilidad de los daños originados por estos episodios naturales extraordinarios y, especialmente, por las inundaciones es básicamente antrópica. Corresponde al ser humano conocer bien los territorios donde va a implantar usos y actividades, y ello supone la obligación de análisis detallados del riesgo de inundaciones existente en ellos. Si no se hace, por desconocimiento o acción premeditada, los efectos ocasionados por un episodio natural de rango extraordinario no pueden ser imputables a la naturaleza, como ha sido habitual en España durante décadas. La imprevisibilidad de los peligros naturales, salvo en el caso de los terremotos, es un sofisma que atenta contra la seguridad de las personas. Además, ante un escenario de clima cambiante y con un posible incremento en el desarrollo de eventos atmosféricos extremos, la reducción del riesgo frente a los riesgos climáticos, debe pasar por aplicación de medidas de reducción de la exposición y de la vulnerabilidad.

Para reducir el riesgo en los territorios se han desarrollado, en nuestro país, políticas y medidas diversas. Básicamente, se han desarrollado medidas ‘estructurales’, es decir, obras de infraestructuras para aminorar la peligrosidad natural (p. ej.: presas y encauzamientos de ríos, trasvases, sellado de laderas, diques y escolleras en la costa). Se trata de obras que, necesarias en un primer momento, han mostrado en ocasiones escasa eficacia debido al error en los cálculos utilizados para calibrar el carácter extremo de los elementos del medio natural. De manera que han generado sensaciones de seguridad falsa en las poblaciones próximas, que se vuelven en contra cuando tiene lugar un evento de rango extraordinario.

Desde el desastre de Biescas, ocurrido en agosto de 1996, y los efectos políticos derivados del mismo, parece existir en nuestro país un consenso generalizado en que la planificación del territorio es la medida preventiva más sostenible, adaptativa y económicamente rentable para alcanzar una mitigación de las pérdidas causadas por inundaciones. Sin embargo, no es del todo infalible debido a la lentitud en la toma de medidas que conllevan los procesos administrativos inherentes a los procesos de planificación territorial o incluso el incumplimiento de los preceptos legales que regulan la planificación territorial y el tratamiento del riesgo en la misma. Recordemos que desde 2008, existe obligación legal (Ley del Suelo, actualizada en 2015) de incorporar cartografía de riesgo en los procesos de planificación urbana.

### 3. Un nuevo escenario: el calentamiento climático. Incremento de las lluvias intensas

El calentamiento climático manifiesta ya, sin embargo, algunos efectos en los elementos del clima del litoral mediterráneo español. En general, España es un territorio especialmente expuesto a las posibles alteraciones climáticas debido a su misma posición geográfica en el sector meridional de las latitudes medias del hemisferio norte y en la cuenca mediterránea. Especialmente vulnerable es el litoral mediterráneo, donde se concentran población y actividades económicas de alto valor económico que pueden verse afectadas de forma notable por los efectos del cambio climático. Hay cinco procesos atmosféricos que se manifiestan ya en los rasgos del clima mediterráneo y que tienen implicaciones directas en el territorio y efectos socioeconómicos:

- Aumento de los extremos atmosféricos (mayor peligrosidad climática).
- Reducción general de precipitaciones y, por tanto, de volúmenes de agua disponible.
- Aumento en la irregularidad y la intensidad horaria de las precipitaciones.
- Incremento de las temperaturas medias (0,8 °C en el último siglo).
- Aumento de noches tropicales, que se han triplicado, por término medio, en todo el litoral mediterráneo, desde 1980 a la actualidad.

En relación con el problema de las inundaciones, al incremento en la vulnerabilidad y la exposición al riesgo ocurrido en los últimos cincuenta años en el litoral mediterráneo, se unen los efectos previstos por los modelos climáticos en las precipitaciones de este ámbito regional.

Aunque en realidad estos cambios en la ‘forma de llover’ del litoral mediterráneo español, ya están notándose. Diversos estudios (CEDEX, 2012; Marcos García y Pulido Velázquez, 2017; Serrano Notivoli, 2017) han señalado, en los últimos años, el desarrollo de cambios en las precipitaciones ocurridas en el conjunto de la península ibérica que, por lo común, muestran tendencias de descenso en las lluvias, si bien no uniforme y de igual reparto en todo el territorio español, así como un incremento en las intensidades de precipitación que resulta notorio en el litoral mediterráneo.

La irregularidad interanual e intraanual de las lluvias es un rasgo propio de la precipitación mediterránea. Y junto a ello la concentración de las mismas en corto espacio de tiempo. Este es un aspecto destacado a efectos de planificación territorial, y especialmente, de las infraestructuras de evacuación de aguas necesarias en entornos urbanos, a efectos de reducir el riesgo de inundaciones. Junto a los climas del ámbito tropical, debido a la génesis de ciclones tropicales o de lluvias de tipo monzónico, el litoral mediterráneo español es una de las más destacadas del mundo en el registro de intensidades diarias y horarias de las precipitaciones.

Los episodios de inundación significativos, con pérdidas económicas importantes y víctimas humanas, ocurridos desde 1950 han tenido como causa el desarrollo de jornadas de precipitaciones torrenciales, con registro de valores muy elevados de precipitación, generalmente por encima de 200 mm. en 24 h. Los registros oficiales de lluvia en 24 horas en el territorio del litoral mediterráneo español ofrecen valores record por encima de 300 y 400 mm. Pero hay localidades que han superado ampliamente este dato, duplicando o triplicando ese volumen de precipitación diaria acumulada. Todos ellos han ocurrido en condiciones de tiempo atmosférico muy inestables (aire frío en capas altas –vaguadas, gotas frías–). La relación de valores extremos de lluvia por encima de 400 mm/24 h en un día comprende (Tabla 3).

Tabla 3. Valores extremos de lluvia por encima de 400 mm/24 h en el litoral mediterráneo español

Fecha	Localidad	Precipitación en 24 h. (mm)
20 de octubre de 1982	Casas del Barón (Valencia)	1.121*
2 de octubre de 1957	Javea (Alicante)	871**
3 de noviembre de 1987	Oliva (Valencia)	817
4 de noviembre de 1987	Pobla del Duc (Valencia)	790
3 de noviembre de 1987	Gandía (Valencia)	720
20 de octubre de 1982	Bicorp (Valencia)	632
19 de octubre de 1973	Albuñol (Granada) y Zurgena (Almería)	600
22 de octubre de 1959	Escorca, Son Torrella (Mallorca)	536
11 de septiembre de 1998	Tavernes de Valldigna (Valencia)	520
4 de noviembre de 1987	Sucamarcer (Valencia)	520
11 de septiembre de 1996	Benifairó de Valldigna (Valencia)	500
29 de septiembre de 1940	Escorca, Gorg Blau (Mallorca)	460
10 de octubre de 1994	Alforja (Tarragona)	450
14 de octubre de 1986	Cadaqués (Girona)	430
20 de octubre de 1982	Cofrentes y Jalance (Valencia)	426
3 de noviembre de 1987	Denia (Alicante)	425
12 de octubre de 2007	Alcalalí (Alicante)	416
7 de mayo de 1982	Vall de Gallinera (Alicante)	412
6 de noviembre de 1983	Alginet (Valencia)	410
1 de octubre de 1957	Cabo de San Antonio (Alicante)	409

\* *Estimado.* \*\* *No reconocido.*

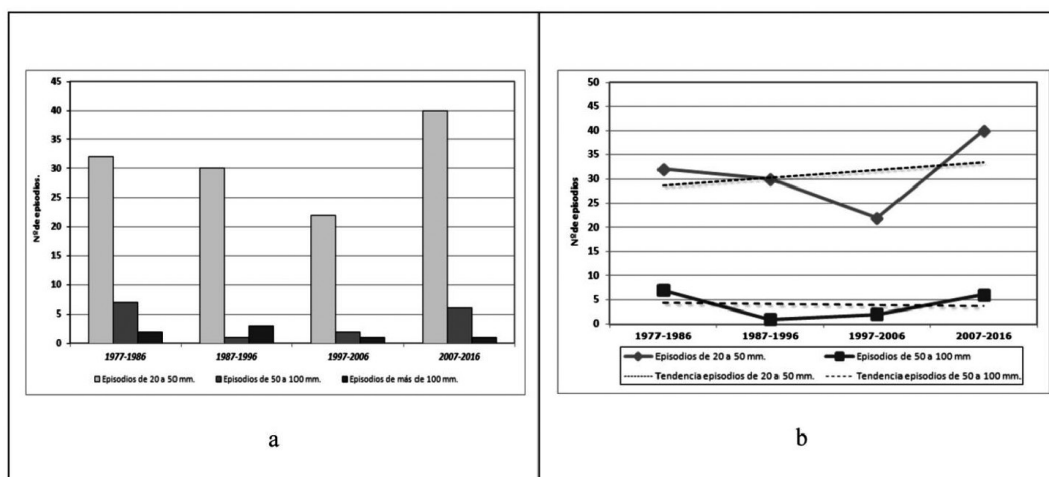
Fuente: AEMET, Gil Olcina y Olcina Cantos (2017). Elaboración propia.

Serrano Notivoli (2017) en su estudio sobre las precipitaciones en España ha señalado una tendencia negativa significativa en el análisis de la precipitación máxima anual en un día en toda la península ibérica, para el período 1950-2012. Esto quiere decir que se acumula menos cantidad de precipitación total en los eventos más extremos. Sin embargo, encuentra tendencia positiva en la contribución de la precipitación intensa a los totales anuales acumulados, lo que viene a señalar que los episodios de lluvia intensa son más frecuentes, aunque la cuantía acumulada en ellos sea menor, aunque en algunas zonas del Mediterráneo no se aprecian cambios significativos o incluso se produce una tendencia al alza de las precipitaciones totales anuales.

En el estudio sobre extremos de lluvia en España, para el período 1805-2014, elaborado por González y Bech (2017) se muestra cómo los valores más elevados de precipitación en corto intervalo de tiempo –entre 10 y 60 minutos– se han registrado en las últimas dos décadas, mientras que los datos record de lluvia torrencial (por encima de 300 mm) anotados en algún observatorio de la red nacional de AEMET son anteriores a 1990. Es decir, no se ha batido en los últimos veinte años ningún récord de cuantía máxima absoluta, pero sí se han hecho más frecuentes los datos de intensidad en corto intervalo de tiempo.

En las últimas décadas se comprueba un cambio en la forma de llover en el litoral mediterráneo español, aunque como hemos visto, existen diferencias entre unas zonas y otras, lo que pone de manifiesto la gran variabilidad e irregularidad de la pluviometría en el Mediterráneo. Esto es notable con los eventos de precipitación comprendida entre 20 y 50 mm que descargan en menos de 1 hora. Esto es especialmente notable en el sector central del litoral mediterráneo español (Comunidad Valenciana y Baleares) (Gráfico 1).

Gráfico 1. Evolución y tendencia de los episodios de precipitaciones de alta intensidad horaria en Alicante (1977-2016)



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

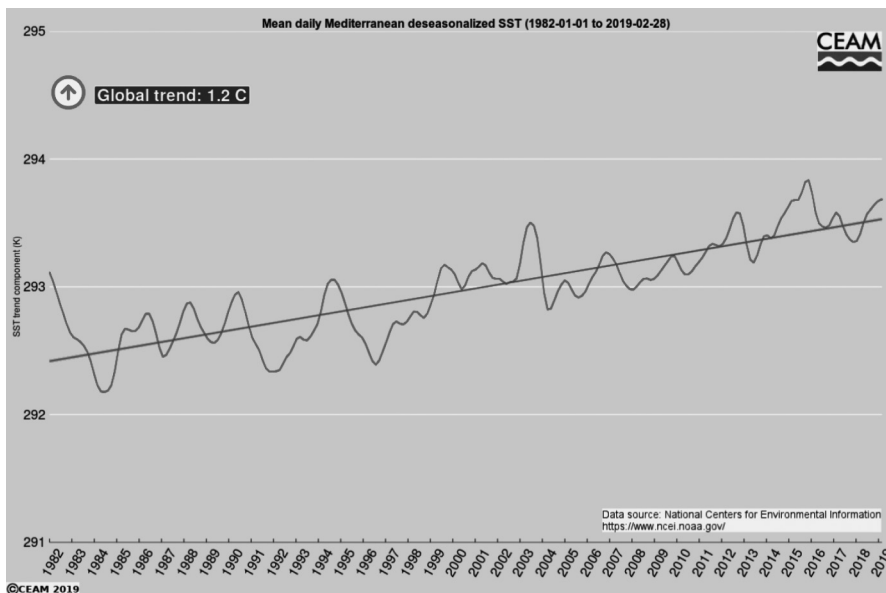
Hay un aspecto destacado que, sin duda, está en el origen del aumento de episodios de lluvia de alta intensidad horaria y de pequeña cuantía en el sector central del litoral mediterráneo español y es el aumento de la temperatura del agua del mar Mediterráneo que se experimenta en los últimos años. El sector central de litoral mediterráneo español (mar Balear) ha experimentado un aumento de temperatura y una permanencia mayor en el tiempo de las mismas ( $t_{sm} < 25$  °C) entre junio y septiembre. Para el conjunto de la cuenca del Mediterráneo, se ha estimado un incremento absoluto de 0,22 °C por década, desde 1973 a 2008 (Skliris *et al.* 2012). Shaltout y Omstedt (2014) han señalado que el sector marítimo del mar Balear es el que ha experimentado un aumento de temperatura más acusado en la cuenca occidental del Mediterráneo, entre 1982 y 2012, con una tendencia de aumento de 0,033 °C/año. Miro Pérez (2014) a partir del uso de datos de satélite pertenecientes a la base de datos de la NOAA/NASA *AVHRR Oceans Pathfinder*, ha calculado el incremento térmico en las aguas del litoral próximo a la Comunidad Valenciana, para el período 1985-2007, estimando una pendiente anual por década de 0,26 °C de incremento (*vid.* tabla adjunta). Lo más significativo es que la responsabilidad del calentamiento recae especialmente en los meses de primavera e inicio del verano (abril a junio) y, en menor medida, en octubre. Este calentamiento propicia el desarrollo de fenómenos termoconvectivos, con formación de nubes de desarrollo vertical que está en el origen de las tormentas intensas generadas con una frecuencia mayor en el sector central del litoral mediterráneo español en los últimos años.

Este incremento se sitúa en 1,2 °C desde 1980 a la actualidad (Gráfico 2). El mar Mediterráneo, en estos sectores, está más cálido que hace tres o cuatro décadas, en un proceso de acumulación de calor, especialmente a partir de finales de primavera (mayo-junio) y prolongándose en verano hasta bien entrado el otoño (octubre y comienzos de noviembre). Resulta muy destacable que desde el año 2000 se han observado picos de hasta 30 °C durante el verano en las aguas próximas a Baleares y Argelia, un valor más propio de mares tropicales. En definitiva, el período anual en que hay aguas cálidas frente a las costas del Mediterráneo español es mucho mayor que hace unas décadas y además, estas aguas están más calientes.

Se trata de un aspecto –incremento de la intensidad de las precipitaciones (horaria)– que deben conocerse a efectos de calibrar la capacidad de evacuación de las redes de drenaje urbana en las ciudades del litoral mediterráneo y, aunque resultan realmente elevados y suponen un indudable encarecimiento de las obras de avenamiento urbano, son valores de salvaguarda de la vida humana y de evitación de elevadas pérdidas económicas para estos espacios urbanos.

Además, debe tenerse en cuenta que este aspecto del incremento de la intensidad horaria de las precipitaciones, si se confirman los modelos de cambio climático, será un rasgo destacado de las precipitaciones en esta parte de España en las próximas décadas. Las predicciones climáticas de los últimos informes del IPCC (2013-14) señalan que los extremos pluviométricos (sequías e inundaciones) del Mediterráneo tenderán a ser más pronunciados y severos.

Gráfico 2. Incremento de la temperatura superficial marina del Mediterráneo occidental (1982-2018)



Fuente: CEAM.

## 4. Retos de futuro en la gestión de los recursos del clima y del agua en el litoral mediterráneo español

El proceso de calentamiento climático va a condicionar la evolución de los recursos del clima y el agua en el litoral mediterráneo español. Ello implica la necesidad de adoptar medidas para aminorar los efectos socioeconómicos y territoriales de los mismos. En suma, se trata de planificar el aprovechamiento futuro de los recursos del clima y del agua para poder mantener un nivel de desarrollo en este espacio regional, que apueste por la sostenibilidad como principio rector de actuaciones a llevar a cabo en las próximas décadas.

Los principales retos que debe abordar la planificación de estos dos elementos del medio natural en diferentes sectores económicos y ámbitos territoriales serán los siguientes:

### a) Agricultura

La agricultura mediterránea debe apostar por producciones de calidad que hagan un uso prudente del agua. Debe señalarse que la agricultura de secano, sin garantías de riego auxiliar, puede verse seriamente afectada si se producen sequías intensas de forma más frecuente como señalan los modelos de cambio climático en la región

mediterránea. Asimismo, algunas producciones verán modificado su calendario de cultivo y tendrán que modificar algunas prácticas de laboreo. Por su parte, el regadío deberá adaptar sus producciones a los recursos de agua existentes. Se experimentará un incremento en los costes de producción porque la proporción de áreas regadas con recursos no convencionales será mayor. Por su parte, se podrán introducir nuevas variedades de cultivo (frutales) adaptadas a las nuevas condiciones de temperatura. La agricultura de regadío bajo plástico reduciría sus costes de producción por la menor necesidad de aporte de calor al reducirse las horas-frío al año.

*b) Turismo*

Para la actividad turística, una pieza esencial de la economía de las regiones del litoral mediterráneo español, el cambio climático va a suponer alteraciones en el confort climático, especialmente en los meses centrales del verano, además de la necesidad de tener garantizado el suministro de agua, en cantidad y calidad, ante las perspectivas de alteración del régimen de precipitaciones señalado. El sector turístico debe prepararse para la posibilidad cierta de prolongación del calendario de ‘temporada alta’ (centrada en la actualidad en el aprovechamiento masivo de los meses de julio y agosto), hacia junio (inicio) y septiembre-comienzos de octubre (final) que serán meses muy aptos para las estancias turísticas en este espacio geográfico. El sector debe abordar la necesidad de acondicionamiento climático de los establecimientos turísticos, de las viviendas residenciales y de las tramas urbanas a una situación más habitual de altas temperaturas y elevada humedad, diurna y nocturna, a los efectos de compensar el disconfort térmico que se estima creciente en los espacios costeros, especialmente a partir de mediados del siglo actual (Olcina y Miró, 2017).

*c) Agua*

La apuesta por la gestión de la demanda en la planificación de los recursos hídricos en el litoral mediterráneo español es un proceso irrenunciable y sin vuelta atrás. La superación del paradigma tradicional, basado en la continua oferta de recursos no tiene cabida en un escenario de cambio climático con menores precipitaciones y descenso de recursos hídricos superficiales. La utilización creciente de recursos de agua ‘no convencionales’ se presenta como una necesidad para las próximas décadas en el litoral mediterráneo español, dentro del paradigma de la gestión de la demanda y el uso sostenible del agua. Será necesario llevar a cabo una mejora de instalaciones de depuración de agua residual para obtener agua adecuada a los requerimientos de calidad de los cultivos (sistemas terciarios y con tratamiento de desalación), así como la construcción y mejora de infraestructuras que permitan el aprovechamiento de los caudales actuales. Una línea de actuación relevante es la relativa a la percepción de estos caudales por parte de los usuarios. El rechazo a su uso por parte de potenciales usuarios puede condicionar notablemente su potencial uso futuro. En colaboración

con la administración estatal, deberán realizarse estudios para la implantación de nuevas desaladoras estratégicas para uso urbano y agrario. Ello comportará la búsqueda de ayudas europeas orientadas a la reducción de costes del agua desalada, que debe ser considerada un recurso necesario en las áreas del litoral mediterráneo español con mayor escasez de recursos hídricos (Alicante, Murcia y Almería). Deberán, asimismo, fomentarse las acciones de cooperación entre áreas urbanas y rurales para cesión de aguas entre ambas.

*d) Planificación sostenible de los territorios*

La gestión del clima y del agua en un escenario de calentamiento térmico planetario plantea un reto importante para la planificación territorial y urbana. Además de la necesidad de apostar por territorios y ciudades de ‘emisión cero’ y con una economía descarbonizada, los territorios deben apostar por una planificación sostenible en los usos del suelo a implantar. El manejo de la herramienta de la ‘infraestructura verde’ debe asumirse como una práctica habitual en la planificación de los territorios. La aprobación de ordenanzas municipales de adaptación al cambio climático, la planificación urbana adaptada a las nuevas condiciones climáticas (zonas verdes, transporte sostenible). Las ciudades, en colaboración con los agentes privados del sector deberán tener bien diseñados los sistemas de abastecimiento de agua para minimizar la disminución de volúmenes de agua superficial disponible prevista. Por último, deberán elaborarse protocolos específicos de protección civil y sanidad pública, puesto que se van a alterar los calendarios de riesgo frente a determinados peligros de causa climática (tormentas y lluvias intensas por la presencia de aguas cálidas en el Mediterráneo occidental durante un período del año mayor), así como la frecuencia e intensidad de aparición de extremos atmosféricos (olas de calor y sus efectos en grupos de riesgo). En esta cuestión será necesario mejorar los sistemas de drenaje de precipitaciones intensas en las ciudades del litoral mediterráneo en aras a la reducción de sectores de riesgo de anegamiento e inundación y a su vez disponer de caudales que, convenientemente depurados, se inserten en los ciclos hidrosociales de las ciudades.

El litoral mediterráneo español es un territorio de riesgo frente al cambio climático, sus efectos ambientales y sus riesgos asociados (incentivación de fenómenos atmosféricos de rango extremo, disminución de precipitaciones y de recursos de agua superficiales). Las próximas décadas van a ser decisiva para confirmar las actuales hipótesis de trabajo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y mejorar, aún más, la modelización climática para alcanzar escalas de detalle. La necesidad de mantener la investigación climática con el fin de ir confirmando todos los extremos de la hipótesis principal de trabajo (efecto invernadero de origen antrópico) no debe significar inacción de las administraciones públicas o de los agentes privados en las medidas de mitigación y adaptación que deben aplicarse en los territorios. Al contrario, los próximos años son básicos para el diseño de políticas ante el cambio climático



y la planificación sostenible de los recursos de agua en este territorio español que permitan adelantarse a los acontecimientos que pueden desarrollarse.

## Referencias bibliográficas

- AEMET (2015): *Proyecciones Climáticas para el siglo XXI en España*. Disponible en: [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat).
- BURRIEL, E. (2008): «La ‘década prodigiosa’ del urbanismo español (1997-2006)»; *Scripta Nova* XII, 270(64). Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-64.htm>.
- CEDEX (2017): *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*. Madrid. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y Ministerio de Fomento; pp. 346.
- DE LUIS, M.; BRUNETTI, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LONGARES, L. A. y MARTÍN-VIDE, J. (2010): «Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005»; *Global and Planetary Change* 74(1); pp. 27-33.
- DEL MORAL, L.; HERNÁNDEZ-MORA, N.; DE STEFANO, L.; PANEQUE, P.; VARGAS, J.; BRUFAO, P.; OLCINA, J. y MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J. (2017): «Acercas del Real Decreto Ley 10/2017, de 9 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en determinadas cuencas hidrográficas y se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio»; *Notas para el debate*. Fundación Nueva Cultura del Agua.
- GARCÍA ACOSTA, X. (2013): «Urbanització difusa i consum d'aigua per a usos domèstics. Una exploració de relacions»; *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 59(2); pp. 347-362.
- GIL, A.; HERNÁNDEZ, M.; MOROTE, A. F.; RICO, A. M.; SAURÍ, D. y MARCH CORBELLA, H. (2015): *Tendencias del consumo de agua potable en la Ciudad de Alicante y Área Metropolitana de Barcelona, 2007-2013*. Alicante. Hidraqua, Gestión Integral de Aguas de Levante SA y la Universidad de Alicante.
- GONZÁLEZ HERRERO, S. y BECH, J. (2017): «Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain: extreme point rainfall temporal scaling in Spain»; *International Journal of Climatology* 37(15).
- HERNÁNDEZ, M.; SAURÍ, D. y MOLTÓ, E. (2016): «Las aguas pluviales y de tormenta: del abandono de un recurso hídrico con finalidad agrícola a su implantación como recurso no convencional en ámbitos urbanos»; en VERA, F.; OLCINA J. y HERNÁNDEZ, M., eds.: *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil*. Alicante. Publicaciones de la Universidad de Alicante; pp. 1099-1120.

- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (2014): *Climate Change 2013 and Climate Change 2014* (3 vols.). Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>.
- LOIS, R. C.; PIÑEIRA, M. J. y VIVES, S. (2016): «El proceso urbanizador en España (1990-2014): una interpretación desde la geografía y la teoría de los circuitos de capital»; *Scripta Nova* XX(539).
- MARCOS-GARCÍA, P. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2017): «Cambio climático y planificación hidrológica: ¿Es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?»; *Ingeniería del Agua* 21(1); pp. 35-52.
- MORALES, A. (2001): *Agua y Territorio en la Región de Murcia*. Murcia. Fundación Centro de Estudios Históricos e Investigaciones Locales.
- MOROTE, A. F. y HERNÁNDEZ, M. (2017): «El uso de aguas pluviales en la ciudad de Alicante. De Viejas ideas a nuevos enfoques»; *Papeles de Geografía* (63); pp. 7-25.
- MOROTE, A. F.; OLCINA, J. y RICO, A. M. (2017a): «Challenges and Proposals for Socio-Ecological Sustainability of the Tagus–Segura Aqueduct (Spain) under Climate Change»; *Sustainability* 9(11); pp. 1-24. doi:10.3390/su9112058.
- MOROTE, A. F.; RICO, A. M. y MOLTÓ, E. (2017b): «Critical review of desalination in Spain: A resource for the future?»; *Geographical Research* 55(4); pp. 412-423.
- OLCINA, J. (2001): «Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural»; en GIL, A. y MORALES, A., eds.: *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Alicante. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante; pp. 49-109.
- OLCINA, J. (2012): «Globalisation and Sustainability: Threats to the environment in a globalised world. The point of view of Spanish geography. In: Comité Español de la Unión Geográfica Internacional»; *New trends in the XXI Century Spanish Geography*. Madrid. Comité Español de la UGI; pp. 374-392.
- OLCINA, J. (2013): «Experiences in adapting to Climate Change and Climate Risk in Spain»; en SCHMIDT-THOME, P. & KLEIN, J., eds.: *Climate Change Adaptation in practice: from strategy development to implementation*. Chichester, Wiley-Blackwell; pp. 253-268.
- OLCINA CANTOS, J. (2017): «Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante»; *Semata* (29); pp. 143-163
- OLCINA, J.; HERNÁNDEZ, M.; RICO, A. M. y MARTÍNEZ, E. (2010): «Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)»; *Natural Hazards* 10(11); pp. 2229-2234.
- OLCINA, J. y VERA-REBOLLO, J. F. (2016): «Climate change and tourism policy in Spain: Diagnosis in the Spanish mediterranean coast»; *Cuadernos de Turismo* (38); pp. 565-571.

- OLCINA, J. y MIRÓ, J. (2017): *Actividad turística y cambio climático en la Comunidad Valenciana*. Alicante. Universidad de Alicante; doi:10.14198/201.
- OLCINA, J.; CAMPOS, A.; CASALS, I.; AYANZ, J.; RODRÍGUEZ, M. y MARTÍNEZ, M. (2018): «Resilience in the urban water cycle. Rainfall extremes and adapting to climate change in the Mediterranean area»; *AquaPapers* (8); p. 97.
- PASTOR, F.; VALIENTE, J. A. y PALAU, J. L. (2017): «Sea surface temperature in the Mediterranean climatology, trends and spatial patterns»; *Poster presented in 10th Hymex Workshop in Barcelona*. Disponible en: <http://www.ceam.es/VERSUS/publications.html>.
- PASTOR, F.; VALIENTE, J. A. y PALAU, J. L. (2018): «Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982-2016)»; *Pure Appl Geophys* (175); pp. 4017-4029; <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1739-z>.
- PÉREZ, A. (2010): «Actuaciones de carácter estructural para la mitigación y prevención de los efectos de las riadas e inundaciones en los municipios del sur de la Región de Murcia»; *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (53); pp. 267-285.
- RICO, A. M.; ARAHUETES, A. y MOROTE A. F. (2016): «Depuración y reutilización de aguas residuales regeneradas en las regiones de Murcia y Valencia»; en VERA, F.; OLCINA, J. y HERNÁNDEZ, M., eds.: *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil*. Alicante. Publicaciones de la Universidad de Alicante; pp. 1169-1202.
- SAURÌ, D. (2013): «Water conservation: Theory and evidence in urban areas of the developed world»; *Annual Review of Environment and Resources* (38); pp. 227-248.
- STEC, A. y KORDANA, S. (2015): «Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems»; *Resources, Conservation and Recycling* 105 (part a); pp. 84-94.
- SERRANO, R. (2017): *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Tesis doctoral, inédita. Universidad de Zaragoza.
- SHALTOUT, M. y ANDERS, O. (2014): «Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea»; *Oceanologia* 56(3); pp. 411-443.
- SKLIRIS, N.; SOFIANOS, S.; GKANASOS, A.; MANTZIAFOU, A.; VERVATIS, V.; AXAPOULOS, P. y LASCARATOS, A. (2012): «Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability»; *Ocean Dynamics* 62(1); pp. 13-30.
- SWYNGEDOUW, E. (2015): *Liquid power. Contested Hydro-Modernities in Twentieth-Century Spain*. Cambridge: MIT Press.
- VALLES-CASAS, M.; MARCH, H. y SAURÌ, D. (2017): «Examining the reduction in potable water consumption by households in Catalonia (Spain): Structural and contingent factors»; *Applied Geography* (87); pp. 234-244.

VARGAS, J. y PANEQUE, P. (2018): «Situación actual y claves de la gestión de sequías en España»; en LA ROCA, F. y MARTÍNEZ, J., coords.: *Informe del Observatorio de Políticas del agua 2017. Retos de la planificación y gestión del agua en España*. Zaragoza. Nueva Cultura del Agua; pp. 42-54.



## PARÁSITOS

### LA BIODIVERSIDAD OLVIDADA

*Ana E. Abuir-Baraja*

Departamento de Producción Animal, Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria de la Universidad Cardenal Herrera-CEU

#### Resumen

En el presente capítulo se comenta la importancia del uso de los parásitos en diferentes áreas de investigación, destacando los trabajos relativos las especies parásitas de los peces marinos. En esta sección veremos que los parásitos no son tan malos como los pintan ya que pueden ayudarnos a conocer el origen de las capturas pesqueras y a diferenciar entre poblaciones de peces. También es importante su conocimiento en las especies acuícolas que se producen en todo el mundo y son indicadores de las alteraciones medioambientales y del cambio climático global. Además, se desarrollarán ejemplos de cómo la actuación del ser humano puede provocar algunas de las connotaciones negativas que se les atribuyen, a través de ejemplos con especies invasoras/introducidas y del problema de la anisakiosis.

#### Abstract

*In this chapter we discuss the importance of the use of parasites in different areas of research, highlighting the work on parasites of marine fish. We will see that parasites are not as bad as they are sometimes thought to be, as they can help us determine the origin of fish catches and distinguish between fish populations. A knowledge of the parasites of the species farmed in aquaculture around the world is also important, as they serve as indicators of environmental changes and global climate change. We also provide examples of how human activity can be the cause some of the harm attributed to parasites, through invasive or introduced species, and the problem of anisakiosis.*

## 1. Introducción

En un volumen de la colección *Mediterráneo Económico* quizá parezca extraño encontrar una sección que hable sobre parásitos de peces marinos. ¿Por qué vamos a hablar sobre estos organismos? ¿Cómo va a ser importante desarrollar un apartado sobre ellos? ¿Qué implicación pueden tener con el mar Mediterráneo y sus habitantes? Al profundizar en el título ‘Biodiversidad marina: riesgos, amenazas y oportunidades’ quizá el lector incluya a los parásitos dentro de esos ‘riesgos’ o ‘amenazas’ y obvie su inclusión entre las ‘oportunidades’ que estos organismos pueden ofrecernos.

Pero, para comenzar a desarrollar este capítulo y a modo de introducción, vamos a empezar por el principio: ¿qué es un parásito? Lejos de que este apartado se convierta en una clase magistral de parasitología, una sencilla definición de parasitismo sería una asociación entre, normalmente, especies diferentes, donde una de ellas (el parásito) se alimenta o vive a

expensas de otra, (a la que se le conoce como ‘hospedador’) de forma temporal o permanente (definición extraída y modificada de Poulin y Moran, 2000; Martínez-Fernández y Cordero del Campillo, 2002; Pérez-Tris, 2009). Además, el parasitismo está considerado como una de las estrategias de vida de mayor éxito (Poulin y Moran, 2000; Palm y Klimpel, 2007).

Pero, para el público en general, la opinión sobre los parásitos siempre ha sido negativa ya que, normalmente, se les asocia con enfermedades, patologías o zoonosis (Marcogliese, 2005).

No obstante, el estudio de los parásitos puede facilitarnos información muy importante sobre sus hospedadores en aspectos tan relevantes como su biología, comportamiento, ecología, biogeografía, filogenia, actuando como reguladores poblacionales o formando parte de las complejas redes tróficas (Brooks y McLennan, 1993; Tompkins y Begon, 1999; Hoberg y Klassen, 2002; Moore, 2002; Lafferty *et al.*, 2008; Johnson *et al.*, 2010; Lafferty, 2013; Thieltges *et al.*, 2013). Además, ha aumentado el interés por su estudio ya que hay trabajos que demuestran su importancia en la investigación de los ecosistemas, tanto terrestres como marinos, al formar parte de ellos como agentes que ayudan a mantener su equilibrio, integridad y estabilidad (Hudson *et al.*, 2006; Lafferty, 2013; de Azevedo y Abdallah, 2016).

Se sabe que hay más especies de vida parásita que de vida libre en la Tierra (Windsor, 1998), pero no hay una cifra exacta del número de especies parásitas que existen en el mundo. Algunos autores han estimado la existencia de más de 300.000 especies, solo de helmintos, que parasitan a hospedadores vertebrados (aves, mamíferos, reptiles, etc.) (Dobson *et al.*, 2008). Lo que sí debe quedar claro es que los parásitos son parte importante de la biodiversidad, tanto marina como terrestre, y que quedan aún muchas especies por descubrir (Dobson *et al.*, 2008; Lafferty, 2013).

Para facilitar los estudios relacionados con los parásitos se les ha clasificado, generalmente, en dos grandes grupos: *microparásitos* (que incluiría virus, bacterias, protistas y mixozoos) y los *macroparásitos* (helmintos [monogéneos, trematodos, cestodos, nematodos, etc.] y artrópodos, que, en general, denominaremos *metazoos* de aquí en adelante) (Viney y Cable, 2011). Además, podemos diferenciarlos entre *ectoparásitos*, o parásitos localizados en el exterior del hospedador (localizados en la piel o las branquias) y a los *endoparásitos*, de localización interna (en diferentes órganos).

Como característica principal de estos dos grupos recalcar que los primeros, los ectoparásitos, suelen ser monóxenos, presentando ciclos de vida directos en los que suele actuar un único hospedador. En este grupo los individuos adultos se reproducirán y los estadios larvarios o/e inmaduros podrán infectar directamente a sus hospedadores. Como ejemplo de ectoparásitos tenemos a protistas, monogéneos, copépodos, isópodos e hirudíneos entre otros.

El otro grupo, los endoparásitos, suelen ser heteroxenos (con excepciones) con ciclos de vida indirectos, con diferentes hospedadores intermediarios para completarlo. Aquí, el espécimen adulto se reproducirá y las larvas o estadios juveniles parasitarán a esos hospedadores intermediarios, uno o varios, donde irán desarrollándose y madurando hasta alcanzar de nuevo la fase adulta en el hospedador definitivo. Generalmente, los trematodos, cestodos, nematodos y acantocéfalos son ejemplos de endoparásitos.

Estos últimos, los parásitos con ciclos de vida indirectos, más complejos, que necesitan a varios hospedadores, son los que mejor indican la estabilidad en la estructura de los ecosistemas, reflejando las relaciones tróficas entre todos los hospedadores implicados en su ciclo de vida, y que, por tanto, deben coexistir para que el parásito persista y complete su ciclo biológico (Lafferty, 2013; de Azevedo y Abdallah, 2016).

En los ecosistemas marinos, tema principal del presente capítulo, también hay estudios que tienen en cuenta tanto la diversidad parasitaria, como la presencia de parásitos para el análisis y comprensión de las comunidades marinas (Lafferty, 2013; Thieltges *et al.*, 2013). Pero, a pesar del aumento de estudios parasitológicos, el grado de conocimiento real que existe sobre la diversidad de especies parásitas en peces marinos es relativamente bajo (Lloret *et al.*, 2012; Lafferty, 2013). Es importante destacar, y tener en cuenta, que todas las especies marinas presentan parásitos con los que conviven en un cierto grado de equilibrio.

En cuanto a los peces marinos, la mayor parte de estudios relativos a su parasitofauna están centrados en especies pesqueras de interés comercial (por ejemplo, Arthur y Arai, 1980 –arenque–; Mackenzie y Longshaw, 1995 –merluza argentina–; Barker *et al.*, 1996 –anguila–; Bakke y Harris, 1998 –salmón del Atlántico– o Perdiguero-Alonso *et al.*, 2008 –bacalao del Atlántico norte–). Asimismo, a medida que han disminuido los recursos pesqueros, han ido apareciendo un número creciente de estudios parasitológicos de especies de producción acuícola (Sitjà-Bobadilla *et al.*, 2005; Álvarez-Pellitero *et al.*, 2006; Hutson *et al.*, 2007; Villar-Torres *et al.*, 2018). Sin embargo, entre las especies de peces sin valor comercial los estudios sobre su parasitofauna son escasos, tanto en peces de agua dulce (Bake *et al.*, 2004; Tang y Zao, 2010; Chanda *et al.*, 2011) como en peces marinos (Hernández-Orts *et al.*, 2010; Repullés-Albelda *et al.*, 2013; Ahuir-Baraja *et al.*, 2015 a y b, Isbert *et al.*, 2018). Este nivel desigual de conocimiento corrobora la limitada noción de la diversidad parasitaria marina. Además, y dado que el número de especies de interés comercial es proporcionalmente ínfimo comparado con el número de especies de peces existentes, el grado de conocimiento real que existe sobre la diversidad parásita en peces marinos es relativamente escaso (Lloret *et al.*, 2012; Lafferty, 2013).

En el presente capítulo vamos a comentar casos en los que la investigación de los parásitos nos va a revelar información no solo sobre sus hospedadores, sino sobre las características del ambiente en que se incluyen, nos va a ayudar a conocer y prevenir futuros problemas parasitarios y a entender un poco más algunas de las enfermedades que pueden provocarnos.

## 2. Parásitos en estudios de trazabilidad y diferenciación de *stocks* en pesquerías

Antes de empezar con este apartado, vamos a definir brevemente los dos conceptos que vamos a manejar: trazabilidad y *stock*.

Según el *Codex Alimentarius* la trazabilidad es «la capacidad para seguir el movimiento de un alimento a través de etapa(s) especificada(s) de la producción, transformación y distribución». Y, según el Real Decreto 1380/2002, de 20 de diciembre, de «Identificación de los productos de la pesca, de la acuicultura y del marisqueo congelados y ultracongelados (BOE, 2003)», es «la información contenida en el etiquetado de estos productos con información precisa de la especie y de su origen, no solo en cuanto a zona de captura, sino también en cuanto al método de producción, la captura o el cultivo marino, así como de sus características esenciales» ([www.aecosan.msssi.gob.es](http://www.aecosan.msssi.gob.es)).

Actualmente, de acuerdo a la Comisión General de Pesca del Mediterráneo (GFCM, de sus siglas en inglés *General Fisheries Commission for the Mediterranean*) la cuenca mediterránea se ha dividido en 27 subáreas geográficas según su información sobre capturas y producción con fines estadísticos (GFCM 2012, Mattiucci *et al.* 2015).

En cuanto al concepto de *stock* en pesquerías hace referencia a un grupo de peces de la misma especie con unas características genéticas y biológicas por las que pueden diferenciarse de otro(s) grupo(s) (Waldman 2005, Mattiucci *et al.* 2015). Este concepto surgió para estudiar poblaciones de peces sobreexplotadas, determinar en qué áreas y subáreas de pesca hay mayor riesgo de sobrepesca para algunas de las especies de interés comercial, y ayudar a gestionar adecuadamente los recursos pesqueros (Mattiucci *et al.* 2015, Pita *et al.* 2016).

Para obtener la información sobre el origen de las capturas (trazabilidad) e información de los *stocks* pesqueros se habían utilizado diferentes parámetros y medidas como la morfometría de los peces, el uso de sus otolitos, sus datos genéticos (microsatélites de ADN), marcadores artificiales, etc. (O'reilly y Wright 1995, Waldman 1999). Pero, el uso de los parásitos, sobre todo el estudio de las comunidades parásitas presentes en los peces, puede aportar datos sobre el origen, migraciones, alimentación e historia vital de dichas especies (Thomas *et al.* 1996). A modo de explicación básica, el uso de los parásitos como indicadores de trazabilidad se basa en que los peces se infectarán por los parásitos cuando se encuentren en un área donde la transmisión de esos parásitos sea posible, encontrándose cohabitando sus hospedadores intermediarios y definitivos (MacKenzie *et al.* 2013, Marengo *et al.* 2017).

Existen muchos trabajos en los que la parasitofauna de diferentes especies pesqueras se ha utilizado en la identificación de poblaciones y subpoblaciones de peces comerciales (MacKenzie 2004, Timi 2007, Lester y MacKenzie 2009, MacKenzie y Abaunza 2014, Mattiucci *et al.* 2015, Marengo *et al.* 2017). Pero, hay que tener en cuenta que no todos los parásitos pueden ser utilizados con esta finalidad. Mattiucci y col. (2015) matizan que el uso de los parásitos como 'marcadores biológicos' en tareas de identificación de *stocks* de peces está recomendado



cuando, tanto el ciclo de vida del parásito como su distribución geográfica, son conocidos y, además, sabemos que el tiempo de permanencia del parásito en su hospedador es tan largo como la esperanza de vida de este. Asimismo, estos autores destacan también que el parásito elegido como marcador no debería tener un efecto patogénico sobre su hospedador.

Son precisamente estos autores, Matiucci *et al.* (2015), quienes han desarrollado estudios utilizando un parásito que es muy popular para el consumidor, y del que se ilustrará con más profundidad más adelante, como es el nematodo *Anisakis* spp. como marcador biológico en el estudio de *stocks* de tres especies de peces muy consumidas: la merluza (*Merluccius merluccius*), el jurel (*Trachurus trachurus*) y el pez espada (*Xiphias gladius*) del mar Mediterráneo comparados con *stocks* del océano Atlántico.

En estos trabajos se comprobó que, la presencia y/o ausencia de diferentes especies del género *Anisakis* en unos *stocks* y en otros de merluza, jurel y pez espada, permitía separar no solo las especies procedentes del Mediterráneo y del Atlántico, sino a los diferentes *stocks* dentro de las subáreas de división del mar Mediterráneo, facilitando así el conocimiento del origen de captura de estas especies, su trazabilidad.

Estudios recientes combinan el uso de los parásitos como marcadores biológicos con otros marcadores anteriormente comentados (otolitos y microsatélites de ADN) en otras especies de interés comercial. Este es el caso de Marengo *et al.* (2017) que utilizaron dicha combinación en el estudio del *stock* pesquero del dentón (*Dentex dentex*) en cuatro áreas de la isla de Córcega (mar Mediterráneo). La combinación de esos marcadores resultó favorable en la discriminación de las cuatro zonas estudiadas y ha aportado información relevante para la gestión de la pesquería del dentón en esa zona.

Es, por tanto, importante incluir a los parásitos como notables indicadores de la trazabilidad y los *stocks* pesqueros, usados separadamente o combinados, en estudios multidisciplinares, con otros marcadores útiles para este fin.

### 3. Sinergia en los estudios ictioparasitológicos en acuicultura y acuarios

La acuicultura, definida por la FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y la Comisión Europea como la producción de organismos acuáticos en la que interviene el ser humano en una o varias fases de esta (siembra, alimentación, reproducción, etc.), produce actualmente el 50 % del pescado destinado a alimentación en todo el mundo (FAO). Podemos, por tanto, considerar a la acuicultura como una actividad económica basada en la producción de organismos acuáticos, incluidos los peces, que está en continua evolución y crecimiento, y que cada vez utiliza procesos productivos más factibles y tecnificados (Rueda, 2011).

Este continuo perfeccionamiento de la acuicultura tiene como objeto poder suministrar productos acuáticos de elevada calidad e introducir nuevas especies cuya producción sea posible. A pesar de que en la actualidad se cultivan casi 600 especies diferentes de organismos acuícolas en todo el mundo y del aumento en la producción de estas especies (FAO, Informe Apromar Acuicultura, 2018), la acuicultura aún no ha llegado a subsanar la disminución generalizada del volumen de capturas en las pesquerías (Informe Apromar Acuicultura, 2018).

Uno de los objetivos más importantes de la acuicultura se centra en la introducción de nuevas especies (diversificación) que puedan ser producidas para su consumo (Rueda, 2011). Por ejemplo, en España durante los últimos años, se han desarrollado diferentes investigaciones con especies con potencial en acuicultura, pero no exentas de dificultades desde el punto de vista biológico, para su producción. Podemos destacar los estudios realizados con merluza, rape (*Lophius piscatorius*), el pez de San Pedro (*Zeus faber*), la seriola (*Seriola dumerili*), el dentón, el pargo (*Pagrus pagrus*) o el sargo picudo (*Diplodus puntazzo*) (Peleteiro, 2017).

Pero uno de los factores que puede complicar, incluso imposibilitar, la producción de estas especies en acuicultura son los posibles patógenos que pueden aparecer en las diferentes fases de la producción (Fernández-Álvarez *et al.*, 2016; Plumb, 2018; Kim *et al.*, 2019). Y, en cuanto a los parásitos, sobre todo los ectoparásitos con ciclos de vida directos, existen diversos trabajos en los que se constata como afectan sus infestaciones en la producción de diferentes especies de peces (Álvarez-Pellitero, 2004; Sitjá-Bobadilla *et al.*, 2006 y 2009; Noga, 2010; Repullés-Albelda *et al.*, 2011 y 2012; Ogawa, 2015).

Estos problemas causados por diferentes parásitos y patógenos en las especies de producción acuícola los encontramos también en especies pertenecientes al ámbito de la acuariología (Cardoso *et al.*, 2017 y 2019; Marudhupandi *et al.*, 2017; Vaughan, 2017; Trujillo-González *et al.*, 2018; Rukmana *et al.*, 2019).

Cabe destacar el caso particular de *Neobenedenia melleni*, monogeneo localizado en la piel de los peces (ectoparásito con ciclo de vida directo). Esta especie fue descubierta en un acuario, el *New York Aquarium*, en el año 1927 (Whittington, 2004) y, actualmente, es uno de los patógenos con mayor importancia económica en los peces marinos que se producen en todo el mundo (Shinn *et al.*, 2015). Este parásito comprende a un complejo de especies dentro del género *Neobenedenia* y ha sido citado en más de 100 especies de peces (Whittington y Chisholm, 2008) provocado mortalidades de hasta el 100 % en producción de especies del género *Seriola* en Japón y del 50 % en producción del falso halibut japonés (*Paralichthys olivaceus*) en el mismo país (Ogawa *et al.*, 1995). Estas mortalidades tan elevadas se traducen en pérdidas de miles de millones de euros/dólares en la acuicultura mundial (Shinn *et al.*, 2015).

El caso de *N. melleni* no es el único como ejemplo de patógeno descubierto en acuarios y que después ha sido detectado en especies de producción acuícola.

La micosis tuberculosa en abalón (*Halotis midae*), provocada por el ‘pseudohongo’ *Halio-ticida noduliformans*, también fue descrita primeramente en acuarios y después fue detectada afectando a la industria del abalón en Sudáfrica (Macey *et al.*, 2011), por lo que los autores

del estudio donaron toda la información obtenida en su experiencia en acuarios a las autoridades pertinentes para ayudar en la investigación sobre la patología y epidemiología de este patógeno (Vaughan 2017).

Considerando que en los acuarios públicos podemos encontrar una gran diversidad de especies, mantenidas en unas condiciones muy similares a las que encontramos en producción acuícola, los diferentes patógenos que podemos detectar afectando a los peces de acuario son los que afectan o afectarán a las especies de acuicultura. Además, las posibles especies que son el futuro objetivo de la diversificación en la producción acuícola se encuentran actualmente mantenidas en muchos de los acuarios públicos de todo el mundo (Vaughan, 2017). Es, por tanto, de vital importancia, que exista una estrecha colaboración entre los acuarios públicos, los centros o empresas destinados a la acuicultura y los centros de investigación para poder compartir la experiencia adquirida en el mantenimiento de estas especies para conocer y atajar de la manera más efectiva posible los problemas, o futuros problemas, que los patógenos acuáticos causan, o puedan causar, a las especies que van a ser destinadas a la producción acuícola.

#### 4. Parásitos como indicadores ambientales

Los estudios multidisciplinarios centrados en la contaminación y en el estrés ambiental de los ecosistemas marinos están incluyendo, cada vez con más frecuencia, el uso de los parásitos como indicadores biológicos naturales (MacKenzie, 2002; Williams y MacKenzie, 2003; Marcogliese, 2005; Pérez del-Olmo *et al.*, 2007; Vidal-Martínez *et al.*, 2010). De hecho, se ha creado una nueva disciplina dentro de la parasitología que se conoce como 'Parasitología ambiental' cuya función es estudiar la relación entre los parásitos y la contaminación ambiental (Sures y Nachev, 2015; Sures *et al.*, 2017). Esta disciplina surge debido al rol que los parásitos pueden tener como indicadores de la calidad ambiental ya que, generalmente, los endoparásitos tienden a verse disminuidos ante los cambios ambientales mientras que, los ectoparásitos, suelen verse incrementados cuando aumentan los niveles de contaminación (MacKenzie, 1999).

Además, cabe destacar la demostrada capacidad de los parásitos de acumular ciertos contaminantes, incluidos los metales pesados, y que ha generado un incremento en los estudios centrados en esta cualidad en parásitos de ambientes acuáticos (Sures, 2003; Nachev y Sures, 2016; Sures *et al.*, 2017).

Estudios relacionados con esta capacidad acumulativa han demostrado que, algunos taxones (endoparásitos como digeneos, cestodos, acantocéfalos y nematodos), pueden ser considerados como centinelas de la contaminación por metales pesados (Sures *et al.*, 2017). Son los cestodos y los acantocéfalos los que más capacidad de acumulación tienen, incluyendo la acumulación de elementos muy tóxicos, como el cadmio o el plomo (Sures *et al.*, 2017). Esta capacidad podría deberse a que estos dos taxones comentados anteriormente, y que se localizan principalmente en el sistema digestivo de sus hospedadores, carecen de tracto gastro-

intestinal y toman sus nutrientes a través de su tegumento, absorbiendo más fácilmente este tipo de elementos (Sures *et al.*, 2107).

Cabe destacar también diferentes estudios realizados, no solo en el medio acuático, que demuestran que, comparando hospedadores parasitados por cestodos y acantocéfalos con otros no parasitados, los primeros presentaban menores concentraciones de metales pesados en sus tejidos (Sures *et al.*, 2107). Por este hecho, a los parásitos se les considera ‘sumideros de contaminantes’ (del inglés *pollutant sinks*). Aunque son necesarios muchos más estudios que nos ayuden a entender el porqué de esta cualidad, es interesante subrayar la actuación beneficiosa de los parásitos sobre sus hospedadores, desde esta perspectiva, cambiando la percepción general tan negativa que se tiene sobre ellos (Sures, 2015).

Pero, no solo los endoparásitos pueden ser indicadores del estado de los ecosistemas. Como se ha comentado anteriormente, los ectoparásitos también se ven afectados por los contaminantes (MacKenzie, 1999). Al presentar ciclos de vida directos están en continuo contacto con el ambiente que les rodea y, gracias a la evolución, han desarrollado una gran resistencia y flexibilidad a los cambios ambientales. Por tanto, muchos ectoparásitos se muestran normalmente más tolerantes que sus hospedadores a dichas alteraciones (MacKenzie, 1999).

Sin embargo, aún queda mucho trabajo por hacer en el ámbito de la Parasitología ambiental ya que hace falta, por ejemplo, más estudios que analicen la sensibilidad, a diferentes contaminantes, químicos (incluidos los pesticidas) y metales pesados, de los estadios larvarios de los parásitos de ambientes acuáticos, sobre todo, marinos (Sures *et al.*, 2017).

## 5. Parásitos y calentamiento global (cambio climático)

Al igual que los parásitos de los peces pueden verse afectados por los niveles de contaminación y metales pesados presentes en el agua, estos también pueden verse afectados por el cambio climático global que está alterando tanto la temperatura y nivel del agua como a la circulación, acidificación y a la salinidad de nuestros océanos y mares (Palm, 2011; MacLeod, 2017). Además, el aumento de la temperatura altera tanto el rango estacional y biogeográfico de los hospedadores (las diferentes especies marinas) como el de los parásitos (Palm, 2011). Este calentamiento global afecta a la interacción entre el hospedador y sus patógenos de varias maneras. Por ejemplo, se sabe que las tasas de desarrollo, transmisión y número de generaciones de los patógenos se ven incrementados, aumenta la tasa de supervivencia de los patógenos en invierno (inviernos más suaves) y el sistema inmune del hospedador es más susceptible debido al estrés térmico (Harvell *et al.*, 2002). De hecho, para la mayoría de los ectoparásitos y endoparásitos, sus ciclos de vida están muy ligados a la temperatura del agua, presentando ciclos más cortos cuanto más elevada es la temperatura. Por ello, la transmisión de muchas especies de parásitos podría verse favorecida en un escenario de calentamiento global (Adlar *et al.*, 2015; Schade *et al.*, 2016).

Pero, las alteraciones debidas al cambio climático no siempre implican un aumento de la carga parasitaria. Recientes estudios centrados en el efecto de la acidificación de las aguas marinas han demostrado que dicha acidificación está ligada a una disminución en la supervivencia de los estadios larvarios de trematodos que encontramos en ecosistemas marinos (MacLeod y Poulin, 2015; Guilloteau *et al.*, 2016). Esto podría parecer algo positivo: menor supervivencia de las larvas implicará una menor tasa de infección en sus hospedadores definitivos. Pero, como hemos comentado anteriormente, los parásitos actúan como reguladores de las poblaciones de sus hospedadores objetivo o bien pueden alterar su comportamiento. Como reguladores de las poblaciones, muchos parásitos alteran la tasa de fecundidad de sus hospedadores actuando como castradores (Lafferty y Kuris, 2009; Gilardoni *et al.*, 2012; Labaude *et al.*, 2015). Si estos parásitos ven disminuida su prevalencia, el hospedador incrementa su tasa reproductiva, lo que consecuentemente, puede alterar el papel que ese hospedador puede tener como presa, competidor o depredador de otras especies presentes en el ecosistema (MacLeod, 2017).

En cuanto a las posibles alteraciones del comportamiento de sus hospedadores, muchas especies parásitas pueden favorecer que su hospedador sea presa del siguiente hospedador (normalmente en un nivel superior de la cadena trófica) necesario para completar su ciclo (Thomas *et al.*, 1998). Este hecho sugiere, por tanto, que al disminuir las tasas de parasitación, habrá hospedadores a los que será más difícil preda y aumentarán su supervivencia en detrimento de los siguientes hospedadores, a quién les costará más alimentarse (Sato *et al.*, 2011; Labaude *et al.*, 2015).

Es, por tanto, muy importante, tener en cuenta la correlación existente entre los parásitos de los peces y el cambio climático. Su capacidad para indicar alteraciones en el medio ambiente puede ser una buena herramienta biológica a ser empleada como indicadora del calentamiento global (Palm, 2011).

## 6. Parásitos y especies invasoras/introducidas

La revolución de la globalización que estamos viviendo en todo el mundo influye también en la tasa en que especies no nativas están siendo introducidas en áreas no incluidas en su hábitat natural, de forma intencionada o no (Torchin *et al.*, 2002; Blakeslee *et al.*, 2013).

Estas especies introducidas, tanto en hábitats terrestres como marinos, suelen tener elevadas densidades poblacionales, mostrar un mayor crecimiento y una mayor longevidad que las especies nativas (Torchin *et al.*, 2002; Blakeslee *et al.*, 2013). Una de las causas que puede explicar este hecho, entre otras, es que las especies introducidas en un hábitat no natural para ellas tienen menos enemigos naturales: menos depredadores y menos parásitos (Lafferty y Kuris, 1996; Torchin *et al.*, 2001).

En cuanto a los parásitos, en los ambientes marinos, si llegan a establecerse en las nuevas áreas, gracias a sus hospedadores, estos pueden llegar a infectar a las especies nativas, ejerciendo un impacto negativo sobre ellas (Torchin *et al.*, 2002; Blakeslee *et al.*, 2013).

Para ilustrar este hecho, tenemos el ejemplo de la especie parásita de nematodo *Anguillicoloides crassus* (Kuwahara, Niimi y Itagaki, 1974) Moravec y Taraschewski (1988). Este parásito está localizado en vejiga natatoria de las anguilas, especie catádroma (especies que viven en agua dulce pero migran al mar para reproducirse) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). *Anguillicoloides crassus* es un parásito nativo de Asia oriental y cuyo hospedador originario es la anguila japonesa (*Anguilla japonica*) (Taraschewski *et al.*, 1987). Pero, a principios de los años 80, este parásito fue introducido accidentalmente en Europa mediante la importación de anguilas japonesas infectadas a Alemania (Køie, 1991), donde se registró por primera vez en el año 82 (Neumann, 1985), y fue expandiéndose a lo largo de toda Europa donde ya es ubicuo (ICES, 2010; Frisch *et al.*, 2016). Para su hospedador nativo, este parásito no es patogénico. Pero, para la anguila europea, y también para la anguila americana, *A. rostrata*, a quién también ha llegado a infectar, este parásito presenta una elevada patogenicidad, dañando significativamente la vejiga natatoria de las anguilas (Barse y Secor, 1999; Torchin *et al.*, 2002; Gérard *et al.*, 2013; Hein *et al.*, 2014; Frisch *et al.*, 2016). El daño producido por este nematodo invasor en las vejigas natatorias de las anguilas puede estar afectando a su capacidad de natación y, por tanto, a la capacidad de migración a sus áreas marinas de reproducción (CABI, *Invasive Species Compendium*).

Se han realizado experimentos con anguilas mantenidas en cautividad que han demostrado que las anguilas parasitadas por *A. crassus* tienen una mayor mortalidad (Didžiulis, 2006). Por tanto, el efecto que el parásito ejerce sobre sus hospedadores no nativos podría tener un grave impacto en el futuro de las poblaciones de anguila (Didžiulis, 2006). Es importante destacar que la anguila europea es una especie críticamente amenazada (Jacoby y Gollock, 2014).

Pero, a pesar de la importancia que los parásitos de especies no nativas pueden tener sobre las especies autóctonas, hoy en día existe muy poca información sobre estas especies parásitas de peces marinos invasores o introducidos (Vignon y Sasal, 2010). Estudiar y analizar estas invasiones parásitas es crucial para entenderlas y para prevenir futuros eventos de infección de especies nativas por parásitos que podrían ser patógenos para el ser humano, o provocar efectos negativos en especies de hospedadores de importancia económica (Vignon y Sasal, 2010).

## 7. Parásitos y seguridad alimentaria: anisakiosis

La anisakiosis es una enfermedad zoonótica (transmitida de animales a personas) producida, principalmente, por larvas del nematodo *Anisakis* spp. Estas larvas suelen encontrarse en las vísceras de peces marinos, crustáceos y cefalópodos, pero, una vez su hospedador intermediario (o su hospedador paraténico: aquel que no es necesario para completar el ciclo de vida del parásito pero ayuda a su transmisión y dispersión) muere migran, normalmente, a la musculatura, donde son más fácilmente ingeribles por el siguiente hospedador, normalmente el definitivo (Smith, 1984; Abollo *et al.*, 2001; Tantanasi *et al.*, 2012). Nosotros, los seres humanos, actuamos como hospedador accidental para este parásito ya que sus hospedadores

definitivos son los mamíferos marinos (Nagasawa, 1990; Klimpel y Palm, 2011). El modo de infección es a través de la ingesta de larvas de *Anisakis* spp. vivas al alimentarnos de productos de pesca crudos o preparados de forma que el parásito no quede inactivado o destruido (BOE, 2006; Colombo *et al.*, 2016; AECOSAN, 2016). Los síntomas de la enfermedad son provocados por la respuesta inflamatoria producida por las larvas del nematodo al penetrar en la pared del sistema digestivo. Además, también puede provocar alergias, normalmente, inmediatamente después de su ingesta (AESAN, 2007).

La anisakiosis es, por tanto, un problema creciente para la salud pública, sobre todo en países, como el nuestro, en los que se consumen de forma elevada productos de pesca, y en los que están cambiando los hábitos del consumo de estos productos, con el auge del consumo de productos pesqueros crudos (BOE, 2006; AECOSAN, 2016). Para evitar esta enfermedad existen una serie de medidas, recomendaciones y leyes enfocadas en reducir el riesgo de infección y que incluyen, desde las fases captura de los productos pesqueros, hasta las fases en la que dichos productos llegan al consumidor final (estas medidas pueden consultarse en BOE, 2006 (Real Decreto 1420/2006), AECOSAN (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social), EFSA, 2010, entre otras instituciones).

Otro de los motivos por lo que la anisakiosis es un problema en auge es porque su presencia en especies de interés comercial se ha visto acentuada debido a la intervención del ser humano que actúa favoreciendo los procesos de reinfección (González *et al.*, 2018). En pesquerías explotadas o sobreexplotadas; en los grandes barcos pesqueros los peces son eviscerados y, esos restos de vísceras, son devueltos al mar (González *et al.*, 2018). Las larvas de *anisakis* que se encuentran en esas vísceras son viables y reinfectan a muchas especies que aprovechan estos restos como un alimento de fácil obtención (Bozzano y Sardá, 2002). Es por esto que esta contribución antropogénica está favoreciendo que aumente la presencia de *anisakis* spp. en las principales especies pesqueras de interés comercial (González *et al.*, 2018).

## 9. Conclusión

Como hemos visto a lo largo del presente capítulo, los parásitos no son tan malos como los pintan. Pueden ayudarnos a conocer el origen de las capturas pesqueras y a diferenciar entre poblaciones de peces. También es importante su conocimiento en las especies acuícolas que se producen en todo el mundo. Además, son indicadores de las alteraciones medioambientales y del cambio climático global que ya estamos experimentando por nosotros mismos. Y, cuando se les puede atribuir alguna connotación negativa, casi siempre está la mano del ser humano de por medio, como hemos visto en los ejemplos de las especies invasoras o con el problema de la anisakiosis.

Entonces, volviendo al principio del capítulo: ¿son realmente los parásitos una amenaza?

## Referencias bibliográficas

- ABOLLO, E.; GESTAL, C. y PASCUAL, S. (2001): «*Anisakis* infestation in marine fish and cephalopods from Galician waters: an updated perspective»; en *Parasitology Research* (87); pp. 492-499.
- ADLARD, R. D.; MILLER, T. L. y SMIT, N. J. (2015): «The butterfly effect: parasite diversity, environment, and emerging disease in aquatic wildlife»; en *Trends in Parasitology* (31); pp. 160-166.
- AECOSAN. (2016): «Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) en relación a la alergia a *Anisakis*»; en *Revista del Comité Científico* (24); pp. 23-33.
- AESAN. (2007): «Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre medidas para reducir el riesgo asociado a la presencia de *Anisakis*»; en *Revista del Comité Científico* (6); pp. 59-65.
- AHUIR-BARAJA, A. E.; FRAIJA-FERNÁNDEZ, N.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2015a): «Molecular and morphological differentiation of two similar species of Accacoeliidae (Digenea): *Accacladocoelium macrocotyle* and *A. nigroflavum* from sunfish, *Mola mola*»; en *Journal of Parasitology* (101); pp. 231-235.
- AHUIR-BARAJA, A. E.; PADRÓS, F.; PALACIOS-ABELLA, J. F.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2015b): «*Accacoelium contortum* (Trematoda: Accacoeliidae) a trematode living as a monogenean: morphological and pathological implications»; en *Parasites & Vectors* (8); pp. 540.
- ÁLVAREZ-PELLITERO, P. (2004): «Report about fish parasitic diseases»; en ÁLVAREZ-PELLITERO, P.; BASURCO, B.; BERTHE, F. y TORANZO, A. E., dirs.: *Mediterranean Aquaculture Diagnostic Laboratories. CIHEAM-IAMZ. Série B: Etudes et Re-cherches* 49. Options Méditerranéennes; pp. 103-129.
- ÁLVAREZ-PELLITERO, P.; SITJÀ-BOBADILLA, A.; FRANCO-SIERRA, A. y PALENZUELA, O. (2006): «Protozoan parasites of gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., from different culture systems in Spain»; en *Journal of Fish Disease* (18); pp. 105-115.
- ARTHUR, J.R. y ARAI, H. P. (1980): «Studies on the parasite of Pacific herring (*Clupea harengus pallasi* Valenciennes): a preliminary evaluation of parasites as indicators of geographical origin for spawning herring»; en *Canadian Journal of Zoology* (58); pp. 521-527.
- BAKKE, T. A. y HARRIS, P. D. (1998): «Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations»; en *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (55); pp. 247-266.
- BAKE, R.; ČAKIĆ, P. D.; HRISTOVSKI, M.; HRISTOVSKI, N.; KULIŠIĆ, Z. y STOJANOVSKI, S. (2004): «Fauna of monogenean trematodes-parasites of some cyprinid fishes from lake Prespa, Macedonia»; en *Acta Veterinaria* (54); pp. 73-82 [en serbio].



- BARKER, D. E.; MARCOGLIESE, D. J. y CONE, D. K. (1996): «On the distribution and abundance of eel parasites in Nova Scotia: local versus regional patterns»; en *Journal of Parasitology* (82); pp. 697-701.
- BARSE, A. M. y SECOR, D. H. (1999): «An exotic nematode parasite of the American eel»; en *Fisheries* (24); pp. 6-10.
- BLAKESLEE, A. M.; FOWLER, A. E. y KEOGH, C.L. (2013): «Marine invasions and parasite escape: updates and new perspectives»; en LESSER, M., dir.: *Advances in Marine Biology*. Burlington, Academic Press; pp. 87-169.
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (2003): Real Decreto 1380/2002, de 20 de diciembre, de identificación de los productos de la pesca, de la acuicultura y del marisqueo congelados y ultracongelados.
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (2006): Real Decreto 1420/2006, de 1 de diciembre, sobre prevención de la parasitosis por *Anisakis* en productos de la pesca suministrados por establecimientos que sirven comidas a los consumidores finales o a colectividades.
- BOZZANO, A. y SARDÁ, F. (2002): «Fishery discard consumption rate and scavenging activity in the north-western Mediterranean Sea»; en *ICES Journal of Marine Science* (59); pp. 15-28.
- BROOKS, D. R. y MCLENNAN, D. A. (1993): *Parascript. Parasites and the language of evolution*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- CARDOSO, P. H. M.; BALIAN, S. D. C.; MATUSHIMA, E. R.; PÁDUA, S. B. D. y MARTINS, M. L. (2017): «First report of scuticociliatosis caused by *Uronema* sp. in ornamental reef fish imported into Brazil»; en *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* (26); pp. 491-495.
- CARDOSO, P. H. M.; BALIAN, S. D. C.; SOARES, H. S.; TANCREDO, K. R. y MARTINS, M. L. (2019): «*Neobenedenia melleni* (Monogenea: Capsalidae) in ornamental reef fish imported to Brazil»; en *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* (28); pp. 157-160.
- CHANDA, M.; PAUL, M.; MAITY, J.; DASH, G.; GUPTA, S. S. y PATRA, B. C. (2011): «Ornamental fish goldfish, *Carassius auratus* and related parasites in three districts of West Bengal, India»; en *Chronicles of Young Scientists* (2); pp. 51-54.
- COLOMBO, F.; CATTANEO, P.; CASTELLETTI, M. y BERNARDI, C. (2016): «Prevalence and mean intensity of Anisakidae parasite in seafood caught in the Mediterranean sea focusing on fish species at risk of being raw-consumed. A Meta analysis and systematic review»; en *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (56); pp. 1405-1416.
- DE AZEVEDO, R. K. y ABDALLAH, V. D. (2016): «10. Fish Parasites and their Use as Environmental Research Indicators»; en GHELIER-COSTA, C.; LYRA-JORGE, M. C. y MARTINS VERDADE, L., dirs.: *Biodiversity in Agricultural Landscapes of South-eastern Brazil*. Brazil, Sciendo Migration; pp. 163-177.

- DIDŽIULIS, V. (2006): «NOBANIS-Invasive Alien Species Fact Sheet-*Anguillicola crassus*»; en *Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species*. NOBANIS, www.nobanis.org (acceso 01 de mayo de 2019).
- DOBSON, A. P.; LAFFERTY, K. D.; KURIS, A. M.; HECHINGER, R. F. y JETZ, W. (2008): «Homage to Linnaeus: how many parasites? How many hosts?»; en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. (105); pp. 11482-11489.
- EFSA. (2010): «European Food Safety Authority. Scientific Opinion on risk assessment of parasites in fishery products»; en *The EFSA Journal* (8); pp: 1543-1634.
- FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, C.; GIJÓN, D.; ÁLVAREZ, M. y SANTOS, Y. (2016): «First isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies *salmonicida* from diseased sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), cultured in Spain»; en *Aquaculture Reports* (4); pp. 36-41.
- FRISCH, K.; DAVIE, A.; SCHWARZ, T. y TURNBULL, J. F. (2016): «Comparative imaging of European eels (*Anguilla anguilla*) for the evaluation of swimbladder nematode (*Anguillicoloides crassus*) infestation»; en *Journal of Fish Diseases* (39); pp. 635-647.
- GÉRARD, C.; TRANCART, T.; AMILHAT, E.; FALIEUX, E.; VIRAG, L.; FEUNTEUN, E. y ACOU, A. (2013): «Influence of introduced vs. native parasites on the body condition of migrant silver eels»; en *Parasite* (20); pp. 38.
- GENERAL FISHERIES COMMISSION FOR THE MEDITERRANEAN (GFCM) (2012): Scientific Advisory Committee on Stock Assessment.
- GILARDONI, C.; ITUARTE, C. y CREMONTE, F. (2012): «Castrating effects of trematode larvae on the reproductive success of a highly parasitized population of *Crepidatella dilatata* (Caenogastropoda) in Argentina»; en *Marine Biology* (159); pp. 2259-2267.
- GONZÁLEZ, A. F.; GRACIA, J.; MINIÑO, I.; ROMÓN, J.; LARSSON, C.; MAROTO, J.; REGUEIRA, M. y PASCUAL, S. (2018): «Approach to reduce the zoonotic parasite load in fish stocks: When science meets technology»; en *Fisheries Research* (202); pp. 140-148.
- GUILLOTEAU, P.; POULIN, R. y MACLEOD, C. D. (2016): «Impacts of ocean acidification on multiplication and caste organisation of parasitic trematodes in their gastropod host»; en *Marine Biology* (163); pp. 96.
- HARVELL, C. D.; MITCHELL, C. E.; WARD, J. R.; ALTIZER, S.; DOBSON, A. P.; OSTFELD, R. S. y SAMUEL, M. D. (2002): «Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota»; en *Science* (296); pp. 2158-2162.
- HEIN, J. L.; ARNOTT, S. A.; ROUMILLAT, W. A.; ALLEN, D. M. y DE BURON, I. (2014): «Invasive swimbladder parasite *Anguillicoloides crassus*: infection status 15 years after discovery in wild populations of American eel *Anguilla rostrata*»; en *Diseases of Aquatic Organisms* (107); pp. 199-209.

- HERNÁNDEZ-ORTS, J. S.; AHUIR-BARAJA, A. E.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2010): «A new species of *Empruhotrema* (Monogenea: Monocitylidae) from *Pteromylaeus bovinus* (Myliobatidae) from the western Mediterranean»; en *Journal of Parasitology* (96): pp. 1081-1085.
- HOBERG, E. P. y KLASSEN, G.J. (2002): «Revealing the faunal tapestry: co-evolution and historical biogeography of hosts and parasites in marine systems»; en *Parasitology* (124); pp. 3-22.
- HUDSON, P. J.; DOBSON, A. P. y LAFFERTY, K. D. (2006): «Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites?»; en *Trends in Ecology & Evolution* (21); pp. 381-385.
- HUTSON, K. S.; ERNST, I. y WHITTINGTON, I. D. (2007): «Risk assessment for metazoan parasites of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae) in South Australian sea-cage aquaculture»; en *Aquaculture* (271); pp. 85-99.
- ICES. (2010): European eel. *Report of the ICES Advisory Committee*, ICES Advice 2010, Book 9, Section 9.4.9.
- ISBERT, W.; MONTERO, F. E.; PÉREZ-DEL-OLMO, A.; LÓPEZ-SANZ, À.; REÑONES, O. y OREJAS, C. (2018): «Parasite communities of the white seabream *Diplodus sargus sargus* in the marine protected area of Medes Islands, north-west Mediterranean Sea»; en *Journal of Fish Biology* (93); pp. 586-596.
- JACOBY, D. y GOLLOCK, M. (2014): *Anguilla anguilla*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2014*: e.T60344A45833138. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en>. (acceso el 07 de mayo de 2019).
- JOHNSON, P. T. J.; DOBSON, A.; LAFFERTY, K. D.; MARCOGLIESE, D. J.; MEMMOTT, J.; ORLOFSKE, S. A.; POULIN, R. y THIELTGES, D. W. (2010): «When parasites become prey: ecological and epidemiological significance of eating parasites»; en *Trends in Ecology & Evolution* (25); pp. 362-371.
- KIM, K. I.; WON, K. M.; LEE, E. S.; CHO, M.; JUNG, S. H. y KIM, M. S. (2019): «Detection of *Vibrio* and ten *Vibrio* species in cage-cultured fish by multiplex polymerase chain reaction using house-keeping genes»; en *Aquaculture* (506); pp. 417-423.
- KLIMPEL, S. y PALM, H. W. (2011): «Anisakid nematode (Ascaridoidea) life cycles and distribution: increasing zoonotic potential in the time of climate change?»; en MEHLHORN, H., dir.: *Progress in Parasitology*. Berlin, Heidelberg, Springer; pp. 201-222.
- KØIE, M. (1991): «Swimbladder nematodes (*Anguillicola* spp.) and gill monogeneans (*Pseudodactylogyryus* spp.) parasitic on the European eel (*Anguilla anguilla*)»; en *ICES Journal of Marine Science* (47); pp. 391-398.
- LABAUDE, S.; RIGAUD, T. y CÉZILLY, F. (2015): «Host manipulation in the face of environmental changes: Ecological consequences»; en *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* (4), pp. 442-451.

- LAFFERTY, K. D.; ALLESINA, S.; ARIM, M.; BRIGGS, C. J.; DELEO, G.; DOBSON, A. P.; DUNNE, J. A.; JOHNSON, P. T. J.; KURIS, A. M.; MARCOGLIESE, D. J.; MARTÍNEZ, N. D.; MEMMOTT, J.; MARQUET, P. A.; MCLAUGHLIN, J. P.; MORDECAI, E. A.; PASCUAL, M.; POULIN, R. y THIELTGES, D. W. (2008): «Parasites in food webs: the ultimate missing links»; en *Ecology Letters* (11); pp. 533-546.
- LAFFERTY, K. D. (2013): «Parasites in marine food webs»; en *Bulletin of Marine Science* (89); pp. 123-134.
- LAFFERTY, K. D. y KURIS, A. M. (1996): «Biological control of marine pests»; en *Ecology* (77); pp. 1989-2000.
- LAFFERTY, K. D. y KURIS, A. M. (2009): «Parasitic castration: the evolution and ecology of body snatchers»; en *Trends in Parasitology* (25); pp. 564-572.
- LESTER, R. J. G. y MACKENZIE, K. (2009): «The use and abuse of parasites as stock markers for fish»; en *Fisheries Research* (97); pp. 1-2.
- LLORET, J.; FALIEX, E.; SHULMAN, G. E.; RAGA, J. A.; SASAL, P.; MUÑOZ, M.; CASADEVALL, M.; AHUIR-BARAJA, A. E.; MONTERO, F. E.; REPULLÉS-ALBELDA, A.; CARDINALE, M.; RÄTZ, H. J.; VILA, S. y FERRER, D. (2012): «Fish health and fisheries, implications for stock assessment and management: the Mediterranean example»; en *Reviews in Fisheries Science* (20); pp. 165-180.
- MACEY, B. M.; CHRISTISON, K. W. y MOUTON, A. (2011): «*Haliotricida noduliformans* isolated from cultured abalone (*Haliotis midae*) in South Africa»; en *Aquaculture* (315); pp. 187-195.
- MACKENZIE, K. (1999): «Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system»; en *Marine Pollution Bulletin* (38); pp. 955-959.
- MACKENZIE, K. (2002): «Parasites as biological tags in population studies of marine organisms: an update»; en *Parasitology* (124); pp. 153-163.
- MACKENZIE, K. (2004): «Parasites as biological tags for marine fish populations»; en *Biologist* (51); pp. 86-90.
- MACKENZIE, K. y ABAUNZA, P. (2014): «Parasites as biological tags»; en CADRIN, S.X., KERR, L.A., y MARIANI S., dirs.: *Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science 2<sup>nd</sup> edn.* New York, Elsevier, Academic Press; pp. 185-203.
- MACKENZIE, K. y LONGSHAW, M. (1995): «Parasites of the hakes *Merluccius australis* and *M. hubbsi* in the waters around the Falkland Islands, southern Chile, and Argentina, with an assessment of their potential value as biological tags»; en *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (52); pp. 213-224.

- MACKENZIE, K.; BRICKLE, P., HEMMINGSEN, W. y GEORGE-NASCIMENTO, M. (2013): «Parasites of hoki, *Macruronus magellanicus*, in the Southwest Atlantic and Southeast Pacific Oceans, with an assessment of their potential value as biological tags»; en *Fisheries Research* (145); pp. 1-5.
- MACLEOD, C. D. (2017): «Parasitic infection: a missing piece of the ocean acidification puzzle»; en *ICES, Journal of Marine Science* (74); pp. 929-933.
- MACLEOD, C. D. y POULIN, R. (2015). «Differential tolerances to ocean acidification by parasites that share the same host»; en *International Journal for Parasitology* (45); pp. 485-493.
- MARCOGLIESE, D. J. (2005): «Parasites of the superorganism: are they indicators of ecosystem health?»; en *International Journal for Parasitology* (35); pp. 705-716.
- MARENCO, M.; BAUDOUIN, M.; VIRET, A.; LAPORTE, M.; BERREBI, P.; VIGNON, M.; MARCHAND, B. y DURIEUX, E. D. H. (2017): «Combining microsatellite, otolith shape and parasites community analyses as a holistic approach to assess population structure of *Dentex dentex*»; en *Journal of Sea Research* (128); pp. 1-14.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, A. R. y CORDERO DEL CAMPILLO, M. (2002): «El parasitismo y otras asociaciones biológicas. Parásitos y hospedadores»; en CORDERO DEL CAMPILLO, M.; VÁZQUEZ, F. A.; FERNÁNDEZ, A. R.; ACEDO, M. C.; RODRÍGUEZ, S. H.; COZAR, I. N.; BAÑOS, P. D.; ROMERO, H. Q. y VARELA, M. C., dirs.: *Parasitología Veterinaria*. España, Editorial McGRAW-HILL. Interamericana; pp. 22-38.
- MARUDHUPANDI, T.; KUMAR, T. T. A.; PRAKASH, S.; BALAMURUGAN, J. y DHAYANITHI, N. B. (2017): «*Vibrio parahaemolyticus* a causative bacterium for tail rot disease in ornamental fish, *Amphiprion sebae*»; en *Aquaculture Reports* (8); pp. 39-44.
- MATTIUCCI, S.; CIMMARUTA, R.; CIPRIANI, P.; ABAUNZA, P.; BELLISARIO, B. y NASCETTI, G. (2015): «Integrating *Anisakis* spp. parasites data and host genetic structure in the frame of a holistic approach for stock identification of selected Mediterranean Sea fish species»; en *Parasitology* (142); pp. 90-108.
- MOORE, J. (2002): *Parasites and the behaviour of animals*. Oxford, Oxford University Press.
- NAGASAWA, K. (1990): «The life cycle of *Anisakis simplex*: a review»; en ISHIKURA, H. y KIKUCHI, K., dirs.: *Intestinal Anisakiasis in Japan. Infected Fish, Sero-Immunological Diagnosis, and Prevention*. Tokyo, Springer; pp. 31-40.
- NEUMANN, W. (1985): «The swim bladder parasite *Anguillicola* in eels. (Schwimmblassenparasit anguillicola bei aalen)»; en *Fischer und Teichwirt* (11); pp. 322.
- NOGA, E. J. (2010): *Fish Diseases: Diagnosis and Treatment*. Wiley-Blackwell, Iowa.
- OGAWA, K. (2015): «Diseases of cultured marine fishes caused by Platyhelminthes (Monogenea, Digenea, Cestoda)»; en *Parasitology* (142); pp. 178-195.

- OGAWA, K.; BONDAD-REANTASO, M. G.; FUKUDOME, M. y WAKABAYASHI, H. (1995): «*Neobenedenia girellae* (Hargis, 1955) Yamaguti, 1963 (Monogenea: Capsalidae) from cultured marine fishes of Japan»; en *Journal of Parasitology* (81); pp. 223-227.
- O'REILLY, P. y WRIGHT, J. M. (1995): «The evolving technology of DNA fingerprinting and its application to fisheries and aquaculture»; en *Journal of Fish Biology* (47); pp. 29-55.
- PALM, H. W. (2011): «Fish parasites as biological indicators in a changing world: Can we monitor environmental impact and climate change?»; en MEHLHORN, H., dir.: *Progress in Parasitology*. Berlin, Heidelberg, Springer; pp. 223-250.
- PALM, H. W. y KLIMPEL, S. (2007): «Evolution of parasitic life in the ocean»; en *Trends in Parasitology* (23); pp. 10-12.
- PELETEIRO, J. B. (2017): *Las nuevas especies en la acuicultura marina española*. Instituto Español de Oceanografía Centro Oceanográfico de Vigo, España.
- PERDIGUERO-ALONSO, D.; MONTERO, F. E.; RAGA, J. A. y KOSTADINOVA, A. (2008): «Composition and structure of the parasite faunas of cod, *Gadus morhua* L. (Teleostei: Gadidae), in the North East Atlantic»; en *Parasites & Vectors* (1); pp. 1-23.
- PÉREZ-DEL OLMO, A.; RAGA, J. A.; KOSTADINOVA, A. y FERNÁNDEZ, M. (2007): «Parasite communities in *Boops boops* (L.) (Sparidae) after the Prestige oil-spill: Detectable alterations»; en *Marine Pollution Bulletin* (54); pp. 266-276.
- PÉREZ-TRIS, J. (2009): «La parasitología ecológica en la era de la genética molecular»; en *Revista Ecosistemas* (18); pp. 52-59.
- PITA, A., LEAL, A.; SANTAFÉ-MUÑOZ, A.; PIÑEIRO, C. y PRESA, P. (2016): «Genetic inference of demographic connectivity in the Atlantic European hake metapopulation (*Merluccius merluccius*) over a spatiotemporal framework»; en *Fisheries Research* (179); pp. 291-301.
- PLUMB, J. A. (2018): *Health maintenance of cultured fishes: principal microbial diseases*. CRC Press.
- POULIN, R. y MORAND, S. (2000): «The diversity of parasites»; en *The Quarterly Review of Biology* (75); pp. 277-293.
- REPULLÉS-ALBELDA, A.; HOLZER, A. S.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2012): «Oncomiracidial development, survival and swimming behaviour of the monogenean *Sparicotyle chrysophrii* (Van Beneden and Hesse, 1863)»; en *Aquaculture* (338); pp. 47-55.
- REPULLÉS-ALBELDA, A.; KOSTADINOVA, A.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2013): «Seasonal population dynamics of *Zeuxapta seriolae* (Monogenea: Heteraxinidae) parasitising *Seriola dumerili* (Carangidae) in the Western Mediterranean»; en *Veterinary Parasitology* (193); pp. 163-171.

- REPULLÉS-ALBELDA, A.; RAGA, J. A. y MONTERO, F. E. (2011): «Post-larval development of the microcotylid monogenean *Sparicotyle chrysophrii* (Van Beneden and Hesse, 1863): Comparison with species of Microcotylidae and Heteraxinidae»; en *Parasitology International* (60); pp. 512-520.
- RUEDA, F. M. (2011). «Breve historia de una gran desconocida: La acuicultura»; en *Eubacteria* (26); pp. 3.
- RUKMANA, N. R.; MAHASRI, G.; HIDAYAH, S. N.; ULKHAQ, M. F. y KENCONOJATI, H. (2019): «Bacterial Identification from Marine Ornamental Fish in Fish Quarantine, Quality Control and Fishery Products Safety Class I Denpasar, Bali»; en *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing; pp. 012107.
- SATO, T.; WATANABE, K.; KANAIWA, M.; NIIZUMA, Y.; HARADA, Y. y LAFFERTY, K. D. (2011): «Nematomorph parasites drive energy flow through a riparian ecosystem»; en *Ecology* (92); pp. 201-207.
- SCHADE, F. M.; RAUPACH, M. J. y WEGNER, K. M. (2016): «Seasonal variation in parasite infection patterns of marine fish species from the Northern Wadden Sea in relation to interannual temperature fluctuations»; en *Journal of Sea Research* (113); pp. 73-84.
- SHINN, A. P.; PRATOOMYOT, J.; BRON, J. E.; PALADINI, G.; BROOKER, E. E. y BROOKER, A. J. (2015): «Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture»; en *Parasitology* (142); pp. 196-270.
- SITJÀ-BOBADILLA, A. y ALVÁREZ-PELLITERO, P. (2009): «Experimental transmission of *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Polyopisthocotylea) to gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): a haematological and histopathological approach»; en *Folia Parasitologica* (56); pp. 143-151.
- SITJÀ-BOBADILLA, A.; CONDE DE FELIPE, M. y ÁLVAREZ-PELLITERO, P. (2006): «*In vivo* and *in vitro* treatments against *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Microcotylidae) parasitizing the gills of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.)»; en *Aquaculture* (261); pp. 856-864.
- SITJÀ-BOBADILLA, A.; PADRÓS, F.; AGUILERA, C. y ÁLVAREZ-PELLITERO, P. (2005): «Epidemiology of *Cryptosporidium molnari* in Spanish gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) cultures: from hatchery to market size»; en *Applied and Environmental Microbiology* (71); pp. 131-139.
- SMITH, J. W. (1984): «The abundance of *Anisakis simplex* L3 in the body-cavity and flesh of marine teleosts»; en *International Journal for Parasitology* (14); pp. 491-495.
- SURES, B. (2003): «Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective»; en *Parasitology* (126); pp. 53-60.
- SURES, B. (2015): «Environmental Parasitology: understanding parasite ecology from an environmental perspective»; en *Book of abstracts, 9<sup>th</sup> International Symposium on Fish Parasites*, Valencia 31 agosto-4 septiembre. pp. 7.

- SURES, B. y NACHEV, M. (2015): «Environmental Parasitology»; en *Encyclopedia of Parasitology* pp. 1-4.
- SURES, B.; NACHEV, M.; SELBACH, C. y MARCOGLIESE, D. J. (2017): «Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'»; en *Parasites & Vectors* (10); pp. 65.
- TANG, F. H. y ZAO, Y. J. (2010): «Taxonomic study on trichodinids parasitic on gills of freshwater fish, *Carassius auratus* from Chongqing, China, with the description of *Trichodina brevicirra* sp. nov.»; en *Acta Hydrobiologica Sinica* (34); pp. 1004-1009.
- TANTANASI, J.; DIAKOU, A.; TAMVAKIS, A. y BATJAKAS, I. E. (2012): «*Anisakis* spp. burden in *Trachurus trachurus*»; en *Helminthologia* (49); pp. 16-20.
- TARASCHEWSKI, H.; MORAVEC, F.; LAMAH, T. y ANDERS, K. (1987): «Distribution and morphology of two helminths recently introduced into European eel populations: *Anguillicola crassus* (Nematoda, Dracunculoidea) and *Paratenuisentis ambiguus* (Acanthocephala, Tenuisentidae)»; en *Diseases of Aquatic Organisms* (3); pp. 167-176.
- THIELTGES, D. W.; ENGELSMA, M. Y.; WENDLING, C. C. y WEGNER, K. M. (2013): «Parasites in the Wadden Sea Food Web»; en *Journal of Sea Research* (82); pp. 122-133.
- THOMAS, F.; VERNEAU, O.; DE MEEÛS, T. y RENAUD, F. (1996): «Parasites as to host evolutionary prints: Insights into host evolution from parasitological data»; en *International Journal for Parasitology* (26); pp. 677-686.
- THOMAS, F.; RENAUD, F.; DE MEEÛS, T. y POULIN, R. (1998): «Manipulation of host behaviour by parasites: ecosystem engineering in the intertidal zone?»; en *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* (265); pp. 1091-1096.
- TIMI, J. T. (2007): «Parasites as biological tags for stock discrimination in marine fish from South American Atlantic waters»; en *Journal of Helminthology* (81); pp. 107-111.
- TOMPKINS, D. M. y BEGON, M. (1999): «Parasites can regulate wildlife populations»; en *Parasitology Today* (15); pp. 311-313.
- TORCHIN, M. E.; LAFFERTY, K. D. y KURIS, A. M. (2001): «Release from parasites as natural enemies: increased performance of a globally introduced marine crab»; en *Biological Invasions* (3); pp. 333-345.
- TORCHIN, M. E.; LAFFERTY, K. D. y KURIS, A. M. (2002): «Parasites and marine invasions»; en *Parasitology* (124); pp. 137-151.
- TRUJILLO-GONZÁLEZ, A.; BECKER, J. A.; VAUGHAN, D. B. y HUTSON, K. S. (2018): «Monogenean parasites infect ornamental fish imported to Australia»; en *Parasitology Research* (117); pp. 995-1011.



- VAUGHAN, D. (2017): «Can public aquaria support aquaculture?»; Publicado el 21 de septiembre de 2017. <https://www.linkedin.com/pulse/can-public-aquaria-support-aquaculture-david-vaughan/>
- VIDAL-MARTÍNEZ, V. M.; PECH, D.; SURES, B.; PURUCKER, S. T. y POULIN, R. (2010): «Can parasites really reveal environmental impact?»; en *Trends in Parasitology* (26); pp. 44-51.
- VIGNON, M. y SASAL, P. (2010): «Fish introduction and parasites in marine ecosystems: a need for information»; en *Environmental Biology of Fishes* (87); pp. 1-8.
- VILLAR-TORRES, M.; MONTERO, F. E.; RAGA, J. A. y REPULLÉS-ALBELDA, A. (2018): «Come rain or come shine: environmental effects on the infective stages of *Sparicotyle chrysophrii*, a key pathogen in Mediterranean aquaculture»; en *Parasites & Vectors* (11); pp. 558.
- VINEY, M. y CABLE, J. (2011): «Macroparasite life histories»; en *Current Biology* (21); pp. R767-R774.
- WALDMAN, J. R. (1999): «The importance of comparative studies in stock analysis»; en *Fisheries Research* (43); pp. 237-246.
- WALDMAN, J. R. (2005): «Definition of stocks: an evolving concept»; en CADRIN, S. X.; KERR, L. A. y MARIANI, S., dirs.: *Stock Identification Methods*. Academic Press; pp. 7-16.
- WINDSOR, D. A. (1998): «Most of the species on earth are parasites»; en *International Journal for Parasitology* (28); pp. 1939-1942.
- WHITTINGTON, I. D. (2004): «The Capsalidae (Monogenea: Monopisthocotylea): a review of diversity, classification and phylogeny with a note about species complexes»; en *Folia Parasitologica* (51); pp. 109-122.
- WHITTINGTON, I. D. y CHISHOLM, L. A. (2008): «Diseases caused by Monogenea»; en SEGNER, J. C.; WAHLII, H. y KAPOOR B. G., dirs.: *Fish Diseases*. New Hampshire, Eiras Science; pp. 683-816.
- WILLIAMS, H. H. y MACKENZIE, K. (2003): «Marine parasites as pollution indicators: an update»; en *Parasitology* (126); pp. S27-S41.

## Referencias electrónicas

- [http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad\\_alimentaria/guia\\_trazabilidad.pdf](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/guia_trazabilidad.pdf) (acceso el 10 de marzo de 2019).
- [http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/subdetalle/anisakis.htm](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/anisakis.htm) (acceso el 12 de marzo de 2019).
- <http://www.apomar.es/content/informes-anales-La-acuicultura-en-Espana-2018> (acceso 13 de enero de 2019).

<https://www.cabi.org/isc/datasheet/93709> Invasive Species Compendium (acceso 05 de febrero de 2019).

<http://www.fao.org/fishery/en> Departamento de Pesca y Acuicultura (acceso 12 de enero de 2019).

<https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/planes-de-gestion-y-recuperacion-de-especies/planes-gestion-anguila-europea/> Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (acceso el 06 de mayo de 2019)



# LA MAR DE PLÁSTICO

*Ignacio Fernández Bayo*  
Divulga

*Mercedes Jiménez*  
Divulga

## Resumen

La presencia de residuos plásticos en el mar, especialmente de los llamados microplásticos, que pueden pasar a la cadena trófica, se ha convertido en una de las principales fuentes de preocupación sobre el estado de los mares debido a su enorme potencial de impacto ambiental, tanto sobre la calidad de las aguas como de sus efectos en las especies que habitan los océanos.

## Abstract

*Marine plastic waste, especially so-called microplastics, which can find their way into the food chain, has become one of the main sources of concern about the state of the seas, on account of its potentially huge environmental impact, both in terms of water quality and in terms of its effects on the species that inhabit the oceans.*

## 1. Introducción

El término plásticos identifica un conjunto de materiales artificiales, generados por síntesis química a partir del petróleo fundamentalmente, que están presentes en casi todo cuanto nos rodea. Se trata de un término impreciso, ya que originalmente solo se refiere a uno de los dos tipos principales de estos materiales; a saber: los termoplásticos y los termoestables, según sean susceptibles de ser remodelados por calentamiento o no. Se puede incluir un tercer tipo, los elastómeros, o gomas, que se caracterizan por su elasticidad y su escasa resistencia ante el calor, que destruye su estructura, muchos de los cuales son de origen natural, como el caucho, procesados y/o mezclados con sustancias sintéticas. Es más apropiado, por ello, hablar de polímeros, aunque en este texto utilizaremos de forma preferente el de plásticos, dado que es el más común y comprensible e incluye la mayor parte de su producción.

Los polímeros son macromoléculas orgánicas formadas por la repetición indefinida de otras moléculas más sencillas, denominadas monómeros, engarzadas como eslabones de una cadena (ya sea lineal, ya tridimensional), tan extensa como se desee, mediante un proceso denominado polimerización.

Aunque apenas han cumplido un siglo, estos materiales ofrecen cualidades tan competitivas que se han convertido en los más omnipresentes del mundo actual. Los plásticos son ligeros, moldeables, resistentes al estrés mecánico, a la presión y a los productos químicos; pueden adoptar cualquier forma y tamaño que se desee; son aislantes eléctricos, aunque pueden modificarse para que sean conductores o semiconductores; pueden ser, a voluntad, transparentes, translúcidos u opacos; son idóneos para cumplir funciones estructurales y también funcionales; y son muy duraderos, casi eternos.

Esas cualidades explican que se encuentren ya en prácticamente todos los objetos que nos rodean: la ropa; el móvil; los muebles; los electrodomésticos; los envases de comidas, bebidas y todo tipo de productos; las tarjetas con que pagamos; los fármacos que nos curan; el coche en el que nos trasladamos y la casa en que vivimos. Si por un cataclismo o un hechizo mágico desapareciera el plástico de nuestro entorno todo a nuestro alrededor se desmoronaría, nos quedaríamos desnudos, se derrumbarían las casas, desaparecerían herramientas y dispositivos, los vehículos se convertirían en montones de chatarra, caerían los aviones, los cables eléctricos se desnudarían y provocarían incendios por todas partes, etcétera. Sería una catástrofe sin parangón.

Es indiscutible que los plásticos han cambiado nuestras vidas, en algunos casos con aplicaciones en las que sería complicado sustituirlos de forma igual de eficiente, pero también se han convertido en una pesadilla para el medioambiente y un riesgo para la salud. En los últimos años han saltado las alarmas por la nefasta gestión que tradicionalmente se ha hecho de ellos cuando se convertían en desechos. Dada la durabilidad de los polímeros, ya que muchos de ellos tardan siglos en degradarse, su acumulación se ha convertido en un grave problema. A través del aire o del agua de los ríos, los restos plásticos tirados de forma incontrolada acaban, antes o después, llegando al mar, donde se acumulan y se van troceando por causas mecánicas o por fotodegradación por los rayos ultravioleta solares, hasta adquirir tamaños minúsculos, lo que se denomina microplásticos, que acaban siendo ingeridos por los animales y se incorporan a la cadena trófica.

Aunque ya existían polímeros obtenidos del caucho y de la celulosa con anterioridad, se suele considerar el punto de partida de los plásticos la síntesis de la baquelita, un material termoestable, por el belga Leo Baekeland (cuyo apellido dio nombre al nuevo material) en 1907, ya que fue el primero completamente sintético. La mayor parte de los demás plásticos tardaron aún dos décadas en empezar a aparecer. En el caso de las fibras sintéticas, la pionera fue el nylon, sintetizado por primera vez en 1933, aunque no se patentó hasta 1938. Actualmente se suelen clasificar todos los polímeros en 7 categorías, 6 de las cuales definen los polímeros más frecuentes y una séptima que reúne los restantes, de menor utilización:






















- a) Polietileno tereftalato (PET)
- b) Polietileno de alta densidad (PEAD)
- c) Policloruro de vinilo (PVC)
- d) Polietileno de baja densidad (PEBD)
- e) Polipropileno (PP)
- f) Poliestireno (del que se conocen cuatro tipos diferentes)
- g) Otros plásticos

El número es el mismo que se utiliza para identificarlos en envases y otros usos para indicar su correcto reciclado.

Los primeros pasos de estos nuevos materiales fueron lentos y en 1950 la producción mundial era de tan solo 1,5 millones de toneladas. Desde entonces fue aumentando rápidamente dando respuesta a una demanda creciente de productos manufacturados y embalajes para contener o proteger alimentos y productos. Esto fue acompañado por una creciente diversificación de tipos y aplicaciones de los polímeros sintéticos en construcción, industria automovilística, electrónica y agricultura, entre otros. En la actualidad la producción mundial se acerca o supera los 350 millones de toneladas anuales (335 millones en 2016, según PlasticsEurope); es decir, se ha multiplicado por 230 en 70 años. Y a pesar de la encrucijada en la que se encuentra por razones ambientales, mantiene un ritmo de crecimiento del 4 % anual.

Europa genera unos 60 millones de toneladas (según datos de PlasticsEurope de 2016) y la distribución de la demanda está encabezada por Alemania (24,5 %), Italia (14,2 %), Francia (9,6 %), España (7,7 %) y Reino Unido (7,5 %). En 2016, se recogieron 27,1 millones de toneladas de plásticos en Europa, de los cuales el 31,1 % se recicló para generar nuevos materiales, el 27,3 % se depositó en vertederos controlados y el 41,6 % se incineró para generar energía.

Figura 1. Tipos de plástico, usos y reciclados

Principales aplicaciones		Reciclado	
 <b>PET</b> Polietileno tereftalato	 <p>Envases, botellas, bandejas, monofilamentos, refuerzos para neumáticos y cintas de video y audio.</p>	 <p>Botellas, fibras textiles, lonas, velas, alfombras, juguetes y cuerdas.</p>	
 <b>PEAD</b> Polietileno de alta densidad	 <p>Bolsas, cajones, cañerías, tapas y juguetes.</p>	 <p>Bolsas de basura, grandes envases, cañerías y mobiliario urbano.</p>	
 <b>PVC</b> Policloruro de vinilo	 <p>Cañerías, tarjetas de crédito, productos médicos, marcos de ventana, aislantes, juguetes y botellas.</p>	 <p>Cañerías de riego, protección de cables muebles de jardín, suelas de calzado y otros artículos para el hogar.</p>	
 <b>PEBD</b> Polietileno de baja densidad	 <p>Películas para envases, bolsas, cañerías y aislamiento de cables.</p>	 <p>Bolsas de basura, cañerías, mobiliario urbano, membranas aislantes de la humedad y macetas.</p>	
 <b>PP</b> Polipropileno	 <p>Bolsas de productos alimenticios, contenedores, baterías, jeringuillas, muebles y rafia.</p>	 <p>Contenedores, cubos, escobas, mobiliario urbano y monofilamentos.</p>	
 <b>PS</b> Poliestireno	 <p>Bandejas de productos alimenticios, envases, platos, juguetes y aislantes</p>	 <p>Accesorios de oficina artículos de papelería, bandejas, marcos de fotos, perchas y macetas.</p>	
 <b>Otros</b> PA, ABS, SAN, acrílico, PC y otros	 <p>Accesorios de automóvil, electrodomésticos piezas industriales, colchones electrónica y construcción.</p>	 <p>Productos inyectados (a partir de poliamidas), reciclado químico e instalaciones eléctricas (a partir de policarbonatos).</p>	

Fuente: ECOPLAS.

## 2. El gran sumidero marino

Se calcula que entre 8 y 12 millones de toneladas de residuos plásticos se vierten cada año en el medioambiente de forma incontrolada y acaban llegando al mar, transportados por el viento o por los ríos. Y allí permanecen dado que su degradación es muy lenta. Pero no se están quietos. El movimiento de los plásticos es complejo y está impulsado por muchos factores, incluidos los vientos, la flotabilidad, el tipo de polímero, el tamaño y forma, las corrientes locales y de gran escala y la acción de las olas. Además, se distribuyen en cinco compartimentos en continuo intercambio: la superficie, la columna de agua, el fondo marino, la costa y la biota. Comprender los flujos y puntos calientes de la distribución requiere comprender el movimiento entre estos compartimentos. Los procesos físicos, químicos y biológicos que actúan sobre los plásticos y microplásticos dentro de cada reservorio o compartimento son diferentes y en la mayoría de los casos están mal cuantificados.

El transporte a larga distancia de plásticos flotantes se produce mediante una combinación de circulación oceánica y vientos. La circulación en la superficie ha sido bien definida en términos de los patrones generales de circulación y las tasas de transporte relativas. Una característica de las principales cuencas oceánicas (Pacífico norte, Pacífico sur, Atlántico norte, Atlántico sur e Índico) es la formación de giros subtropicales, regiones de corrientes más lentas donde el material tiende a acumularse y permanecer durante algún tiempo.

A mediados de los años 80 del pasado siglo llegaron las primeras noticias sobre una zona del Pacífico norte donde se acumulaban elevadas densidades de estos desechos plásticos, pero hasta principios de este siglo no se empezó a estudiar el fenómeno. La acumulación se produce por ser la zona interna del sistema de corrientes marinas que forman un círculo ascendiendo desde las costas de Asia oriental hasta latitudes polares y de ahí descienden por la costa occidental de América hasta latitudes tropicales donde giran para volver a Asia.

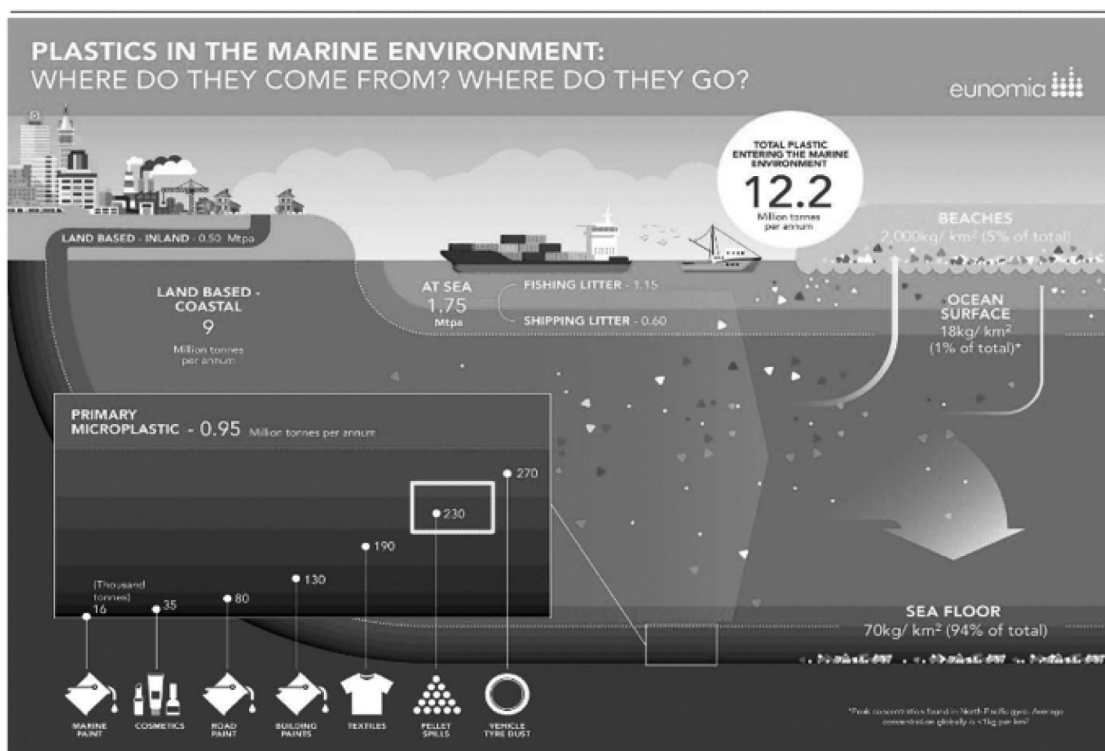
Se calcula que actualmente la llamada *isla de plástico* del Pacífico norte (también llamada *sopa de plástico* porque está formada sobre todo por fragmentos pequeños) ocupa unos 3,5 millones de kilómetros cuadrados (según diversas fuentes, entre 700.000 y 17 millones, dependiendo de la densidad mínima considerada) y contiene 100 millones de toneladas de residuos. Con posterioridad, se han descubierto islas semejantes, aunque mucho más pequeñas, en el Atlántico norte y en el Pacífico sur. El gigantesco tamaño de la original se debe a que recibe las gigantescas aportaciones de las dos cuencas que limitan el Pacífico, Asia y América occidental. Solo China produce el 29 % de todo el plástico mundial y junto con otros países de Asia oriental alcanza el 50 % del total. No es de extrañar que el 95 % de los desechos plásticos mundiales que llegan al mar procedan de tan solo 10 ríos, según un estudio de *Helmholtz-Centre for Environmental Research* de Alemania, de los cuales ocho de ellos se encuentran en Asia y seis vierten al Pacífico.

Los plásticos que acaban en el mar son de muy variada procedencia. Se calcula que el 40 % de la producción se dedica al envasado, mayoritariamente de alimentos y bebidas y contene-

dores de comida rápida, usados a menudo por consumidores que están lejos de sus hogares, donde la eliminación de desechos es difícil de gestionar, como ocurre con las playas. Estos artículos se encuentran frecuentemente como basura marina, según OSPAR, la *Convención para la protección del medioambiente marino del Atlántico Este-Norte*. También se han encontrado residuos de plástico procedente de la práctica agrícola, como tuberías de riego, contenedores de siembra, mallas y láminas protectoras y también gránulos de polímeros sintéticos en los que se dispensan productos fitosanitarios y fertilizantes para garantizar una liberación controlada.

## Microplastics in the marine environment worldwide

PlasticsEurope  
Association of Plastics Manufacturers



Source: Eunomia, Plastics in the marine environment

El turismo costero, con gran variedad de actividades e instalaciones involucradas, hoteles, centros comerciales, complejos turísticos, restaurantes, puertos, puertos deportivos, lugares de pesca y buceo etc. ha sido reconocido como una fuente importante de desechos plásticos, muy a menudo por la basura arrojada deliberada o accidentalmente en la misma costa. Por su parte, la construcción y los productos electrónicos representan una fuente de plásticos terrestres cuya presencia en el mar depende de la eficacia de la gestión de los residuos sólidos, muy variable localmente.

Desde las actividades desarrolladas en el mar también provienen residuos plásticos, los aparejos de pesca, cuerdas, redes, flotadores, línea de pesca, artículos auxiliares (por ejemplo,



guantes, cajas de pescado, bandas de correas), desechos de embarcaciones. Se abandonan, se pierden ya sea por accidente o deliberadamente, o se desechan y probablemente representan la categoría más grande en términos de volumen e impacto potencial de todas las fuentes marinas.

La acuicultura de base marina (costera) utiliza líneas, jaulas o redes suspendidas de estructuras flotantes, que a menudo consisten en plásticos (boyas rellenas de aire) y poliestireno expandido. Estas estructuras también requieren muchas líneas (en su mayoría plásticos no flotantes) y jaulas de varios tipos (plásticos de red de filamentos delgados y gruesos, flotantes o no flotantes). Las estructuras de acuicultura se pierden debido al desgaste de las cuerdas de anclaje, a las tormentas y a los accidentes y conflictos con otros usuarios marítimos. Las condiciones climáticas severas pueden causar daños generalizados en las estructuras de la acuicultura, a veces generando grandes cantidades de desechos marinos.

### 3. El mar más contaminado

El Mediterráneo queda lejos de la gigantesca sopa de plástico del Pacífico, pero a su escala sufre una mayor cuota de contaminación y de hecho está considerado como el mar más contaminado de la Tierra. Según Greenpeace, la densidad media de plásticos en el Mediterráneo es de un fragmento por cada 4 metros cuadrados, la más alta del mundo, y el peso total de los plásticos que alberga alcanza las 30.000 toneladas. El informe de la organización ecologista señala también que el porcentaje de plásticos sobre el total de residuos es del 95 %, muy superior a la media mundial, situada entre el 60 y el 80 %.

Según un estudio dado a conocer en 2019, realizado por Orb Media, un grupo de profesionales dedicados al periodismo de investigación, que analizó el contenido de plásticos en el agua embotellada y de grifo de nueve países europeos, en España se encontraron cantidades muy elevadas, en torno a 40 partículas de micro o nanoplástico por galón (3,78 litros). Según los autores del estudio eso supone que España vierte diariamente, por este concepto, 126 toneladas de plástico al Mediterráneo, cifra solo superada por Turquía entre los países analizados.

Las causas son bien conocidas: el intenso tráfico marino (37 % del total mundial), la actividad industrial de los países ribereños, la cantidad de población que habita en sus costas (427 millones de habitantes, el 7 % del planeta) y la intensa afluencia turística, que supone una cuarta parte del total mundial.

El *Mare Nostrum* tiene un problema añadido y es su carácter de mar casi cerrado, ya que solo realiza un intercambio de aguas muy restringido con el Atlántico, a través del estrecho de Gibraltar, y de forma mucho menor aún por el canal de Suez, lo que provoca que su contaminación se concentre y no se disperse. En su zona occidental, la plataforma continental es muy estrecha, con cañones submarinos que se extienden desde cerca de la costa hasta aguas profundas y cumplen con la función de canalizar los desechos depositados en las aguas costeras, bien directamente o bien a través de las entradas de los ríos. Esto genera importantes *puntos*

*calientes* de acumulación de plásticos, tanto en los propios cañones como en el fondo marino profundo. De hecho, en mayo de 2019 se publicó un estudio en *Scientific Reports*, realizado por un grupo de investigación italiano, dando cuenta de la mayor concentración mundial conocida de basuras en aguas profundas, localizada en el fondo del estrecho de Mesina, entre Sicilia y la península italiana.

Pero se desconoce si estos *puntos calientes* locales actúan como fuentes para el transporte a distancias más largas o zonas de acumulación más permanentes. Se ha observado, no obstante, que en algunos casos las concentraciones más altas se deben a la presencia de vertederos de residuos mal controlados o ilegales, a veces inmediatamente adyacentes a la costa.

Se han realizado modelizaciones para investigar la contribución relativa de plásticos flotantes según la densidad de población costera, la proporción de cuencas urbanizadas (es decir, susceptibles de escorrentía más rápida) y la densidad de envío, simulando la distribución resultante de plásticos en aguas costeras y de mar abierto utilizando un modelo de circulación oceánica, en el que se podrían introducir partículas en proporción a estos tres indicadores. Las concentraciones más altas se produjeron en el sudeste asiático, alrededor de la península de Corea, la bahía de Bengala y el Mediterráneo, resultados que concuerdan de forma bastante aproximada con las observaciones disponibles. No dejan de ser modelos pero pueden resultar de utilidad a pesar de no tener en cuenta factores importantes, como los plásticos no flotantes, la fragmentación, el transporte vertical al fondo marino, los reservorios ambientales (biota, lecho marino, columna de agua, litoral), las fuentes marinas de desechos debidos a la pesca y la acuicultura, y las fuentes terrestres, como el turismo costero.

Los efectos de los plásticos sobre la fauna marina, peces, tortugas, mamíferos y aves, está muy documentada. El enredo con desechos flotantes procedentes de las artes de pesca es un problema frecuente que afecta a todas las poblaciones marinas en diferentes grados, conduciendo a lesiones agudas y crónicas o muerte. Un estudio asegura que el 50 % de las ballenas jorobadas en aguas de EEUU muestran cicatrices por enredos. También las tortugas sufren con frecuencia estos episodios de enredos con los plásticos que agrupan latas de bebida.

Pero el principal problema es la ingesta de plásticos. Numerosos cetáceos varados en playas tenían grandes cantidades de ellos en sus estómagos, como han registrado con frecuencia los medios de comunicación. En noviembre de 2018 se encontraron un millar de objetos de plástico en el estómago de una ballena muerta en las costas de Indonesia. Otra aparecida en febrero de 2018 en la costa murciana tenía 29 kilos de plástico en su aparato digestivo. Ese mismo año, el Instituto de Sanidad Animal de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria publicó en *Environmental Pollution* los resultados de 475 necropsias realizadas entre 2000 y 2015 a cetáceos varados en costas canarias, en 36 de los cuales se encontraron restos de basura (bolsas, tapones, cuerdas, cables, redes e incluso ropa) en sus estómagos. Según los investigadores, al menos 13 de los animales murieron a consecuencia de los plásticos ingeridos.

Es difícil extrapolar a las poblaciones de animales marinos los datos obtenidos a partir de estos casos, ya que suponen una muestra poco representativa y no permite determinar el

número de individuos afectados, pero el problema se ha detectado también en otros animales. Se tiene constancia documentada de numerosos ejemplos de ingestión por tortugas bobas en el Adriático y Mediterráneo occidental, en las Azores y en la Isla de la Reunión. Las aves marinas parecen ser particularmente susceptibles al confundir los plásticos con sus presas naturales. La mayoría de los pollos de albatros muertos y analizados en el océano Pacífico contenían plásticos (encendedores, juguetes y artes de pesca) en sus entrañas. La detección en ejemplares de fulmar boreal es tan frecuente que ha sido adoptado como un indicador fiable de contaminación plástica por la *Convención para la protección del medioambiente marino del Atlántico Este-Norte* (OSPAR).

Pese a todo, los impactos a nivel poblacional son muy difíciles de evaluar. Una revisión encargada por el Panel Científico Técnico y Asesor del Foro para el Medioambiente Mundial, en colaboración con la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, concluyó en 2012 que 663 especies se habían enredado o habían ingerido residuos plásticos, un aumento del 40 % respecto a la estimación anterior, de 1997. También se han detectado daños en arrecifes de coral, especialmente los tropicales poco profundos, y en los manglares, donde la basura marina tiende a acumularse.

#### 4. El tamaño importa: microplásticos

Más allá de las grandes concentraciones de plásticos marinos y de episodios llamativos, como los descritos, la gran preocupación procede de esos trozos minúsculos, los llamados microplásticos y nanoplásticos, de ubicua presencia en todos los mares, que son ingeridos por la fauna marina y acaban pasando a la cadena trófica hasta llegar a afectar a todo tipo de criaturas, incluidos los humanos. Varios estudios han detectado la presencia de estas sustancias en orina y heces de niños y adultos de todo el planeta.

El problema es bien conocido y ha sido objeto de especial interés del Grupo Conjunto de Expertos en Aspectos Científicos de la Protección Ambiental Marina (GESAMP), un organismo asesor de Naciones Unidas creado en 1969, que trabaja con 10 agencias de la ONU. Cuenta con una plantilla de 17 expertos en diferentes aspectos y disciplinas relacionados con la vida marina, pero su capacidad investigadora procede de los cientos de científicos colaboradores, procedentes de medio centenar de países, que forman parte de los grupos de trabajo específicos y que generan informes sobre aspectos concretos relacionados con la conservación de los mares. En el caso de los plásticos, en los últimos diez años la institución ha publicado cuatro informes, en 2010, 2015, 2016 y 2019, los tres primeros específicamente sobre microplásticos.

De acuerdo con el informe de 2016, los microplásticos se definen como partículas de plástico menores de 5 mm de diámetro. Su origen puede ser primario o secundario, según se fabriquen originalmente para ser de ese tamaño o si resultan de la fragmentación de otros más grandes respectivamente. Así, la fragmentación y la degradación juegan un papel esencial en la formación de microplásticos secundarios, pero los procesos son poco conocidos. Hay

evidencias de la generación primaria o secundaria de microplásticos en todos los niveles del ciclo de vida de un producto plástico, tanto de forma difusa como de fuentes puntuales que representan un reto importante para la investigación futura y requieren campañas de seguimiento coordinadas internacionalmente. Hasta ahora, el número de estudios es relativamente pequeño y con métodos y contextos muy variables.

Un informe de 2017 del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) cifraba en 51 billones el número de partículas de microplásticos existentes en el mar y alertaba de que en 2050 el 99 % de las aves marinas habrían ingerido plástico. Por su parte, GESAMP alerta de que ya se han hallado microplásticos en todo tipo de hábitats y en más de 100 especies de organismos. Por todo ello, el PNUMA lanzó su campaña *Clean Seas*, que pretende conseguir para 2022 una drástica reducción de algunas de las fuentes de estos microplásticos, que según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), son, principalmente, las fibras textiles sintéticas (35 %), los neumáticos (28 %) y el polvo de las ciudades (24 %). El resto procede de la descomposición de otros plásticos, de pinturas y revestimientos, cosméticos y la propia materia prima de los polímeros, pequeñas bolitas conocidas como granza o *pellets*.

Los microplásticos primarios se utilizan ampliamente en la industria y en la fabricación de abrasivos en limpiezas de superficies de los edificios y buques, y también como polvos para moldeo por inyección y, más recientemente, para la impresión 3D. También se utilizan en productos de cuidado personal y cosméticos, como pasta de dientes, geles de ducha, agentes de limpieza y exfoliantes para la piel. En algunos casos, como los filtros solares, su tamaño es aún menor y se denominan nanoplasticos. Todas estas partículas se conocen también como microperlas y el número de ellas presente en un producto cosmético típico es muy variable; por ejemplo, se ha estimado que se pueden liberar desde 4.600 hasta 94.500 microperlas por aplicación de un exfoliante para la piel. Estas partículas se liberan directamente a los desagües y van derechas al mar si no existe un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales. Las plantas más modernas retienen más del 96 % de los microplásticos por filtración. Si bien este aporte de microplásticos parece representar una fuente significativa, es relativamente pequeño en comparación con otras fuentes o microplásticos primarios y secundarios en el medioambiente, en términos de tonelaje.

De hecho, una categoría importante de microplásticos primarios son las perlas de resina plástica o *pellets*. Son partículas esféricas o cilíndricas, de unos pocos milímetros de diámetro. Es la forma en que se producen los plásticos en bruto, la materia prima que emplea la industria transformadora para generar el plástico, tanto como producto final como producto intermedio para su incorporación a otros procesos. Ha habido muchos casos de pérdida accidental de gránulos de resina durante el transporte, el transbordo o en las instalaciones de fabricación de tal manera que los *pellets* de resina se han distribuido ampliamente en el medio marino constituyendo la principal fuente de microplásticos primarios en el mar.

Como origen secundario, un número significativo de fibras textiles entran en el ambiente marino, encontrándose en gran proporción en sedimentos costeros cercanos a centros de po-

blación urbanos. Representa una importante fuente potencial de microplástico, especialmente durante el lavado, ya que, según un estudio publicado en 2011 en *Environmental Science & Technology* por un grupo de investigación encabezado por Mark Anthony Brown, se desprenden más de 1.900 fibras cada vez que una prenda se lava. Se trata de un valor promedio ya que existen importantes diferencias geográficas debido a la prevalencia de fibras sintéticas frente a las naturales, la longitud de los hilos, el acceso a las instalaciones de lavado mecánico, el tipo de detergentes utilizados y la frecuencia de lavado. Las plantas de tratamiento de aguas residuales retienen una proporción variable, dependiendo de la existencia, diseño y eficacia de las instalaciones de tratamiento.

Otra fuente importante de microplásticos en el mar es el desgaste de los neumáticos, que origina una emisión de partículas plásticas de menos de 80 micras. Parte de esta especie de polvo aterriza directamente en el suelo alrededor de las carreteras y la lluvia acaba arrastrándolas hacia el mar. El resto de partículas se mantiene en el aire y son arrastradas por el viento hasta depositarse directamente en el mar o caer a tierra donde serán también recogidas y transportadas por el agua de lluvia. Los neumáticos para automóviles están fabricados en su mayor parte con caucho de estireno-1.3-butadieno (SBR). Según un estudio, en Países Bajos cada año se liberan unas 17.000 toneladas de este polvo producido por el desgaste de neumáticos de goma y se estima que estas emisiones de polvo en Noruega, Suecia y Alemania ascienden a 4.500, 10.000 y 110.000 toneladas respectivamente, lo que supone entre 1 y 1,4 kilos de polvo plástico por habitante.

Se calcula que el 80 % de la contaminación marina por plásticos procede de tierra, pero el restante 20 % se debe a actividades realizadas directamente en el mar. Por ejemplo, el mantenimiento y la limpieza de barcos para eliminar los organismos que se adhieren a sus cascos, como moluscos y algas, implican la utilización de partículas de plástico. También se utilizan para limpiar el interior de los tanques. Se liberan, así, dos tipos de microplásticos: el polvo abrasivo de plástico original (primario) y escamas de pintura (secundaria), que a menudo contienen una base de polímero. Aproximadamente el 70 % de los barcos comerciales se desmantelan en el sur de Asia (India, Bangladés y Pakistán), muy a menudo en las costas más expuestas, y un 19 % más en China, lo que supone una importante fuente de residuos plásticos. El desgaste rutinario de los aparejos de pesca introduce una gran variedad de microplásticos secundarios. El uso de plantas de fondo en algunos tipos de redes de arrastre puede ser otra fuente importante de fibras sintéticas en algunas regiones, aunque no se dispone de evidencia sólida.

## 5. Degradación

Los plásticos tienden a degradarse y a perder sus propiedades iniciales a lo largo del tiempo a un ritmo que dependerá de las condiciones físicas, químicas y biológicas a las que estén expuestos. La degradación relacionada con la intemperie da como resultado una progresión de cambios como pérdida de integridad mecánica, fragilidad, degradación adicional y frag-

mentación en microplásticos secundarios. La degradación por fragmentación es acelerada por la abrasión producida por la actividad de las olas. Y se produce también una fotodegradación por la radiación ultravioleta, cuyos efectos son más pronunciados en las costas, especialmente en las regiones ecuatoriales y también la biodegradación por microorganismos. Pese a todo, y aunque es difícil de estimar, se considera que en el medio marino este proceso es extremadamente lento. En la superficie o en la columna de agua el plástico se viste con recubrimientos biológicos e inorgánicos, pero, una vez que el plástico se entierra, la velocidad de degradación se vuelve extremadamente lenta debido a la disminución de exposición a los rayos UV, menor temperatura y menores niveles de oxígeno. Con frecuencia se han observado botellas de PET y aparejos de pesca en el lecho marino que no parecen haber sufrido deterioro.

La biodegradación por microorganismos resulta especialmente importante en el caso de nuevos materiales plásticos específicamente pensados para ser biodegradables, la mayor parte de ellos procedentes de fuentes no fósiles, como cultivos, restos forestales y desechos orgánicos. La biodegradación supone la desaparición del material plástico, ya que una vez completado el proceso, se convierte en dióxido de carbono, agua y otros compuestos naturales, dependiendo de las condiciones ambientales circundantes. Este proceso se realiza ya en plantas de compostaje industrial, sometiendo el material a condiciones controladas, como una temperatura fija, con frecuencia de unos 50°, y el material se degrada en cuestión de semanas o meses.

En España, trabaja en esta línea el grupo de Biotecnología de Polímeros del Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), dirigido por María Auxiliadora Prieto. Según informa en la web del instituto, gran parte de su actividad investigadora se centra en la producción de poliésteres bacterianos o polihidroxialcanoatos (PHA), que se consideran entre los biopolímeros más prometedores por su carácter biodegradable. Para ello utilizan como materia prima residuos industriales y urbanos, como el glicerol, residuos grasos y gas sintético; y para realizar el trabajo bacterias en su estado natural, como *Pseudomonas putida* y *Rhodospirillum rubrum*, además de microorganismos genéticamente modificados para adaptarlos a estos procesos. Incluso, uno de sus proyectos de investigación se plantea conseguir la bioconversión sostenible y ecológica de desechos plásticos de origen petroquímico para transformarlos en bioplásticos, completamente biodegradables, mediante el uso de biocatalizadores basados en bacterias modificadas. Se trata de diseñar enzimas capaces de biodespolimerizar el polietileno tereftalato (PET) y el poliuretano (PU) para generar el biopolímero PHA.

Los bioplásticos son la esperanza de desarrollar nuevos materiales que ofrezcan las mismas prestaciones que los plásticos actualmente en uso, pero que solventen el problema de su destino final, por su carácter biodegradable. Según Daniel López, director del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP) del CSIC, ya se están empleando algunos de estos biopolímeros, aunque aún queda mucho recorrido para que puedan usarse de forma generalizada, sustituyendo a los actuales. Suelen tener un peso molecular bajo y son difíciles de procesar por lo que resultan más caros, pero su uso generalizado y las limitaciones que se vayan imponiendo a los otros plásticos pueden hacerlos competitivos a medio plazo. En el ICTP trabajan en

esta línea de forma intensiva, utilizando como fuentes de estos biopolímeros maíz, celulosa, proteínas de la leche, caña de azúcar y también residuos orgánicos de diferentes fuentes, como los desechos de la agricultura.

Incluso se investiga en la obtención de plásticos a partir del dióxido de carbono. En el Centro de Ciencia de Materiales de Bayer en Leverkusen (Alemania) lo llevan haciendo desde 2011 en una planta piloto. Allí, el CO<sub>2</sub> procedente de la chimenea de una central eléctrica cercana es convertido en poliol, un componente del poliuretano. La clave para conseguirlo ha sido obtener un catalizador capaz de llevar a cabo la conversión. El producto resultante se utiliza ya en la elaboración de espumas para colchones y otras aplicaciones.

## 6. Aditivos químicos

El problema de la contaminación por microplásticos se acrecienta porque muchos de ellos suelen contener una amplia variedad de compuestos adicionales que se agregan para modificar las propiedades del producto final. Por ejemplo, pueden hacer que el polímero sea más flexible, resistir la degradación de los rayos UV, agregar color, hacerlo conductor o semiconductor o ser retardante de llama. Algunos de estos aditivos químicos son benignos, mientras que otros han demostrado tener efectos tóxicos significativos en poblaciones humanas y no humanas a través de la ingestión, inhalación o contacto dérmico. Los aditivos que se mezclan con el plástico durante la fabricación pueden liberarse en el medio ambiente a lo largo del tiempo, especialmente cuando el plástico comienza a degradarse.

Estos productos químicos pueden luego adherirse a otras partículas plásticas o a los lípidos (grasas) y, por lo tanto, entrar en la cadena alimentaria por una ruta secundaria. La proporción relativa de estos aditivos varía mucho según el tipo de polímero. Además, algunos monómeros utilizados en la producción de ciertos plásticos tienen una tendencia a liberarse para unirse a otros componentes con más afinidad. El ejemplo conocido es el bisfenol A (BPA), que se usa en la producción de policarbonato y algunas resinas epoxi, por ejemplo, que se utilizan para revestir recipientes de alimentos. El bisfenol A actúa como un estrógeno sintético y es fácilmente absorbido por el cuerpo. La mayoría de la población de los países desarrollados tiene niveles detectables de BPA, pero el grado en que causa efectos en la salud es un tema de intenso debate.

El océano está contaminado con una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos como un legado de décadas de desarrollo industrial y crecimiento económico. El transporte a través del océano y de los movimientos atmosféricos ha llevado contaminantes a todas las regiones del planeta. Muchos contaminantes orgánicos son lipófilos, lo que significa que se absorben fácilmente en grasas y aceites en peces, mamíferos y otros organismos. Esto incluye los llamados contaminantes orgánicos persistentes (COP), contemplados en el Convenio de Estocolmo, así como otros compuestos persistentes, bioacumulables y tóxicos (PBT). Los plásticos tienen propiedades similares a las grasas naturales y pueden actuar como una *esponja*, absorbiendo y concentrando estos contaminantes de la columna de agua. Si un animal, como

un pez, un ave o un mamífero marino, ingiere partículas de plástico, existe la posibilidad de transferir estos productos químicos absorbidos a sus tejidos. Debido a la persistencia de tales compuestos, los seres humanos y otros animales continuamos estando expuestos mucho tiempo después de que un producto químico se haya retirado de la producción, como ocurre con los bifenilos policlorados (PCB) hoy prohibidos en casi todo el mundo.

El GESAMP declaraba en las conclusiones de su informe de 2016, que «estudios ecotoxicológicos han demostrado que los contaminantes (de los microplásticos) pueden alterar la estructura y función de los ecosistemas, así como procesos fisiológicos de los organismos (por ejemplo, división celular, inmunidad, regulación hormonal) que pueden ser interrumpidos, causando enfermedad». Y añadía que «el impacto ecológico de los microplásticos está muy relacionado con los aditivos químicos que contienen. Algunos de ellos peligrosos y exclusivos de los residuos plásticos». No obstante, advertía que los datos existentes provienen de un número de estudios relativamente pequeño y con métodos y contextos muy variables.

Según Nicolás Olea, catedrático de Medicina de la Universidad de Granada y experto en efectos para la salud de sustancias químicas, «sabemos muy poco aún de la toxicidad de los microplásticos. Necesitaremos 15 años para saber algo sobre su toxicidad. Ni siquiera sabemos si se absorben o no, ni el comportamiento de sus componentes, monómeros y aditivos, salvo en algunos casos, como el bisfenol A de los policarbonatos». El problema, en su opinión, es que muchas de estas sustancias interfieren con el sistema hormonal, con consecuencias imprevisibles. «No se trata de efectos directamente causales, sino que hablamos de enfermedades complejas, multifactoriales, endocrinas, como la infertilidad, la obesidad, diabetes, déficit de vitamina D, hipotiroidismo, hiperactividad... Y aunque se hacen análisis toxicológicos de las sustancias individuales, no se tiene en cuenta el efecto cóctel, las consecuencias de la asociación de muchas de estas sustancias».

## 7. Europa tiene un plan

La basura marina le cuesta a la economía de la Unión Europea cerca de 700 millones de euros por año y se estima que el coste del daño medioambiental será de 22.000 millones de euros para 2030. Pese a ello, y aunque el interés y seguimiento mediático ha ido creciendo en los últimos años, hasta 2018 la Unión Europea no ha presentado una Estrategia para abordar el problema de los plásticos, como parte de la transición hacia una economía circular. Tiene como objetivo proteger el medio ambiente al tiempo que se sientan las bases de una nueva economía del plástico, en la que se transforme el diseño y la producción respetando plenamente las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje y se elaboren materiales más sostenibles.

Además de afrontar una reducción en el uso de plásticos, se pretende incrementar las cifras de reciclado haciendo que sea rentable para las empresas, adoptando nuevas medidas sobre el envasado para mejorar la reciclabilidad de los plásticos utilizados en el mercado e incrementar la demanda de contenido de plásticos reciclados y biodegradables. Para ello, se



deberán instalar plantas de reciclaje más amplias y con mayor capacidad, así como un sistema mejor y estandarizado para la recogida separada y la clasificación de residuos en toda la UE.

La legislación europea ya ha dado lugar a una reducción significativa del uso de las bolsas de plástico en distintos Estados miembros. Los nuevos planes se centran ahora en prevenir y reducir el impacto de ciertos productos plásticos en el medio ambiente y la salud humana; la Directiva 2018/0172(COD), aprobada por el Parlamento Europeo en marzo de 2019, introduce una prohibición a partir de 2021 de los productos plásticos de un solo uso en la UE siempre que haya alternativas disponibles. Estos productos constituyen el 70 % del total de los desechos marinos e incluyen cubiertos (tenedores, cuchillos, cucharas, palillos), placas, pajitas, bastoncitos de algodón, agitadores de bebidas, barras para unir y sostener globos, recipientes de alimentos hechos de poliestireno expandido y productos de plástico oxo-degradable, ya que ese tipo de plástico no se biodegrada adecuadamente.

Para los plásticos de un solo uso, la reducción en su consumo deberá ser cuantificada en cada estado miembro en 2026 para comparar con los datos de consumo en el año 2022. Estos plásticos incluyen vasos (con tapas incluidas), recipientes de alimentos destinados al consumo inmediato, o para llevar y también los consumidos sin ninguna preparación adicional. Para las botellas de plástico se establece un objetivo de recolección por separado del 90 % de reciclaje para 2029 debiendo contener al menos un 25 % de plástico reciclado en su fabricación para 2025, y un 30 % para 2030. A más tardar el 1 de enero de 2022, la Comisión debe adoptar actos de ejecución que establezcan las normas de cálculo y verificación de estos objetivos.

Para las toallas sanitarias, toallitas húmedas, filtros de cigarrillos y tazas para beber se hará obligatorio contener información en la etiqueta sobre el manejo de los desechos y del impacto ambiental negativo resultante de la basura que generan. Los filtros de los cigarrillos son el segundo artículo de plástico de un solo uso más contaminante: un solo cigarrillo contamina entre 500 y 1.000 litros de agua y tarda 12 años en desintegrarse. Y en este apartado, la Directiva refuerza la aplicación del principio de «quien contamina paga» para la industria tabacalera. Los regímenes de responsabilidad extendida del productor establecidos para los filtros plásticos de tabaco permitirán que los productores cubran los costos de las medidas de sensibilización para estos productos; los costes de limpieza de la basura que resultan de los mismos; el transporte y el tratamiento de estos residuos; los costes de la recogida para aquellos productos que se descartan en los sistemas de recolección pública; y la creación de una infraestructura específica para la recogida de residuos de dichos productos.

Con respecto a los aparejos de pesca, los Estados miembros deben supervisar y evaluar los que contengan plástico comercializado y plástico recolectado e informarán a la Comisión con miras al establecimiento de productos vinculantes. La estrategia comunitaria pretende imponer nuevas normas sobre instalaciones portuarias de recogida para abordar la cuestión de la basura marina generada en los mares, mediante medidas que velen por que los desechos generados en los buques o recogidos en el mar para que sean devueltos a tierra para su correcto tratamiento incluyendo medidas para reducir la carga administrativa de los puertos, buques y autoridades competentes.

También se contemplan medidas de sensibilización para incentivar el comportamiento responsable de los consumidores, a fin de reducir la basura de los productos cubiertos por la Directiva. Los consumidores deben conocer la disponibilidad de productos alternativos reutilizables y el impacto de la eliminación inadecuada de los desechos de plástico de un solo uso en el sistema de alcantarillado.

Para fomentar la inversión y la innovación la Comisión ofrecerá orientación a las autoridades nacionales y a las empresas europeas sobre cómo minimizar los residuos plásticos desde su origen. La innovación se incentivará mediante una asignación adicional de 100 millones de euros, para desarrollar materiales plásticos más inteligentes y fáciles de reciclar, hacer que los procesos de reciclaje sean más eficientes, y controlar y supervisar las sustancias nocivas y los contaminantes de los plásticos reciclados.

Es urgente que medidas como las adoptadas por la Unión Europea, a las que deberán seguir otras más avanzadas, se implanten también en el resto del mundo para detener en la medida de lo posible el fenómeno de la contaminación de los mares por plásticos, que puede convertirse en un bumerán que atente contra la supervivencia de nuestra especie. Para evitarlo es necesario afrontar el reto de lograr una economía circular, con medidas legislativas que controlen y reduzcan el uso indebido del plástico, que impulsen la recuperación y reciclaje de todos los residuos, que fomenten el desarrollo de nuevos plásticos de origen no fósil biodegradables y que emprendan acciones para recuperar los desechos que se acumulan hoy en las aguas de todos los mares del planeta. Y las herramientas del cambio son, junto con medidas políticas y económicas, la ciencia y la tecnología.

## Referencias bibliográficas

COMISIÓN EUROPEA: Directiva sobre plásticos de un solo uso <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20190321IPR32111/los-plasticos-de-un-solo-uso-prohibidos-a-partir-de-2021>.

GESAMP Informes:

(2010): <http://www.gesamp.org/publications/proceedings-of-the-gesamp-workshop-on-microplastic-particles>.

(2015): <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>.

(2016): <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment-part-2>.

(2019): <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>.

UNEP (2016): «Marine plastic debris and microplastics –Global lessons and research to inspire action and guide policy change». United Nations Environment Programme, Nairobi. <https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/marine-plastic-debris-and-microplastics-global-lessons-and-research-inspire-action-and-guid>.

UNEP (2017): «Combating marine plastic litter and microplastics: An assessment of the effectiveness of relevant international, regional and subregional governance strategies and approaches»; [https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/unea-3\\_mpl\\_assessment-2017oct05\\_unedited\\_adjusted.pdf](https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/unea-3_mpl_assessment-2017oct05_unedited_adjusted.pdf).

Algunos datos se han obtenidos de webs de medios de comunicación españoles como *El País*, RTVE y *La Vanguardia*. Otros de las webs del Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, PlasticsEurope y el Parlamento Europeo. También se recogen datos obtenidos por entrevista directa con algunos expertos.





# PELIGROS QUE ACECHAN AL MAR

## VERTIDOS Y MAREAS NEGRAS

*Pura C. Roy*  
Periodista científica

### Resumen

Cada día se comprueba la fragilidad de nuestros mares. Su ecosistema es amenazado por la contaminación que genera la actividad humana, muchas veces necesaria como es el transporte marítimo. Para obtener una mayor seguridad se han generado normas y medidas más estrictas por la Organización Marítima Internacional (OMI), organismo de Naciones Unidas, como la construcción de buques más seguros y con un mayor control de las pérdidas de crudo por maniobras rutinarias o accidentes.

### Abstract

*The fragility of our seas is brought home to us on a daily basis. The sea ecosystem is threatened by the pollution caused by human activity, much of which is necessary, such as maritime transport. The United Nations International Maritime Organization (IMO) has created stricter standards and procedures to improve safety, including safer ship construction and tighter control over crude oil spills from routine operations and accidents.*

## 1. Introducción

El pensamiento que ha dominado durante muchos años es que el mar puede ser un vertedero con disponibilidad infinita y con capacidad para esconder todo tipo de sustancias y residuos. Esta visión está detrás de acciones incontroladas que pueden poner en peligro el ecosistema marino fundamental para cuestiones tan importantes como la alimentación o su biodiversidad. Pero también existen normas, y aprendizaje de los desastres ocurridos para que los mares sean más limpios y puedan cobijar todo tipo de vida.

El tráfico marítimo no ha dejado de crecer. La economía necesita de él, pero su impacto en los océanos hace que existan voces que reclaman mayores controles, ya que también es una gran fuente de contaminación. Europa depende de esta vía de comercio para el 70 % de sus importaciones, llegando a ser de hasta el 90 % en el caso del petróleo crudo. Miles de buques petroleros, gaseros, tanques y quimiqueros se encargan de transportar estos productos en Eu-

ropa. Cada uno de estos buques recalca en varios puertos europeos, descargando toneladas de crudo en cada refinería receptora.

Las principales rutas de navegación que transportan petróleo o productos petrolíferos desde o hasta España son las que conectan los destinos internacionales con los puertos españoles en los que existe una refinería. Pero no hay que olvidar que nuestras costas están siempre sujetas al tráfico internacional de buques que, sin recalar en nuestro país, navegan por aguas españolas sobre todo por Finisterre y el estrecho de Gibraltar. Todos los años se transportan en la Unión Europea 800 millones de toneladas de hidrocarburos, tanto de crudo como de sus productos refinados (fuel, gasoil, gasolina, nafta, benceno), desde los puertos comunitarios o con destino a ellos. Aproximadamente el 70 % del transporte marítimo de petróleo en la Unión se efectúa frente a las costas del Atlántico y del mar del Norte y el 30 % restante se realiza en el Mediterráneo. El transporte mundial de crudo mueve más de 1.800 millones de toneladas al año.

En la actualidad, según datos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Transporte (UNCTAD), más del 90 % del comercio mundial se transporta por mar. La demanda mundial de transporte marítimo creció en 2008 un 4,3 % con relación al año anterior, hasta alcanzar los 7.745 millones de toneladas. En 2009 aumentó un 2,5 % más que en el año 2008; aumento que se ha ido manteniendo en ese porcentaje hasta ahora.

La UNCTAD en su informe de 2018 prevé un incremento de los volúmenes en todos los segmentos del tráfico marino, pero estima que el transporte de contenedores y de carga seca de productos básicos a granel registrará el crecimiento más rápido, a expensas de los volúmenes transportados en buques tanque.

Según los datos publicados por Lloyd's Register Fairplay (LRF), a 1 de enero de 2018, la flota mundial de buques mercantes estaba compuesta por 58.329 unidades que sumaban 1.221.304.891 GT y 1.828.210.804 tpm con un aumento de 529 buques (0,9 %), un 3,3 % en GT y un 3,2 % en tpm. 16.000 de estos buques son petroleros. Lejos quedan las exageradas tasas de crecimiento interanual del periodo 2007-2012, de entre el 6-9 %. El número de buques en el mundo dedicados al transporte de petróleo crudo y derivados es de 7.200 unidades (13,6 %), y suponen 197,9 millones de GT (un 25 % del total).

A pesar de estos datos y el menor incremento de los últimos años, las opiniones sobre la seguridad del transporte marítimo varían según las fuentes. Para unos las medidas introducidas por la Organización Marítima Internacional (OMI), organismo de Naciones Unidas, como la construcción de buques más seguros y con un mayor control de las pérdidas de crudo por maniobras rutinarias en los puertos ayudan a que así sea. Sin embargo, para otras fuentes los problemas persisten.

## 2. Mediterráneo

Se estima que en el Mediterráneo el 75 % de las miles de toneladas de hidrocarburos vertidas anualmente proceden de las operaciones de limpieza que realizan los buques. El Mediterráneo es el mar interior más grande del mundo con, aproximadamente, 2,5 millones de kilómetros cuadrados, y alcanza también las tasas más elevadas de contaminación, que no solo provienen de los hidrocarburos, también de las industrias químicas localizadas a lo largo de sus costas. Muchos de los barcos que circulan por él transportan una gran variedad de sustancias contaminantes como aerosoles, productos gaseosos, petróleo, e infinidad de productos que en contacto con el medio marino pueden causar serios problemas.

Aunque el Mediterráneo no representa más del 1 % de la superficie marina del planeta, soporta aproximadamente un sexto del tráfico marítimo mundial. Se estima que alrededor de 6.000 barcos lo cruzan cada día, y de los 800.000 millones de toneladas de petróleo y gas que cada año se encaminan hacia los puertos europeos, casi el 30 % discurren por el Mediterráneo.

Además, estos buques circulan próximos a zonas densamente pobladas o fondean en puertos estratégicos que pueden, en caso de catástrofe quedar fuertemente contaminados. El Mediterráneo también está sujeto a los cambios geoestratégicos de distintas naciones.

Tal vez por estas condiciones un informe de la Comisión Europea pone de manifiesto que las aguas del Mediterráneo son especialmente vulnerables a los vertidos ya que en esta área solo existen alrededor de 50 instalaciones receptoras para residuos de hidrocarburos y, de ellas, solo alrededor de 15 superan los mínimos estándares requeridos de capacidad.

Sus especiales condiciones oceanográficas convierten al Mediterráneo en un mar muy sensible a la contaminación, por lo que el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL) lo ha declarado Área Especial, junto con el mar Báltico, el mar Negro, el mar Rojo, el golfo pérsico, el golfo de Adén y la Antártida (y más recientemente también el mar del Norte/noroeste de Europa), por lo que goza de una protección más estricta en cuanto al vertido de sustancias contaminantes desde buques.

Actualmente, se estima que en cualquier momento hay aproximadamente entre 1.500 y 2.000 barcos de más de 100 toneladas en el Mediterráneo. Por lo que otro de los problemas que sufre el Mediterráneo es el alto nivel de polución también del aire. Las emisiones de contaminantes del aire de los buques están reguladas también por la OMI a través del anexo VI del Convenio MARPOL, que entró en vigor el 19 de mayo de 2005. Los grandes barcos utilizan para su propulsión combustibles fósiles muy sucios, mayoritariamente fuel óleo pesado. Este es un producto que contiene altas cantidades de azufre, cenizas, metales pesados y otros residuos tóxicos. La OMI ha establecido, a partir del 1 de enero de 2020, un nuevo límite máximo de 5.000 ppm en el contenido de azufre para los combustibles de barcos.

### 3. Limpieza de tanques

Los petroleros no son los únicos barcos que contaminan el mar con hidrocarburos: cargueros, pesqueros, barcos de recreo o buques de guerra también vierten sus residuos, añadiendo miles de toneladas más a la polución marina. Entre accidentes y vertidos ilegales se calcula que los vertidos de hidrocarburos de buques no petroleros son de cerca de 280.000 toneladas anuales.

Las plataformas petroleras, que realizan sus tareas de producción o extracción del petróleo en el lecho marino, están ahora también en el punto de mira ya que el daño que pueden producir, derivado de una fuga en su extracción, es mayor a la de un buque petrolero. Uno de los accidentes más recientes en una plataforma se produjo en 2010 en la *Deepwater Horizon*, en el golfo de México. Todavía hoy se desconoce la cantidad de crudo liberado.

Las alarmas suenan cuando se produce un accidente y conlleva lo que se llama una marea negra, pero esto solo es uno de los posibles problemas. Los buques realizan operaciones rutinarias e incluso ilegales como arrojar al mar los residuos oleosos de las sentinas o los restos de crudo del lavado de los tanques, lo que supone una contaminación continua de los mares.

Por ello no solo en la circulación de buques radica el problema, también en la limpieza de los tanques incluso cuando los buques están estacionados. Esa labor conlleva la mayoría de las veces que sus residuos acaben en el mar. La *Nacional Academy of Science* (NAS) ha estimado que cada año, solo del lavado de tanques, se puede verter al mar una cantidad similar a la que transportaba el *Prestige* en las bodegas. Pero estas estimaciones pueden quedarse muy lejos de la realidad, ya que en el mismo informe se asumía el total incumplimiento con las normas del MARPOL por parte del 90 % de los buques que navegan en el mundo, si bien indicaba que la estima total era desconocida dada muchas veces de la ilegalidad de la práctica.

En un informe de la organización Oceana se recuerda que según MARPOL, los países firmantes (más de 150) deben adoptar las medidas necesarias para que los puertos marítimos estén dotados de instalaciones para la recepción de los residuos generados, ya sea a causa de la carga que transporten o del funcionamiento rutinario de la embarcación. En este acuerdo se hacen distinciones dependiendo del tipo de residuo, incluyendo dentro del Anexo I los relativos a los hidrocarburos. Oceana, fundada en 2001, es la mayor organización internacional centrada exclusivamente en la conservación de los océanos, la protección de los ecosistemas marinos y las especies marinas amenazadas.

MARPOL también establece que el puerto donde se realiza la descarga debe responsabilizarse del seguimiento de la entrega de residuos de los buques, así como de aportar las medidas para su recepción y tratamiento. La embarcación tiene prohibido su vertido al mar y debe mantenerlos a bordo hasta su llegada a un puerto de recepción, además de llevar un diario en el que se indique el tipo de residuos generados y los puertos donde se ha realizado la descarga. De este modo, las autoridades portuarias pueden conocer las necesidades del buque y el tiempo que ha transcurrido desde que efectuó su última entrega de residuos.



Observando la gran cantidad de residuos que generan los buques, en especial los que transportan crudo o hidrocarburos pesados, la cantidad de residuos que debieran ser recibidos y tratados en Europa debería superar los 20 millones de metros cúbicos al año.

Sin embargo, los datos de las autoridades portuarias sobre sus instalaciones de recepción parecen demostrar que solo una ínfima parte de los residuos que debieran tratarse terminan en estas instalaciones.

En España según el ministerio de Fomento, entre 2007 y 2013 se iniciaron 174 expedientes sancionadores, pero esto incluye todo tipo de incumplimientos del convenio MARPOL detectados en inspecciones a buques, no solo vertidos.

La Organización Marítima Internacional (OMI), reconoce que «no hay estadísticas detalladas» sobre las descargas ilegales de los buques. Pese a que los países firmantes de MARPOL están obligados a informar a la OMI de las infracciones que detectan, «lo cierto es que el porcentaje de informes que nos envían es bajo; menos del 30 % de las partes los reportan», alega la OMI. En 2012, por ejemplo, 41 países informaron de siete vertidos de 50 toneladas o más. En cuanto a presuntas descargas ilegales, solo fueron 35 toneladas.

«La Comisión Europea considera que solo una pequeña proporción de los vertidos ilegales desde buques es detectada y apenas un puñado termina siendo llevado a juicio. Además, se comprobó que la mayoría de los vertidos ilegales se realizaban por la noche, para dificultar la identificación de los buques infractores», recuerda Oceana en su informe sobre el estado de la cuestión.

A esto hay que sumar, según apuntan los especialistas, la falta de instalaciones adecuadas en los puertos para la recepción de residuos, pero también demasiados buques viejos y con sistemas deficientes para el tratamiento a bordo de estos productos o su mantenimiento hasta depositarlos en un punto de recepción. Si a esto añadimos la falta de sistemas de vigilancia, la débil legislación y la carencia de escrúpulos de algunas personas y empresas provocan que cada año se viertan al mar millones de toneladas de hidrocarburos.

Los especialistas también lamentan que las autoridades portuarias no recogen los datos sobre la recepción de residuos entre las actividades reflejadas en su memoria anual, lo que imposibilita conocer el verdadero alcance de los residuos tratados. Pero, conociendo los datos de algunos de los principales puertos de Europa sobre el movimiento de mercancías, queda patente que las cifras están muy lejos de lo que sería deseable.

La actividad portuaria y la manipulación de carga a nivel mundial crecieron en 2017 tras dos años de resultados poco alentadores. La UNCTAD estima que 752 millones de unidades equivalentes de 20 países pasaron por los puertos de contenedores en todo el mundo en 2017.

## 4. Técnicas de lavado

Como la OMI obliga a mantener a bordo los residuos de hidrocarburos, ya sean del lavado de tanque, de sentinas o de los motores, hasta su descarga en una instalación de recepción portuaria para el tratamiento de residuos, los petroleros y la mayoría de los buques mercantes deben disponer de tanques para el mantenimiento de estos residuos hasta su llegada a puerto.

Algunos residuos que genera el crudo en el lavado de los tanques se han reducido por medio de la técnica conocida como *load-on-top*, que consiste en derivar las aguas del lavado de tanques a unos tanques de decantación reservados para tal efecto y permitir que, por la diferente densidad y peso del crudo y el agua estos se separen, quedando el crudo en la parte superior y el agua en la inferior, con lo que se procede a su vertido, reteniendo el resto. Aún así, esta agua puede mantener concentraciones de hidrocarburos contaminantes.

Otra técnica para reutilizar los residuos de los transportes de hidrocarburos pesados es el lavado de los tanques con petróleo. En lugar de utilizar agua, el lavado con crudo usa la misma carga para retirar los residuos creados y, de este modo, se evita la contaminación de miles de metros cúbicos de agua y el petróleo puede ser descargado sin generar apenas residuos.

Pero estas técnicas aún no están totalmente extendidas y, por otra parte, ya existen refinerías que rechazan asumir los residuos mezclados con la carga, incluso firmando contratos con los buques petroleros en los que se define claramente que no se aceptará la técnica de *load-on-top*.

Pero el mayor problema no es el lavado de tanques en los puertos. Uno de los orígenes más frecuentes de los vertidos incontrolados es el lavado de los tanques en alta mar. Los tanques de carga suelen ir cargados al 95 o 98 % de su volumen, siempre que la estabilidad del buque y el calado del puerto de destino lo permitan.

Los buques no pueden viajar con los tanques vacíos porque pierden estabilidad. Así que van lastrados con agua de mar mezclada con todo tipo de residuos. Antes de llegar a puerto, algunos barcos vacían sus tanques en alta mar para ahorrar tiempo y dinero y poder cargar de nuevo.

Pero además esta agua de lastre puede contener miles de microbios acuáticos, algas y animales, que se transportan por todos los océanos del mundo y se descargan en ecosistemas de acogida, que no son sus ecosistemas nativos.

El agua de lastre sin tratar que se libera en el puerto de destino del buque puede introducir nuevas especies acuáticas invasivas. La expansión del comercio y el volumen del tráfico en las últimas décadas han aumentado las posibilidades de que se descarguen especies invasivas. De hecho, cientos de invasiones ya han tenido lugar, a veces con consecuencias devastadoras para el ecosistema local.

Una medida internacional clave para la protección medioambiental encaminada a impedir la propagación de las especies acuáticas invasivas a través del agua de lastre de los buques es el *Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques* (Convenio BWM) impulsado por la OMI que exige que los buques gestionen su propia agua de lastre para suprimir, neutralizar o evitar la toma o descarga de organismos acuáticos perjudiciales o patógenos con el agua de lastre y los sedimentos.

La propagación de las especies invasivas se reconoce actualmente como una de las mayores amenazas al bienestar ecológico y económico del planeta. Estas especies causan enormes daños a la biodiversidad y a la valiosa riqueza natural de la tierra, de la cual dependemos. Los efectos directos e indirectos en la salud son cada vez más graves, y los daños al medio ambiente pueden ser irreversibles. Hasta la fecha, 60 sistemas de tratamiento de agua de lastre han sido homologados.

## 5. Grandes petroleros

Con la construcción de grandes petroleros, estos fueron objeto de grandes cambios en cuanto al lavado de sus tanques. Para mejorar la limpieza de sus grandes tanques de carga se introdujeron máquinas de lavado fijas en los buques y para realizar un lavado de tanques mas seguro se introdujo el control de la atmósfera. Este protocolo nace a raíz de una serie de explosiones ocasionadas a bordo de los petroleros *Mactra*, *Marpesa* y *Hong Haakon VII* en el año 1969 con graves consecuencias. Como resultado de esos incidentes se estableció en 20.000 Tns el tonelaje a partir del cual se establece que las operaciones de lavado deberán realizarse en una atmósfera inerte y sin máquinas de gran capacidad y altas presiones. Si el lavado se realiza con crudo, la operación ha de realizarse en atmósfera inerte sea cual sea el tonelaje del buque.

La OMI ha regulado los vertidos de hidrocarburos permitidos, estableciéndolos solo para los casos en que se realicen por cuestiones de seguridad para la navegación y los trabajadores de la mar, o cuando sean de aguas oleosas procedentes de los motores con niveles de hidrocarburos no superiores a los 15 ppm.

Asimismo, se establece que los vertidos de hidrocarburos deberán hacerse lejos de la costa (al menos a 50 millas) y con el buque navegando, teniendo en cuenta que no pueden verterse más de 30 litros por milla recorrida y que el vertido total no exceda 1/30.000 (o 1/15.000 si el petrolero es anterior a 1980) de la carga. Es decir, que el vertido total 'permitido' de todos los buques transportando crudo en el mundo debería ser, en el peor de los casos, de unas 120.000 toneladas de hidrocarburos, o entre 33.000 y 53.000 toneladas en el caso de Europa, algo difícil de entender si solo de costras y lodos de la carga se producen, al menos, entre 5,6 y 6,3 millones de toneladas de residuos en el mundo y entre 1,75 y 2,8 millones en Europa.

## 6. Buenos datos

A escala mundial, entre 1992 y 1999 naufragaron un total de 593 buques, de los cuales 77 eran petroleros, es decir, solo un 13 % del número total. Ante estas cifras, puede decirse que los resultados en términos de seguridad son relativamente buenos.

El número de grandes derrames ha disminuido significativamente en las últimas décadas. Las estadísticas recopiladas por la Federación Internacional Anticontaminación de Armadores de Buques Tanque (ITOPF) muestran una reducción de un 90 % en los derrames importantes de hidrocarburos y una reducción de cien veces en el volumen de hidrocarburos derramados desde la década de 1970, destacando así el beneficio tangible de que el sector y los gobiernos hayan trabajado de forma conjunta para reducir los derrames a lo largo de las décadas. En 2016, el volumen total de crudo transportado por buque fue de 1.770 millones de toneladas métricas y el 99 % de ese volumen llegó de forma segura, según ITOPE.

Durante el año 2009, según también ITOPE, los hidrocarburos vertidos a la mar en accidentes de buques tanque sumaron únicamente 100 toneladas. Se trata de una cifra muy reducida, teniendo en cuenta que en ese mismo año se transportaron por mar más de 2.300 millones de toneladas de hidrocarburos.

Al observar la frecuencia y la cantidad de hidrocarburos derramados, se debe tener en cuenta que algunos derrames muy grandes son responsables de un alto porcentaje del hidrocarburo derramado.

En el período de 1970 a 2017, el 50 % de los grandes derrames ocurrieron mientras los buques estaban en marcha en aguas abiertas; allisions, collisions y groundings representaron el 59 % de las causas de estos derrames. Tal vez, como era de esperar, estas mismas causas explican un porcentaje aún mayor de incidentes cuando el buque estaba en marcha en aguas interiores o restringidas, estando vinculado a alrededor del 99 % de los derrames.

Según ITOPE, los buques tanque que operan en la actualidad están proyectados con doble casco, controles dobles, tanques de lastre separado, sistemas de gas inerte, equipo de lavado de tanques de crudo y separadores de aguas oleosas. Ninguna de estas innovaciones estaba presente hace cincuenta años. Todas ellas, junto con las mejoras en las ayudas a la navegación, así como en la construcción y la tecnología del buque, han dado lugar a normas mucho más rigurosas para el funcionamiento de los buques tanque. Al mismo tiempo, las proactivas iniciativas del sector y las directrices y convenios encabezados por la OMI, que abarcan temas como la seguridad, las operaciones y la gestión de los buques, el examen y el reporte de antecedentes, la formación de la tripulación y la certificación, han contribuido a lograr un sector del transporte marítimo de hidrocarburos más seguro y limpio en todo el mundo.

La OMI destaca la importancia de las medidas adoptadas en respuesta al suceso del *Torrey Canyon* en marzo de 1967, frente a las costas del Reino Unido. Apenas dos meses después, en mayo de 1967, la OMI ya había convocado una reunión extraordinaria en la que se propusieron una serie de cambios en el proyecto y la explotación de los buques. Estas propuestas

tuvieron como resultado directo la elaboración del Convenio MARPOL, que es todavía a día de hoy la medida más importante para abordar la prevención de la contaminación producida por los buques.

El incidente también condujo a la constitución del Comité jurídico de la OMI, que posteriormente elaboró un marco general para indemnizar a las víctimas de sucesos de contaminación y creó los fondos internacionales (FIDAC) de indemnización de daños debidos a contaminación por hidrocarburos.

Sin embargo, sorprende que la edad media de los buques dedicados al transporte de petróleo en el año 2009 se situara en los 19 años. Actualmente del número total de petroleros, el 22,1 % tienen menos de 4 años, lo cual representa una renovación de flota en los últimos años. No obstante, es significativo que, después de la catástrofe del *Prestige* (buque de 27 años de edad), todavía un 40 % superan los 20 años de edad, si bien se trata de barcos de pequeño porte, ya que representan tan solo el 12,6 % del total de toneladas de peso muerto de la flota mundial de petroleros. Este porcentaje asciende a un preocupante 68 % en los países del Este de Europa. Es obvio que las recientes aplicaciones de normativa de adelantamiento de retirada de petroleros con determinada edad y características disminuirán estos inquietantes porcentajes en los próximos años.

## 7. Mareas negras

Los últimos accidentes serios han sido el del buque *Sanchi*, en 2018, y el *Grande América* en 2019. El *Sanchi* era un barco iraní que transportaba hidrocarburos livianos. Cuando ocurrió el accidente el *Sanchi* llevaba unas 136.000 toneladas de condensado de petróleo, un producto muy volátil e inflamable, pero que también se evapora y arde con facilidad. El accidente ocurrió en el mar Oriental de China, uno de los espacios marinos más ricos y productivos que existen en el planeta. La zona afectada es importante para la reproducción de algunas especies de peces, crustáceos y calamares, según Greenpeace. Está también en un lugar donde pasan numerosos cetáceos migradores como la ballena gris o la ballena jorobada.

El buque italiano *Grande América*, el 12 de marzo de 2019, naufragó entre las costas francesas y españolas a causa de un incendio. Por el momento, ha dejado una mancha de petróleo de unos 50 km<sup>2</sup> que se extiende hacia la costa francesa y cantábrica, según uno de los satélites de la Unión Europea, *Copernicus Sentinel*.

Las informaciones de las agencias revelan que las más de 2.000 toneladas de petróleo que el navío transportaba para propulsarse, además de estar diseminadas por varias partes del litoral, siguen vertiéndose en el fondo marítimo a más de 4.000 metros de profundidad, donde se encuentra hundida parte de la embarcación. Se trata de un fuel pesado (HFO) que es mucho más barato por su proceso de refinamiento, pero altamente contaminante. Aunque las normativas internacionales limitan el uso de este peligroso carburante en zonas como el mar del Norte o el mar Báltico, la zona del Cantábrico no tiene restricciones.

La larga historia de las mareas negras de consecuencias catastróficas se inicia con el hundimiento de *Torrey Canyon* (1967) en la costa inglesa. Desde entonces, numerosos vertidos han tenido lugar en distintas partes del mundo. Entre los más recordados y con graves consecuencias están los de los petroleros: *Urquiola* (1976) frente a Coruña; *Amoco Cádiz* (1978), frente a Bretaña; *Exxon-Valdez* (1989) ocurrido en Alaska; *Mar Egeo* (1992) a la entrada del puerto de La Coruña; *Sea Empress* (1996), al suroeste de Gales; *Erika* (1999), en Francia o el *Prestige* (2002), otra vez frente a las costas coruñesas.

## 8. *Prestige*

El hundimiento del *Prestige*, un buque monocasco cargado con 77.000 toneladas de fuel, puede servir de ilustración de lo que puede ocurrir con otros grandes vertidos. Es hasta el momento el mayor desastre ecológico del litoral español. Se estimó que 22.000 toneladas de petróleo se vertieron al mar y que alrededor de 55.000 permanecieron en los tanques. Sus datos fueron: 2.900 km de costa afectada, 450.000 m<sup>2</sup> de rocas impregnadas de chapapote, 526,3 toneladas de fuel en los fondos de la plataforma continental, mortalidad estimada de 230.000 aves, 41.600 personas directamente afectadas y 119.874 personas de empleo indirecto, altos contenidos de hidrocarburos en los seres vivos y en los sedimentos, entre 3.000 y 5.000 millones de euros en pérdidas económicas.

El del *Prestige* no ha sido el mayor vertido en la historia de las mareas negras, pero sí el que ha tenido características especiales, por su gran alcance geográfico y localización, mayor cantidad de población humana que implicó ya que afectó una gran extensión de costa habitada y cuya actividad económica depende principalmente del mar. Características que no se han dado en otras ocasiones.

Lo que sí tienen en común todos los vertidos es que el hidrocarburo se extiende rápidamente por acción de las corrientes y los vientos, quedando disperso tanto sobre la superficie como en la columna de agua. También puede hundirse, al mezclarse con partículas más densas, acumulándose en los sedimentos. Además, va incorporando agua, transformándose en bolas de alquitrán semisólidas y aumentando su volumen. La línea de costa no es la única zona afectada. La fuerza del mar bate el fuel, lo fragmenta y lo emulsiona traspasándolo a la columna de agua y de ahí a los fondos submareales, por lo que alcanza y afecta tanto al ecosistema pelágico como al profundo, a los ecosistemas bentónicos de plataforma y costeros, y a los fondos infralitorales e intermareales. Además de la cantidad del vertido, el daño producido dependerá de su composición, de su dispersión y de la temperatura y el grado de agitación del medio en que se produzca.

## 9. Ecosistemas

Nadie pone en duda que los vertidos de crudo al medio marino tienen siempre un impacto negativo sobre los ecosistemas, especies de fauna y flora y sectores económicos. La contaminación de sustancias derivadas de hidrocarburos posee efectos acumulativos y persistentes, que se introducen en las cadenas tróficas marinas mediante su principal vector, el agua. Acumulándose en los organismos, la contaminación puede llegar al hombre por consumo de organismos filtradores, como, por ejemplo, los moluscos.

Los informes existentes ponen de manifiesto que cuando un gran vertido de un petrolero se produce tiene preocupantes consecuencias, al producirse una gran mortalidad por impregnación, asfixia o ingestión, de todas aquellas especies como algas, invertebrados, peces, mamíferos o aves que entran en contacto directo con el fuel. Muchos organismos que no mueren tras este primer contacto quedan abocados a una muerte segura por inanición ya que se encuentran con un medio en el que la posibilidad de encontrar alimento se ha reducido drásticamente.

Una vez superada esta fase aguda, los efectos sobre los ecosistemas marinos tienen un alcance y una duración impredecible, que incluyen alteraciones del hábitat, disminución de la productividad, cambios en las cadenas tróficas, bioacumulación, disminución en la supervivencia de embriones y larvas y aparición de deformidades.

La contaminación de las aguas repercute directamente en la fauna marina del planeta; así, un estudio realizado a las tortugas capturadas en palangreros en el Mediterráneo central reveló que en el 20 % de las especies muestreadas había restos de contaminación por hidrocarburos y basuras flotantes. El impacto de la polución en la fauna marina es muy fuerte, ya que hay contaminantes que provocan la disminución de las defensas, perturbaciones sexuales o incluso la formación de especies estériles. Lo que ocurre en el mar es que el contaminante se diluye, se dispersa y el impacto sobre sus organismos es a largo plazo, la fauna muere poco a poco. A este respecto, las especies situadas en la parte más alta de la cadena alimentaria son las que sufren más, ya que acumulan la contaminación a través de los eslabones de otras especies como es el caso de los tiburones, sobre todos los grandes tiburones como el blanco, tigre o martillo.

## 10. España

En la costa española, desde la década de los 50, han tenido lugar unos 30 accidentes de petroleros, 11 de los cuales derramaron más de 12.000 toneladas, y la mayor parte de ellos se produjeron frente a Galicia. Este hecho es fácilmente explicable teniendo en cuenta que por la costa gallega se mueve el 70 % del petróleo que entra o sale de Europa y sus aguas son surcadas anualmente por más de 14.000 buques transportando petróleo y otras mercancías peligrosas. Además, se trata de una costa con unas condiciones climatológicas que aumentan el riesgo de accidentes, los cuales habitualmente se producen en situaciones de profundas borrascas, con fuertes vientos y grandes olas que llevan los vertidos hasta la costa y dificultan el salvamento.

De las 25 regiones europeas con más riesgo de un accidente, 20 están en Gran Bretaña. En España además de Galicia, el estrecho de Gibraltar está también entre las regiones con más riesgo de vertidos, por el numeroso tráfico de barcos que transportan productos muy contaminantes y peligrosos.

Con el desastre del *Prestige*, junto con el del *Erika*, se puso de relieve que en Europa no había suficientes buques anticontaminación (buques encargados de retirar el fuel antes de llegar a la costa) capaces de actuar eficazmente ante un vertido de grandes dimensiones, según señalaba literalmente la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) en un informe que elaboró.

En este contexto, se encargó a la EMSA que creara una red de buques, equipos y otros recursos para ayudar a los estados miembros a atajar la contaminación producida por los barcos. Basándose en un plan de acción de preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, la Agencia contrata buques mercantes capaces de transformarse rápidamente (normalmente en 24 horas) en buques de recogida de hidrocarburos dotados de equipos punteros. Este tipo de navíos se dedica a realizar actividades rutinarias, pero también es capaz de cargar el equipo y acudir rápidamente allá donde se produzca un incidente que implique un vertido de petróleo.

La EMSA se crea en 2003 y según esta organización la costa comunitaria es la que está mejor cubierta de estaciones receptoras del Sistema de Identificación Automática (AIS), que captan sin cesar las señales de los buques en tránsito. La Agencia coopera con los Estados miembros en la mejora del rango de recepción de estas estaciones, con el fin de alcanzar una cobertura completa de las zonas marítimas europeas.

Cuando en 1999 se produjo el accidente del *Erika*, no se disponía de información precisa sobre su carga. Dado el elevado número de barcos que realizan actividades de carga y descarga en puertos europeos, la información relativa a la mercancía, al historial de seguridad de los buques y a los puertos de destino resulta vital para la seguridad marítima, la protección del medio marino y para los agentes económicos.

## 11. *Exxon-Valdez*

A pesar de la larga lista de mareas negras en todo el mundo, existe un gran desconocimiento del fenómeno pues hay muy pocos estudios de los efectos a largo plazo sobre el ecosistema y de la manera de combatir el daño una vez producido.

De hecho, el único caso en el que se ha realizado un seguimiento exhaustivo a largo de los años es el derrame del *Exxon-Valdez* en Alaska, donde los efectos del fuel siguen dejándose sentir. Aunque su presencia ha disminuido, sigue encontrándose en niveles que afectan el desarrollo de embriones y que alteran las cadenas tróficas. De hecho, el tiempo de recuperación está siendo mayor del esperado, porque el fuel atrapado en el sedimento se degrada muy lentamente, lo que mantiene unos niveles tóxicos y de exposición crónica que producen durante años altas



tasas de mortalidad en las poblaciones. El accidente del *Exxon-Valdez* provocó, según Adena, la muerte de más de 250.000 aves marinas, 5.000 nutrias marinas, 300 focas, 22 orcas, 150 pigargos americanos, 14 leones marinos, infinidad de cormoranes, araos, mérgulos, ostreros, colimbos, anátidas y millones de peces de distintas especies.

Con el *Exxon-Valdez* también se ensayaron diferentes métodos de limpieza y ha quedado demostrado que algunos de ellos, como la hidrolimpieza y los métodos de dispersión química, pueden causar más daños que el propio fuel, con impactos recurrentes cada vez que se repite la limpieza. Por lo tanto, no debería de confundirse ‘recuperar’ con ‘limpiar’. Un medio puede estar aparentemente limpio, pero profundamente alterado.

Según Greenpeace es imposible limpiar los derrames totalmente. En el mejor de los casos se recupera entre el 15 y el 29 % del petróleo derramado en el océano y los dispersores químicos que trocean el crudo solo empeoran la situación. Para la organización Oceana también es muy discutida la utilización de dispersantes porque aumenta la toxicidad de la zona afectada y lo menos dañino es la retirada manual o mecánica, a pesar de las dificultades que esto tenga.

## 12. Satélites

La seguridad preocupa a todos los agentes implicados en el comercio de hidrocarburos. Para garantizarla la AMSA dispone de satélites, los *Sentinel*, construidos para el programa de monitoreo ambiental *Copernicus* de la Comisión Europea. Estos satélites idénticos llevan cada uno un instrumento de radar avanzado que puede ‘ver’ a través de la oscuridad y a través de las nubes. Su amplia franja permite obtener imágenes de grandes áreas de la superficie de la Tierra para que eventos como los derrames puedan ser detectados y monitoreados fácilmente. Las imágenes de los Sentinel son utilizadas por la AMSA como parte de su plan *CleanSeaNet*, el servicio europeo de detección de embarcaciones y derrames, que fue creado en 2007 para ayudar a los Estados miembros en la lucha contra la contaminación y la detección de posibles mareas negras. Por ellos se supo la fuga ocasionada en 2018 de un buque de carga tunecino que golpeó el casco de un barco de contenedores chipriota en aguas al norte de la isla francesa de Córcega. No hubo víctimas, pero la colisión causó una fuga de combustible, lo que resultó en una mancha de aceite de unos 20 km de largo. Detectar estas fugas es importante ya que entre el 6 % y el 12 % de las especies marinas del planeta viven en el Mediterráneo.

## 13. Legislación

El derecho del mar está regido por la *Convención de Naciones Unidas para el Derecho del Mar* de Montego Bay en 1980 y se considera uno de los instrumentos más completos del derecho internacional, estableciendo un marco fundamental para los aspectos de soberanía, jurisdicción y los derechos y obligaciones de los Estados en relación con los océanos. La convención no se

remite a la navegación únicamente, sino que también regula el sobrevuelo, la exploración y la explotación de recursos, así como la conservación y contaminación, pesca y tráfico marítimo.

El *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques* o MARPOL 73/78 creado por la Organización Marítima Internacional es el nombre completo que tiene el más profundo e importante convenio sobre la protección del medio marino. Fue desarrollado en el año 1973 tras el anterior Convenio de Londres pero no entró en vigor hasta el 2 de octubre de 1983. Según este convenio los barcos deben tener doble casco o un diseño equivalente, mientras que los petroleros de casco único deben eliminarse progresivamente. Los buques de doble casco reducirán considerablemente los riesgos de contaminación, especialmente en caso de abordajes o varadas poco graves.

Por su parte, la Unión Europea ha aprobado una serie de paquetes de medidas que incrementan la seguridad marítima, conocidos como Paquetes *Erika I, II y III*, y que comprenden ámbitos diversos como la desaparición de los petroleros monocasco en las aguas europeas, el control por el Estado rector del puerto, la lucha contra los buques que no cumplen los estándares mínimos, el seguimiento y control del tráfico marítimo, o la creación de la Agencia Europea de Seguridad Marítima.

Los *Fondos Internacionales de Indemnización de Daños debidos a la Contaminación por Hidrocarburos* (FIDAC) son tres organizaciones intergubernamentales (el Fondo de 1971, el Fondo de 1992 y el Fondo Complementario) que facilitan la indemnización de los daños debidos a la contaminación por derrames de hidrocarburos procedentes de petroleros. Estos fondos, complementarios del Convenio de Responsabilidad Civil, establecen un sistema de indemnización si la cantidad disponible en virtud de dicho convenio es insuficiente para cubrir todas las reclamaciones admisibles, y siempre que los daños se produjeran en un estado miembro de ese fondo. Los FIDAC se financian mediante recaudaciones sobre determinados tipos de hidrocarburos transportados por mar. Dichas recaudaciones son pagadas por las entidades que reciben hidrocarburos tras su transporte por mar.

El último en entrar en vigor a finales de 2008 ha sido el *Convenio internacional sobre responsabilidad civil nacida de daños debidos a contaminación por hidrocarburos para combustible de los buques* (BUNKERS 2001), hecho en Londres el 23 de marzo de 2001, y que cubre los daños que hasta ahora no cubrían el resto de convenios: los daños causados por los hidrocarburos transportados como combustible del buque. Ya no solo los petroleros, sino todos los buques, tendrán cubiertos los daños que causen los derrames de su combustible.

## 14. Convenios

El mar no tiene fronteras. Para que su conservación sea efectiva es necesaria la cooperación y la colaboración internacional, por lo que existen convenios internacionales dedicados a la protección del medio marino. Algunos de ellos son:

- Convenio de Barcelona para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo.
- Convenio OSPAR sobre la protección del medio ambiente marino del Atlántico nordeste.
- Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos (OPRC) y protocolo sobre sustancias nocivas y potencialmente peligrosas (HNS).
- Convenio de Londres (Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias).
- Convenio de Bonn sobre especies migratorias.





# MEDITERRÁNEO ECONÓMICO

33

- I. La importancia del mar para la humanidad
- II. Debilidades y amenazas
- III. Fortalezas y oportunidades





# OCÉANO, DESPENSA AZUL

*Mónica G. Salomone*  
Periodista científica

## Resumen

El pescado es actualmente la fuente del 17 % de las proteínas animales consumidas en el mundo, y sus propiedades nutricionales cumplen un papel fundamental especialmente en la dieta de los países en desarrollo. Los desequilibrios en el mercado mundial de la pesca y el impacto ambiental de la explotación de los mares son cuestiones a tener muy en cuenta ante el reto global de alimentar a un planeta cada vez más poblado. Saber si la producción de pescado podrá seguir aumentando lo bastante como para cubrir el aumento de la demanda mundial exige desmenuzar los datos de producción y consumo en las múltiples variables con que han sido contruidos. Por otro lado, si bien la acuicultura ha hecho posible el aumento sostenido en la producción y el consumo, no está claro aún que esta actividad sea, en su estado actual, la solución al previsible aumento en la demanda, tanto en términos de capacidad como de sostenibilidad.

## Abstract

*Fish are currently the source of 17% of the animal protein consumed in the world and their nutritional properties play a key role in the diet of developing countries in particular. Imbalances in the world's fisheries and the environmental impact of the exploitation of the seas are issues that must be taken very much into account in tackling the global challenge of feeding an increasingly populous planet. To determine whether fish production can continue to expand to meet the growth in world demand, we must break the production and consumption data down into the many variables from which it is constructed. On the other hand, although aquaculture has allowed a sustained increase in production and consumption, it is not yet clear whether in its current form it is the answer to the anticipated increase in demand, either in terms of capacity or in terms of sustainability.*

## 1. Aumento de la población mundial humana

Seremos 2.000 millones de personas más en el planeta dentro de apenas treinta años, según estimaciones del más reciente informe de población de Naciones Unidas (junio de 2019). Y a finales de siglo habremos llegado a los 11.000 millones de personas. Un éxito considerable para una especie de primate bípeda que no vuela, no respira bajo el agua ni corre a grandes velocidades y carece de garras y dientes afilados. Ahora bien ¿moriremos precisamente de éxito? Producir comida para 11.000 millones de humanos no es un objetivo fácil, y sin embargo es obligado cumplirlo, además, de manera sostenible.

Es un reto tecnológico, económico y sociológico donde entran en juego no solo variables ecológicas y de equilibrio ambiental, sino de mercado y de liderazgo político –entre muchas otras–. Gran parte de la población de más rápido crecimiento está en los países más pobres, «donde el aumento de la población presenta desafíos adicionales en el esfuerzo para erradicar la pobreza, lograr una mayor igualdad, combatir el hambre y la desnutrición, y fortalecer la cobertura y la calidad de los sistemas de salud y educación para no dejar a nadie atrás», dijo Liu Zhenmin, secretario general adjunto para Asuntos Económicos y Sociales de la ONU, cuando se presentó el informe sobre población mundial.

La necesidad de comida es un desafío local y global. La escala a la que se desarrolla el mercado es planetaria, el alimento puede llegar de muy lejos si hay consumidores dispuestos a pagar los costes económicos. A consecuencia de ello, las exigencias de una economía global se superponen a las reglas de los mercados locales, en un engarce que es todo menos perfecto. La pesca es uno de los ámbitos en que más claramente emergen los desajustes entre ambos esquemas.

Por ejemplo: la demanda de pescado de los países con más recursos, capaces de subsidiar una flota pesquera que faena a grandes distancias, podría cubrirse a costa de sobreexplotar pesquerías en países con economías más modestas, lo que pondría en riesgo no solo la actividad pesquera local de esos países, sino incluso la seguridad alimentaria de la región. O podría ocurrir que fuentes de proteína animal con un alto precio de mercado, como ciertas especies de pescado cultivadas o el ganado, estuvieran siendo alimentadas con harinas fabricadas con pescado apto para consumo humano y con un alto valor nutricional.

Ambos tipos de situaciones se dan en la realidad. Organismos internacionales, liderados por científicos de prestigio, alertan de que estas prácticas no son recomendables, si lo que se busca es aprovechar con la máxima eficacia un recurso finito y, en última instancia, garantizar el alimento a toda la humanidad.

Sobrevolando el escenario está el factor ambiental, el impacto de las pesquerías sobre los ecosistemas. Por mucho que los consumidores en el mundo desarrollado puedan pagar el pescado llegado de muy lejos, los costes ambientales raramente se contabilizan. Incluso si se tuvieran en cuenta, no hay acuerdo sobre si es posible pagarlos: ¿hasta qué punto es reversible la pérdida de biodiversidad? ¿Se recuperan las poblaciones sobreexplotadas?

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), en 2015 el pescado proporcionó casi un 20 % del aporte medio de proteínas animales per cápita a unos 3.200 millones de personas. Los expertos aseguran que la producción de pescado debe seguir aumentando en el futuro, y que este objetivo debe lograrse haciendo frente a amenazas que ya están enseñando sus garras, como el cambio climático y la sobrepesca.



## 2. Disminución de la población mundial marina

La sobrepesca –capturar más cantidad de pescado de la que el ecosistema puede producir– no es un fenómeno nuevo. De hecho, ha sido considerada el primer gran impacto disruptor de la acción humana sobre ecosistemas costeros, en una secuencia en la que tras la sobrepesca se suceden, en orden cronológico, la contaminación, la destrucción del hábitat, la aparición de enfermedades y la introducción de especies invasoras, según descripción de Jeremy Jackson, del Instituto Scripps de Oceanografía de la Universidad de California, en una revisión publicada en la revista *Science* en 2001:

«La extinción ecológica producto de la sobrepesca precede a todas las demás alteraciones humanas de los ecosistemas costeros, incluyendo la contaminación, la pérdida de calidad del agua y el cambio climático de origen humano. Las abundancias históricas de las grandes especies de consumo eran fantásticamente grandes, en comparación con las observaciones recientes. Los datos históricos, paleoecológicos y arqueológicos muestran que los cambios en las comunidades ecológicas aparecieron entre décadas y siglos después de la aparición de la sobrepesca, porque especies de nivel trófico similar que no estaban siendo pescadas empezaron a asumir los roles ecológicos de las que sí sufrían sobrepesca, hasta que ellas también empezaron a sufrir sobrepesca [...]», escribe Jackson.

Jackson recurre a registros históricos y arqueológicos y paleoecológicos para concluir: «Contrariamente a la noción romántica del océano como última frontera, y a la supuestamente superior sabiduría ecológica de las sociedades no occidentales y precoloniales, nuestro análisis demuestra que la sobrepesca ha alterado de manera fundamental los ecosistemas marinos costeros durante cada uno de los periodos históricos examinados».

Este investigador reconoce, no obstante, que el impacto de los primeros pescadores era apenas una sombra de lo que es en la actualidad: «Los impactos humanos se están acelerando en su magnitud, ritmos de cambio, y en la diversidad de los procesos responsables de los cambios a lo largo del tiempo. Los cambios iniciales aumentaron la sensibilidad de los ecosistemas a las alteraciones posteriores, y sentaron así las bases del colapso del que estamos siendo testigos».

La FAO publica estadísticas de pesquerías globales desde 1950, documentando los desembarques pesqueros de más de un millar de especies acuáticas, tal como les han sido referidas por los países miembros. También el ICES (siglas de Consejo Internacional para la Explotación de los Mares) recaba datos de explotación del Atlántico noreste desde 1973.

En el año 2002 Rainer Froese, del Instituto de Investigación Marina en Kiel, Alemania, y Kathleen Kesner-Reyes, de la Universidad de Filipinas, hicieron una estimación global del impacto de la pesca sobre las especies marinas. Por entonces Froese llevaba más de una década al frente de *Fishbase*, la mayor base de datos digital sobre peces creada por él y por su colega Daniel Pauly en 1990, hoy convertida en una herramienta ecológica consultada y citada por numerosos investigadores, con información sobre unas 35.000 especies de peces.

Froese y Kesner-Reyes se basaron en los datos disponibles –de la FAO y del ICES– para clasificar el estado de 900 especies explotadas en las pesquerías. Establecieron varias categorías: subdesarrolladas, en desarrollo; en plena explotación; sobreexplotadas; en colapso; y clausuradas. Las últimas tres categorías se corresponden con un descenso en la abundancia de las especies.

Froese y Kesner-Reyes concluyeron que el porcentaje de especies sobreexplotadas apenas una década después de haberse iniciado la pesquería paso del 26 % en los años cincuenta, al 35 % en los ochenta. El número de especies con resiliencia baja o muy baja a la pesca se incrementó de 80 (26 %) en 1950 a 155 (32 %) en 1999. En el área cubierta por el ICES, el 46 % de las especies estaban sobreexplotadas una década después de haberse iniciado la explotación. A final de siglo, el 60 % de las especies explotadas debían ser clasificadas en las categorías de sobrepesca, colapso o clausura.

En España se conocen bien los efectos de la sobreexplotación pesquera. A mediados de la primera década del nuevo milenio se prohibió la pesca de anchoa en el Cantábrico, tras demostrarse que las capturas habían descendido hasta muy por debajo de lo considerado viable económica y ecológicamente. Si en los años sesenta se capturaban 80.000 toneladas al año, en 2005 ni siquiera se llegó a las 200 toneladas. Hacía años que los científicos alertaban del peligro de sobrepesca, y del colapso de las poblaciones si la actividad proseguía sin reducción alguna. Las reducidas capturas de 2005 y 2006 hicieron dudar incluso de la capacidad de recuperación del caladero.

Hoy en día, sin embargo, se constata que el cierre de la pesquería fue una medida positiva. Tras una moratoria de cinco años, entre 2005 y 2010, los informes científicos constatan que la anchoa del Cantábrico se ha recuperado. Un informe publicado en 2016 por el ICES, basado en los resultados de las campañas científicas realizadas por la entidad vasca AZTI-Tecnalia y el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (Ifremer, siglas en francés), estimaba la biomasa de la anchoa en casi cien mil toneladas, muy por encima del nivel de precaución, establecido en 33.000 toneladas.

El caso de la anchoa del Cantábrico confirma así una vez más que incluso los recursos en apariencia más abundantes deben ser gestionados de manera sostenible, y atendiendo a información contrastada.

### 3. La escala planetaria

La FAO publica cada dos años desde 1994 el informe SOFIA, siglas en inglés de ‘Estado Mundial de las Pesquerías y la Agricultura’, con información que le proporcionan los países. El último informe es del año 2018, y uno de sus resultados es que se ha producido un «impresionante crecimiento continuo del suministro de pescado para el consumo humano». Ese aumento en el consumo ha ido parejo a un aumento en la producción. La producción

pesquera mundial fue de unos 171 millones de toneladas en 2016, varios millones más que el año anterior y quince millones más que en 2011, solo cinco años antes.

Tabla 1. Producción y utilización de la pesca y la acuicultura en el ámbito mundial.  
En millones de toneladas\*

Categoría	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Producción</b>						
<i>Pesca de captura</i>						
Continental	10,7	11,2	11,2	11,3	11,4	11,6
Marina	81,5	78,4	79,4	79,9	81,2	79,3
<b>Total pesca de captura</b>	<b>92,2</b>	<b>89,5</b>	<b>90,6</b>	<b>91,2</b>	<b>82,7</b>	<b>90,9</b>
<i>Acuicultura</i>						
Continental	38,6	42,0	44,8	46,9	48,6	51,4
Marina	23,2	24,4	25,4	26,8	27,5	28,7
<b>Total de la acuicultura</b>	<b>61,8</b>	<b>66,4</b>	<b>70,2</b>	<b>73,7</b>	<b>76,1</b>	<b>80,0</b>
<b>Total de la pesca y acuicultura mundial</b>	<b>154,0</b>	<b>156,0</b>	<b>160,7</b>	<b>164,9</b>	<b>167,7</b>	<b>170,9</b>
<b>Utilización<sup>a</sup></b>						
Consumo humano	130,0	136,4	140,1	144,8	148,4	151,2
Usos no alimentarios	24,0	16,6	20,6	20,0	20,3	19,7
Población (miles de millones) <sup>b</sup>	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4
Consumo aparente per cápita (kg)	18,5	19,2	19,5	19,9	20,2	20,3

\* *Excluidos los mamíferos acuáticos, cocodrilos, lagartos y caimanes, las algas y otras plantas acuáticas.*

<sup>a</sup> *Los datos utilizados, correspondientes al período 2014-2016, son estimaciones provisionales.*

<sup>b</sup> *Fuente de las cifras de población: Naciones Unidas (2015e).*

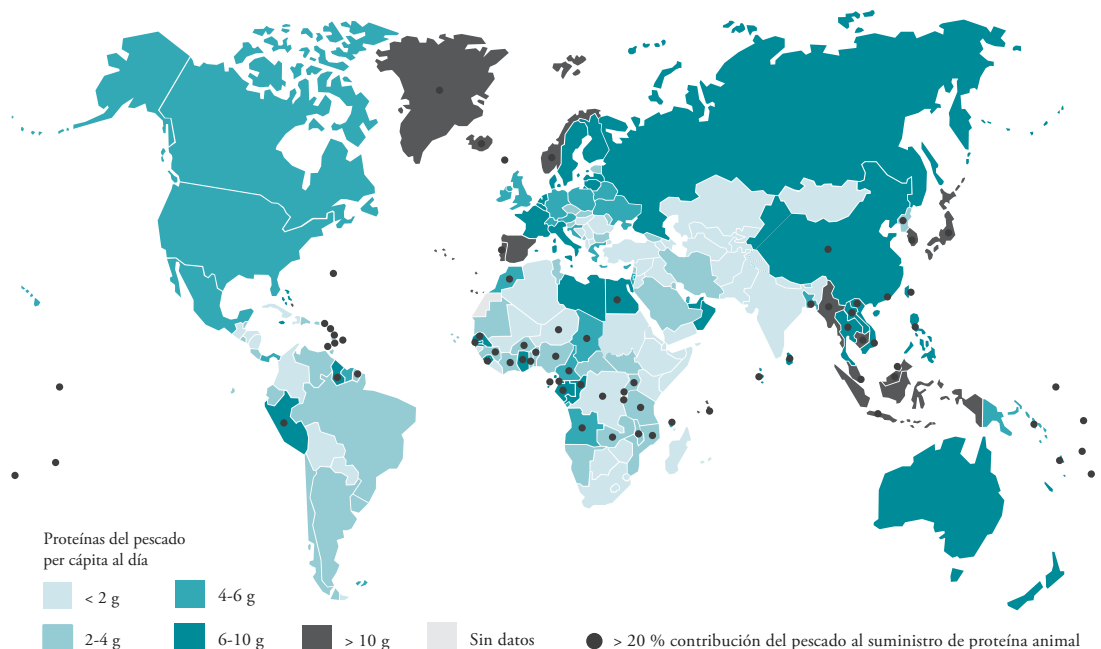
Fuente: FAO (2018).

Entre 1961 y 2016, el aumento anual medio del consumo mundial de pescado (23,2 %) superó al crecimiento de la población (1,6 %), y también al de la carne –de todos los animales terrestres juntos– (2,8 %). El consumo de pescado comestible aumentó de 9 kg per cápita en 196, a 20,2 kg en 2015. Las estimaciones para 2016 y 2017 apuntan a un nuevo aumento.

Eso significa que en la actualidad el pescado es la fuente del 17 % de las proteínas animales consumidas por la población mundial. El pescado es además un alimento muy nutritivo, especialmente importante en países pobres con graves déficits nutricionales. En general, en las dietas de la población de países en desarrollo la proporción de proteína procedente del pescado es mayor que en las dietas de la población de países desarrollados. El pescado aporta al menos

la mitad de las proteínas que consume la población de Bangladesh, Camboya, Gambia, Ghana, Indonesia, Sierra Leona, Sri Lanka y algunos pequeños Estados insulares.

Figura 1. Contribución del pescado al suministro de proteínas animales.  
Promedio del período 2013-2015



\* La frontera definitiva entre Sudán y Sudán del Sur aún no se ha determinado.

Fuente: FAO (2018).

Se diría que el aumento en la producción y consumo global de pescado son datos positivos, en tanto que oferta y demanda parecen progresar de manera equilibrada. Sin embargo, esa información desnuda no responde a muchas de las preguntas consideradas cruciales de cara al futuro. Saber si la producción de pescado podrá seguir aumentando lo bastante como para cubrir el aumento de la demanda mundial exige desmenuzar los datos de producción y consumo en las múltiples variables con que han sido contruidos.

Un primer aspecto para considerar es el origen del pescado consumido. Cada vez más el pescado que llega al plato no tiene un pasado de vida en libertad, sino que procede de la acuicultura. En concreto, según el informe SOFIA, de los 171 millones de toneladas de pescado producidas en 2016 la acuicultura representó un 47 % del total. Porque ya desde finales de la década de 1980 la pesca de captura se ha estabilizado o reducido, mientras que «la acuicultura ha sido la desencadenante del impresionante crecimiento continuo del suministro de pescado para el consumo humano», señalan los autores de SOFIA.

Otros datos para tener en cuenta son los relativos a la sostenibilidad de las pesquerías mundiales. El estado de los recursos pesqueros marinos, según el seguimiento realizado por la FAO de las poblaciones de peces marinos evaluadas, ha seguido empeorando.

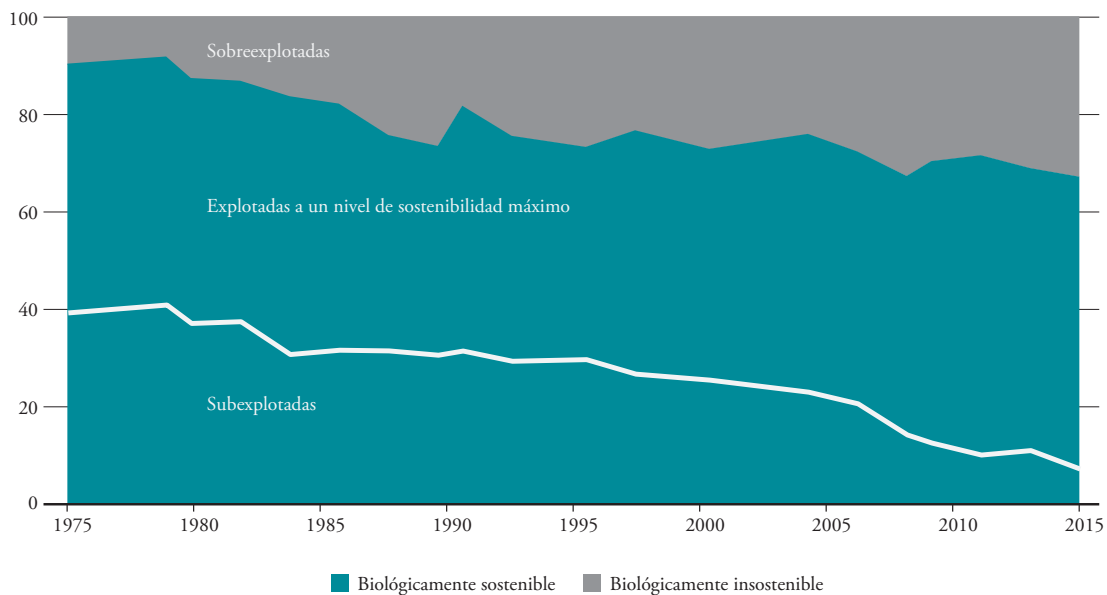
Tabla 2. Producción de la pesca de captura: principales zonas de pesca de la FAO

Código del caladero	Nombre del caladero	Producción (toneladas)			Variación (%)		Variación 2015/16 (toneladas)
		Promedio (2005/14)	2015	2016	Promedio (2005/14)-2016	2015/16	
<b>Continental</b>							
01	África - aguas continentales	2.609.727	2.804.629	2.863.916	9,7	2,1	59.281
02	América, norte - aguas continentales	178.896	207.153	260.785	45,8	25,9	53.632
03	América, sur - aguas continentales	384.286	362.670	340.804	-11,3	-,60	-21.866
04	Asia - aguas continentales	6.959.783	7.584.414	7.708.776	10,8	1,6	124.362
05	Europa - aguas continentales*	373.523	431.179	440.790	18,0	2,2	9.611
06	Oceanía - aguas continentales	17.978	18.030	17.949	-,02	-,04	-81
<b>Marina</b>							
21	Atlántico, noroccidental	2.041.599	1.842.787	1.811.436	-11,3	-1,7	-31.351
27	Atlántico, nororiental	8.654.911	9.139.199	8.313.901	-3,9	-9,0	-825.298
31	Atlántico, centro-occidental	1.344.651	1.414.318	1.563.262	16,3	10,5	148.944
34	Atlántico, centro-oriental	4.086.911	4.362.180	4.795.171	17,3	9,9	432.991
37	Mediterráneo y mar Negro	1.421.025	1.314.386	1.236.999	-13,0	-5,9	-77.387
41	Atlántico sudoccidental	2.082.248	2.427.872	1.563.957	-24,9	-35,6	-863.915
47	Atlántico sudoriental	1.425.775	1.677.969	1.688.050	18,4	0,6	10.081
51	Océano Índico occidental	4.379.053	4.688.848	4.931.124	13,9	5,2	242.276
57	Océano Índico oriental	5.958.972	6.359.691	6.387.659	7,2	0,4	27.968
61	Pacífico noroccidental	20.698.014	22.057.759	22.411.224	7,7	1,6	353.465
67	Pacífico nororiental	2.871.126	3.164.604	3.092.529	7,7	-2,3	-72.075
71	Pacífico centro-occidental	11.491.444	12.625.068	12.742.955	10,9	0,9	117.887
77	Pacífico centro-oriental	1.881.996	1.675.065	1.656.434	-12,0	-1,1	-18.631
81	Pacífico sudoccidental	613.701	551.534	474.066	-22,8	-14,0	-77.468
87	Pacífico sudoriental	10.638.882	7.702.885	6.329.328	-40,5	-17,8	-1.373.557
18, 48, 58, 88	Zonas árticas y antárticas	188.360	243.677	278.753	48,0	14,4	35.076
<b>Total mundial</b>		<b>90.302.377</b>	<b>92.655.917</b>	<b>90.909.868</b>	<b>0,7</b>	<b>-1,9</b>	<b>-1.746.049</b>

\* Incluye la Federación de Rusia.

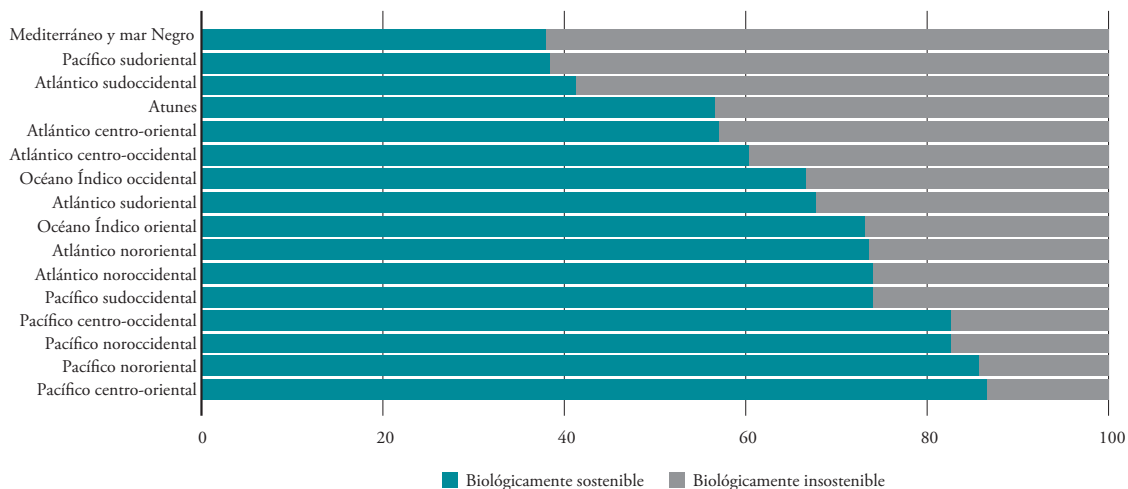
Fuente: FAO (2018).

Gráfico 1. Tendencias mundiales de la situación de las poblaciones marinas (1974-2015).  
En porcentaje



Fuente: FAO (2018).

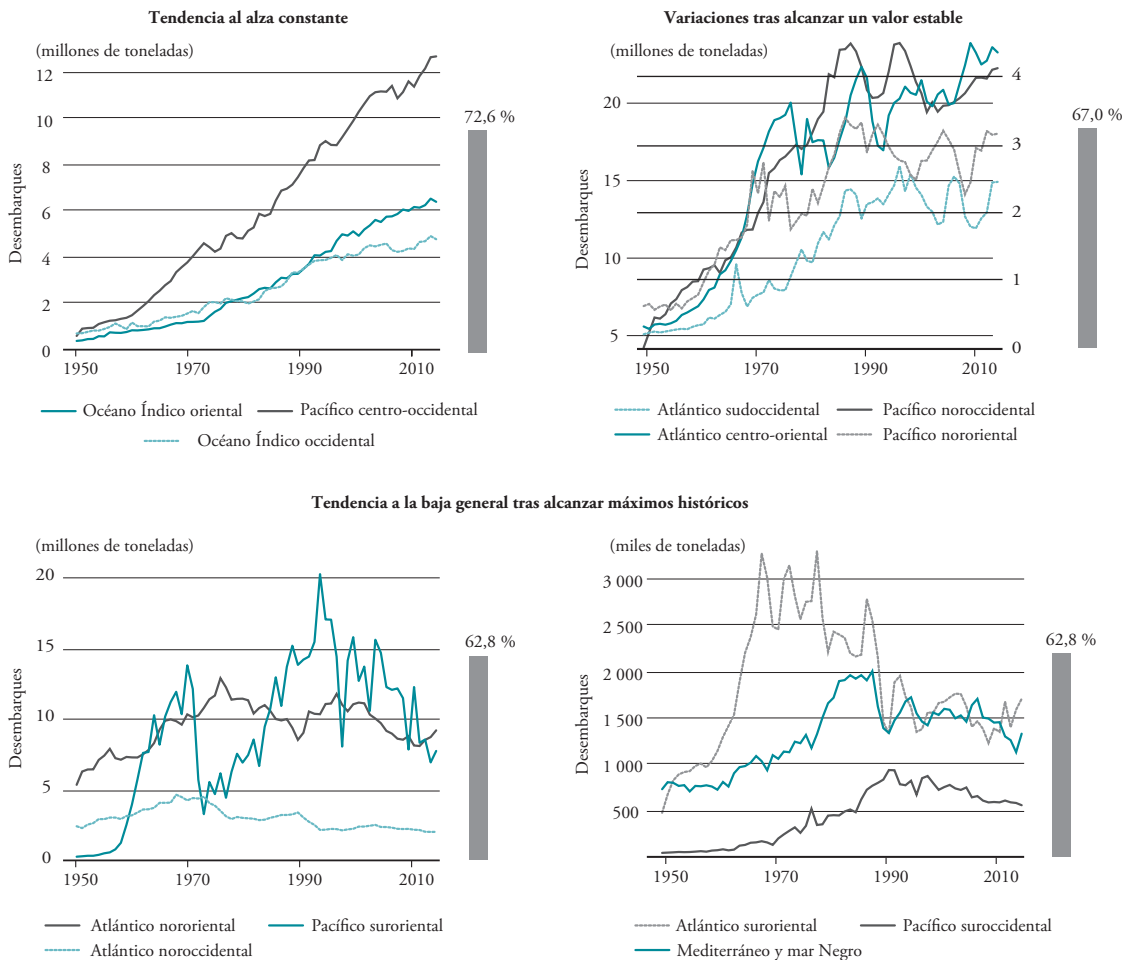
Gráfico 2. Porcentajes de poblaciones explotadas a niveles biológicamente sostenibles e insostenibles por área estadística de la FAO (2015)



\* Las poblaciones de atunes se especifican por separado debido a que son en su mayoría migratorias y traspasan áreas estadísticas.

Fuente: FAO (2018).

Gráfico 3. Los tres patrones temporales de los desembarques de pescado (1950-2015)



\* La barra gris muestra el porcentaje de poblaciones explotadas a niveles biológicamente sostenibles.

Fuente: FAO (2018).

La proporción de las poblaciones de peces marinos explotadas a un nivel biológicamente sostenible ha pasado del 90,0 % en 1974, al 66,9 % en 2015. En cambio, el porcentaje de poblaciones explotadas a niveles biológicamente insostenibles se incrementaron del 10 % en 1974 al 33,1 % en 2015. Los mayores aumentos se registraron a finales de los años 70 y los 80.

Dentro de lo que se considera explotación biológicamente sostenible están las poblaciones explotadas a un nivel máximo y las subexplotadas, en las que aún se podría pescar más sin poner en riesgo la sostenibilidad de la población. En 2015 las primeras representaban el 59,9 % del total, mientras que únicamente el 7 % del total de poblaciones evaluadas estaban subexplotadas.

Esta última categoría es la que señala las posibilidades de crecimiento de la producción de pescado –si la presión pesquera se sigue concentrando sobre las mismas especies que hoy en día–. Las perspectivas no son muy halagüeñas: las poblaciones subexplotadas se redujeron de forma constante de 1974 (39,23 %) a 2015 (7,09 %).

Para Manuel Berange, director de la división de Pesquerías y Acuicultura de la FAO, el problema de la sostenibilidad es sin duda «el elefante en la habitación [...]». Por desgracia, el porcentaje de las pesquerías que sufren sobrepesca sigue aumentando, y está siendo difícil estabilizar esa cifra».

En una intervención en 2017, en un congreso sobre cambio climático ante el *Artic Circle Secretariat*, Berange comentaba: «La FAO tiene el objetivo de combatir la pobreza y mantener la biodiversidad. Estos objetivos se contradicen entre sí. Por primera vez la FAO ha tenido que comunicar que el número de personas desnutridas ha aumentado el año pasado. Esto ha ocurrido tras muchos años de descenso. Las razones del aumento son dos: el cambio climático y los conflictos políticos. El resultado es que ahora tenemos 800 millones de personas desnutridas, y el objetivo de la FAO y de Naciones Unidas es que esta cifra se reduzca. Para 2050 debemos ser capaces de producir un 50 % más de alimentos de los que producimos ahora».

Berange recordó que ninguno de los grandes desafíos a que se enfrenta la humanidad en las próximas décadas «es mayor que alimentarnos a todos», y resaltó la importancia de los recursos marinos para lograr ese objetivo. «Debemos pensar en los recursos de manera diferente», señaló. «No hay mucho más que podemos hacer para aumentar la cantidad de proteína producida en los continentes, en la tierra, sin destruir grandes extensiones de hábitats naturales que deben ser protegidos; así que si necesitamos alimentar el mundo debemos encontrar mecanismos mejores para obtener más proteínas procedentes del océano», pero hacerlo de manera sostenible.

Pero sostenibilidad implica gestión, y gestión, en el caso de los recursos marinos, implica una estrecha cooperación internacional y herramientas de control. De hecho, el mismo informe SOFIA muestra cómo un escenario con gestión efectiva se traduce en una actividad pesquera más sostenible.

«Empezamos a ver muy claramente la diferencia entre lo que ocurre en el mundo desarrollado y lo que ocurre en el mundo en desarrollo», comentó Berange. «En los países desarrollados el esfuerzo se ha ido reduciendo en los últimos 15 años, y como resultado las capturas han disminuido porque ejercemos más control y la biomasa está aumentando; pero en los países en desarrollo el esfuerzo sigue creciendo». En su opinión, «la cooperación internacional y las políticas internacionales tendrán un papel crucial, si queremos que la pesca sea una fuente de alimentación para el mundo».

Antes de analizar la evolución de las capturas; qué pesquerías son sostenibles y cuáles no; y si la acuicultura es realmente la respuesta a la creciente demanda de alimentos, hagamos un repaso a cómo se gestiona a escala planetaria un recurso que nada en un territorio sin fronteras.



## 4. ¿De quién es el mar?

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CDM, o también CONVEMAR o CNUDM), considerada una especie de *Constitución de los océanos*, se aprobó en 1982 en Nueva York y entró en vigor en 1994, tras haber sido firmada por 60 países. Hasta mediados del siglo XX había prevalecido la doctrina del océano como territorio libre; cuando los países empezaron a temer por un reparto equitativo de recursos –flotas más potentes, capaces de pescar muy lejos de sus países de origen– emergió la necesidad de un acuerdo internacional.

La Convención sobre el Derecho del Mar establece que a cada país ribereño corresponde una franja de actividad económica exclusiva de 200 millas de extensión –370 kilómetros–. El tratado da derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, tanto vivos como no vivos de las aguas suprayacentes al lecho y del lecho y el subsuelo del mar, y con respecto a otras actividades con miras a la exploración y explotación económica de la zona, tal como la producción de energía derivada del agua de las corrientes y de los vientos.

En general, como afirma la Organización Marítima Internacional, la Convención «establece un exhaustivo régimen de ley y orden en los océanos y mares del mundo, emanando reglas que rigen todos los usos posibles de los océanos y sus recursos».

Pero por supuesto para la gestión de los recursos pesqueros del planeta no basta con un único tratado. Qué, cuánto, dónde y cómo debe pescar cada país sigue siendo uno de los principales temas de la conversación global. Llegar a acuerdos satisfactorios para todas las partes exige poner en marcha una maquinaria compleja en la que intervienen científicos, técnicos y responsables políticos, y que es, en definitiva, un sistema de gobernanza pesquero que funciona de manera estándar en todo el mundo.

La FAO ha dividido el mar en áreas estadísticas, en las que existe una organización regional de pesca o similar que explota los recursos de esa jurisdicción. En cada área hay, por lo general, una comisión formada por responsables de los países miembros, más un comité científico integrado por investigadores de cada uno de los países implicados; estos científicos se dividen además en distintos grupos de trabajo.

El caso europeo es de los más complejos. Las competencias de Pesca de la Unión Europea (UE) corresponden a la Comisión Europea, que cuenta con el ICES como organismo independiente asesor. El ICES, creado a principios del siglo XX como organismo internacional, está estructurado en 150 grupos de trabajo que evalúan periódicamente el estado de cada población, atendiendo a parámetros acordados previamente y cuyas mediciones se recogen de manera estandarizada.

Para llevar a cabo las evaluaciones los grupos de trabajo recurren a modelos matemáticos de distinto grado de sofisticación, cuyos resultados son a su vez analizados por otros investigadores externos independientes –según el consolidado sistema científico de revisión por pares–.

Tras múltiples revisiones internas dentro del ICES, estos informes se remiten al comité científico-técnico de pesca de la Comisión Europea, formado por investigadores independientes de los países miembros que de nuevo analizan los resultados y, si corresponde, los envían a los órganos administrativos de la Comisión. En su momento la información llegará a los responsables políticos y, en última instancia, al consejo de ministros de Pesca de la UE, que tiene lugar en diciembre y donde se asignan las cuotas a cada país.

Por supuesto, nada de lo anterior sería posible si no existiera también un sistema riguroso y estandarizado de toma de datos. En el caso de Europa es la administración comunitaria la que financia a los estados miembros la recogida de datos básicos, es decir, los estrictamente necesarios para hacer las evaluaciones –acordados previamente con el máximo de precisión: desde qué poblaciones hay que evaluar hasta cuáles son las medidas en cada individuo, y cuántas y con qué frecuencia deben realizarse–.

En España, los datos de captura y esfuerzo pesquero –el esfuerzo invertido en términos de barcos, artes de pesca, tiempo– los proporciona la Secretaría General de Pesca. Este organismo obtiene la información de los cuadernos de pesca de cada patrón, que debe rellenar diariamente un diario de pesca electrónico. Pero además el Instituto Español de Oceanografía (IEO) contabiliza datos de captura y esfuerzo de manera independiente desde 1920, a partir de controles en los puertos de desembarco y con información de otras fuentes, como asociaciones de productores. La amplia extensión temporal de las series, y la doble contabilidad, contribuyen a garantizar la calidad de la información estadística.

Al IEO corresponde también la obtención de los datos biológicos. Los expertos del Instituto toman muestras periódicamente con sus propios barcos, y también envían a los barcos de pesca observadores que registran no solo las capturas de especies comerciales que se quedan a bordo, sino de todo lo que se pesca y es devuelto al mar.

Los datos de captura y esfuerzo, junto con los biológicos, son los que emplea el ICES para alimentar los modelos matemáticos que hacen las evaluaciones. «Los modelos han mejorado mucho», afirma Eduardo Balguerías, director del IEO. «Los matemáticos tienen cada vez más conocimiento acerca de la biología, y a la inversa. Los modelos son más fiables porque se adaptan mejor a la realidad biológica, y porque cada vez hay más datos. Nuestros barcos van todos los años a las mismas zonas, y así obtenemos datos independientes de la pesca que ayudan a ajustar el modelo».

Los modelos evalúan el estado de cada población y emiten recomendaciones sobre cuánto se debe pescar y en qué plazo de tiempo, si se aspira a la sostenibilidad del recurso. Se asigna además un valor de confianza al resultado, de manera que si se estima un margen de error alto, las recomendaciones de gestión deben ser más precautorias.

«El sistema es muy transparente y completo», afirma Balguerías. En su opinión, las pesquerías europeas «cada vez están mejor gestionadas y en mejores condiciones», una situación muy relacionada con el hecho de basar las decisiones en la evidencia científica. «Para que se

adopten las recomendaciones de los científicos tiene que haber voluntad política», señala Balguerías. «Hace ya años que la Comisión Europea se ha puesto seria en este aspecto».

Europa parece haber aprendido de situaciones como la ocurrida con la anchoa del Cantábrico. Para Balguerías, los consejos de ministros europeos de Pesca ya no son meras reuniones de toma y daca políticas, y la sostenibilidad es un objetivo real: «La Comisión Europea aplica su política de pesca tanto a sus aguas como a aquellas donde pesca; para llegar a acuerdos de pesca con otros países la Comisión tiene que estar segura de que en esas aguas los recursos se gestionan de manera sostenible».

Aunque en todo el mundo la estructura del sistema de gobernanza es similar, los expertos reconocen que el rigor y los recursos para aplicarlo varían de manera sustancial. De hecho, en los últimos dos años el porcentaje anual de países que no presentaron informes a la FAO sobre sus capturas aumentó del 20 % al 29 % –según el informe SOFIA–. Eso no contribuye a la mejora del estado de las pesquerías.

## 5. Las especies que nos alimentan

En 2016 la pesca de captura extrajo del medio natural 90,9 millones de toneladas de pescado, lo que supone una disminución respecto a los dos años precedentes. La especie más pescada fue el abadejo de Alaska (*Theragra chalcogramma*), un pez de la familia del abadejo común que se pesca sobre todo en el mar de Bering y es de los más usados para fabricar palitos de cangrejo, y en restaurantes de comida rápida.

Le sigue en el *ranking* la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), que vive frente a las costas de Perú y Chile y cuya producción depende fuertemente de la corriente cálida periódica de El Niño –los años de El Niño hay menos anchoveta; entre 2015 y 2016 las capturas se redujeron más de un 25 %–. La mayor parte de los millones de toneladas de anchoveta que se pescan cada año se destinan a la fabricación de harinas de pescado, y de hecho Perú y Chile son los principales productores mundiales de estas harinas usadas sobre todo para fabricación de piensos animales. En las últimas décadas, no obstante, se está promoviendo el consumo humano directo de anchoveta, en lo que supone un uso más eficiente de un recurso muy rico en proteína de alta calidad y en valiosos ácidos grasos.

El bonito listado (*Katsuwonus pelami*), comúnmente llamado bonito, por séptimo año consecutivo ocupa el tercer puesto como especie más pescada. Es una especie migratoria que suele llegar a Canarias en primavera-otoño, de las más usadas en conservas –la clásica lata de atún–.

El cuarto puesto es para la sardinela atlántica (*Sardinella aurita*), que constituye la base de numerosas pesquerías en el Atlántico centro-oriental, tanto en pequeña escala como industriales. Las capturas de esta especie en 2015 se situaron en unas 200.000 toneladas, y el promedio de capturas en los últimos cinco años ha experimentado un descenso en comparación con los cinco años anteriores. Algunas de las poblaciones de esta especie se han considerado sobreexplotadas.

Tabla 3. Producción de la pesca de captura marina: especies y géneros principales

Código científico	Nombre de la FAO en español	Producción (toneladas)			Variación (%)		Variación 2015/16 (toneladas)
		Producción (2005/14)	2015	2016	Variación (2005/14)-2016	2015/16	
<i>Theragra chalcogramma</i>	Colín de Alaska	2.952.134	3.372.752	3.476.149	17,8	3,1	103.397
<i>Engraulis ringens</i>	Anchoveta (del Perú)	6.522.544	4.310.015	3.192.476	-51,1	-25,9	-1.117.539
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Listado	2.638.124	2.809.954	2.829.929	7,3	0,7	19.975
<i>Sardinella</i> spp.*	Sardinelas <i>nep</i>	2.281.285	2.238.903	2.289.830	0,4	2,3	50.927
<i>Trachurus</i> spp.*	Jurel de altura y jurel <i>nep</i>	2.463.428	1.738.352	1.743.917	29,2	0,3	5.565
<i>Clupea harengus</i>	Arenque del Atlántico	2.111.101	1.512.174	1.639.760	-22,3	8,4	127.586
<i>Scomber japonicus</i>	Estornino del Pacífico	1.454.794	1.484.780	1.598.950	9,9	7,7	114.170
<i>Thunnis albacares</i>	Rabil	1.219.326	1.356.883	1.462.540	19,9	7,8	105.657
<i>Gadus morhua</i>	Bacalao del Atlántico	995.853	1.303.726	1.329.450	33,5	2,0	25.724
<i>Engraulis japonicus</i>	Anchoita japonesa	1.323.022	1.336.218	1.304.484	-1,4	-2,4	-31.734
<i>Decapterus</i> spp.*	Macarelas <i>nep</i>	1.394.772	1.186.555	1.298.914	-6,9	9,5	112.359
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardina europea	1.098.400	1.174.611	1.281.391	16,7	9,1	106.780
<i>Trichiurus lepturus</i>	Pez sable	1.315.337	1.269.525	1.280.214	-2,7	0,8	10.689
<i>Micromesistius poutassou</i>	Bacaladilla (=poutassou)	1.054.918	1.414.131	1.190.282	12,8	-15,8	-223.849
<i>Scomber scombrus</i>	Caballa del Atlántico	822.081.1	247.666.1	138.053	38,4	-8,8	-109.613
<i>Scomberomorus</i> spp.*	Carites <i>nep</i>	889.840	903.632	918.967	3,3	1,7	15.335
<i>Dosidicus gigas</i>	Jibia gigante	855.602	1.003.774	747.010	-12,7	-25,6	-256.764
<i>Nemipterus</i> spp.*	Bagas <i>nep</i>	541.470	629.062	683.213	26,2	8,6	54.151
<i>Brevoortia patronus</i>	Lacha escamuda	464.165	536.129	618.719	33,3	15,4	82.590
<i>Sprattus sprattus</i>	Espadín europeo	567.697	677.048	584.577	3,0	-13,7	-92.471
<i>Portunus trituberculatus</i>	Jaiba gazami	414.034	560.831	557.728	34,7	-0,6	-3.103
<i>Acetes japonicus</i>	Camaroncillo akiami	582.763	543.992	531.847	-8,7	-2,2	-12.145
<i>Sardinops enanostictus</i>	Sardina japonesa	257.346	489.294	531.466	106,5	8,6	42.172
<i>Scomber colias</i>	Estornino del Atlántico	314.380	467.796	511.618	62,7	9,4	43.822
<i>Rastrelliger kanagurta</i>	Caballa de la India	324.049	498.149	499.474	54,1	0,3	1.325
<b>Total de 25 especies y géneros principales</b>		<b>34.858.465</b>	<b>34.065.952</b>	<b>33.240.958</b>	<b>-4,6</b>	<b>-2,4</b>	<b>-824.994</b>
<b>Total de las otras 1.566 especies</b>		<b>44.919.716</b>	<b>47.181.890</b>	<b>46.035.890</b>	<b>2,5</b>	<b>-2,4</b>	<b>-1.146.000</b>
<b>Total mundial</b>		<b>79.778.181</b>	<b>81.247.842</b>	<b>79.276.848</b>	<b>-0,6</b>	<b>-2,4</b>	<b>-1.970.994</b>
<b>25 especies y géneros principales (%)</b>	<b>43,7</b>	<b>41,9</b>	<b>41,9</b>				

\* Las capturas de especies únicas se han añadido a las capturas declaradas a nivel de género, cuando este último representa al menos un 30 % del total para todo el género.

*nep*: no especificados en otra parte.

Fuente: FAO (2018).

El elenco de la decena de especies con los mayores desembarques entre 1950 y 2015 se completa con el arenque del Atlántico (*Clupea harengus*), el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), el estornino del Pacífico (*Scomber japonicus*), el jurel chileno (*Trachurus murphy*), la sardina japonesa (*Sardinops melanostictus*), la sardina sudamericana (*Sardinops sagax*) y el capelán (*Mallotus villosus*).

En 2015 el estado de explotación de estas especies, según la edición de 2018 del informe SOFIA, es mejor que la media, puesto que el 77,4 % de las poblaciones estaban explotadas a niveles biológicamente sostenibles —frente a la media de 66,9 % de todas las poblaciones—. Para los autores del informe, este dato «refleja el hecho de que las grandes pesquerías atraen una mayor atención en la formulación de políticas y la aplicación de la ordenación».

No hay, no obstante, mucho margen para el optimismo, puesto que el jurel chileno, el bacalao del Atlántico y el capelán sí registraron altos porcentajes de poblaciones sobreexplotadas. Además, en algunos casos sobreexplotar poblaciones puede suponer poner en riesgo un recurso de gran importancia para la seguridad alimentaria local, como es el caso de la sardinella en algunos países africanos.

En general, en casi todas las áreas de la FAO se registra una disminución de las capturas, un síntoma que puede ser indicio de la sobreexplotación del recurso. Salvo el Pacífico noroccidental, el área de pesca más productiva, «todas las otras zonas han mostrado tendencias a la baja durante varios años», indican los autores de SOFIA.

El Mediterráneo y el mar Negro son las áreas que en 2015 registraron el mayor porcentaje (62,2 %) de poblaciones explotadas de manera insostenible. El tercer lugar lo ocupa el Pacífico sudoriental (61,5 %), y sigue el Atlántico sudoccidental (58,8 %).

En el Mediterráneo y el mar Negro, la merluza (*Merluccius merluccius*), el salmonete (*Mullus spp.*), el rodaballo (*Psetta maxima*), el lenguado común (*Solea vulgaris*) y el dentón (*Pagellus spp.*) están sobreexplotados, al igual que pequeñas especies pelágicas como el boquerón (*Engraulis encrasicolus*) y la sardina. La mayoría de las poblaciones de sardinella (*Sardinella spp.*), camarón de aguas profundas (*Parapenaeus longirostris*, *Aristeus antennatus* y *Aristaeomorpha foliacea*) y cefalópodos «probablemente se encuentran explotados a un nivel de sostenibilidad máximo o sobreexplotados», según el informe SOFIA.

## 6. Malas noticias: podría ser peor

Como se ha visto, recabar los datos necesarios para llevar a cabo una buena gestión no es sencillo. No en todo el planeta hay información estandarizada de alta calidad, por falta ya sea de recursos o de voluntad política. Eso significa que las conclusiones de informes como SOFIA no están grabadas en piedra, y de hecho no todos los expertos coinciden con ellas. Uno de los críticos más activos es el prestigioso biólogo marino Daniel Pauly, de la Universidad British

Columbia, en Canadá, autor de más de un millar de publicaciones científicas y creador de la enciclopedia online *Fishbase* ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)) y de la organización *Sea Around Us*.

Pauly ha liderado el desarrollo de nuevos métodos de recogida de datos sobre pesquerías en todo el mundo, así como modelos para evaluar el grado de explotación de poblaciones y hacer estimaciones. A principios de la década de los 2000 los expertos de *Sea Around Us* alertaron de que China –con diferencia el principal productor mundial de pescado– estaba sobreestimando sus capturas. Las estimaciones de *Sea Around Us*, tras corregir los datos de China, apuntaban a un descenso en las capturas globales ya desde finales de los años ochenta.

Más recientemente, en 2016, de nuevo los datos recabados por *Sea Around Us* dibujaron un panorama mucho más oscuro, en lo que respecta a la sostenibilidad de la pesca mundial, del descrito por el informe SOFIA de ese año. Entre 1950-2010, según las estimaciones de *Sea Around Us*, las capturas globales fueron hasta un 50 % mayor de las estimaciones oficiales, pero después de un pico a mediados de los años noventa se produjo un descenso que también es mucho más acusado de lo estimado por la FAO. Pauly y Zeller escribían en la revista *Nature Communications* en 2016: «Sugerimos que en realidad las capturas alcanzaron un máximo de 130 millones de toneladas, y que desde entonces se están reduciendo a un ritmo mucho más acelerado. [Esta disminución] refleja el descenso en las capturas industriales (...) a pesar de que la pesca industrial se ha desplazado de los países industrializados a las aguas de los países en desarrollo».

En un artículo centrado en el reto de la nutrición a escala global, también en *Nature* en 2016, Zeller y otros expertos comentaban las estimaciones de *Sea Around Us*: «Las capturas marinas globales son alarmantes. Las estimaciones conservadoras de la FAO describen la evolución de las pesquerías globales como estable, aunque admiten que las capturas globales llevan desde 1996 disminuyendo en 0,38 millones de toneladas anuales. [*Sea Around Us* estima] un descenso en las capturas tres veces más rápido. Es probable que la degradación de los ecosistemas oceánicos siga avanzando, debido a prácticas pesqueras destructivas, a la polución industrial, al cambio climático y al uso de la costa para urbanización y acuicultura. Como resultado las capturas seguirán reduciéndose. Esto pone en duda la capacidad de las pesquerías para hacer frente a la futura demanda de pescado».

El último informe SOFIA, de 2018, ya admite un descenso acusado en las capturas globales. También reconoce la falta de transparencia en los datos proporcionados por países como China, muy importantes –dado su peso en el escenario global– para la buena calidad de las estimaciones: «En 2016, China declaró alrededor de 2 millones de toneladas procedentes de su «pesca en aguas distantes», pero proporcionó detalles sobre especies y zonas de pesca correspondientes solo a las capturas comercializadas en China [que son solo un cuarto del total]. Ante la falta de información, los 1,5 millones de toneladas restantes se ingresaron a la base de datos de la FAO en la categoría «peces marinos no incluidos en otra parte» de la zona de pesca correspondiente al Pacífico noroccidental, lo que posiblemente sobreestime las capturas en esa zona».

Pauly y sus colegas de *Sea Around Us* consideran que ha habido un cambio de tono en los informes de la FAO, ahora más ajustados a la realidad. En 2019 escribían en la revista *Marine Policy*: «Los últimos tres informes bianuales SOFIA daban la impresión de restar importancia a la realidad de que las capturas globales de las pesquerías marinas están disminuyendo. En cambio, [los autores de] SOFIA 2018 merecen ser felicitados por adoptar un tono diferente, y por identificar más directa y claramente las principales cuestiones que afectan a las pesquerías, entre ellas la reducción en las capturas globales y las deficiencias en los datos».

Pauly se alegra de que la FAO reconozca en su último informe la gravedad de los efectos del cambio climático y «los problemas relacionados con los subsidios a la gran flota pesquera de China». *Sea Around Us*, junto a otras organizaciones, alertan desde hace tiempo del riesgo de que las flotas de países con más recursos trasladen su actividad pesquera a países pobres, en virtud de acuerdos bilaterales poco transparentes y que a menudo no redundan en beneficios para la población local.

También reclaman políticas y acciones más efectivas contra la pesca ilegal –llamada oficialmente INDNR, siglas de ‘Ilegal, No Declarada y No Reglamentada’–, cuya erradicación es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se considera un logro en este sentido la firma del Acuerdo sobre medidas del Estado Rector del Puerto, que entró en vigor en 2016 y que en abril de 2018 contaba con 54 Partes, incluida la Unión Europea. El Acuerdo aspira a prevenir, desalentar y eliminar la pesca INDNR impidiendo que los buques que la practican utilicen puertos para desembarcar sus capturas.

Para la FAO, si los pescadores dedicados a la pesca INDNR explotan poblaciones vulnerables sometidas a estrictos controles de gestión o moratorias, no se conseguirá restablecer esas poblaciones a unos niveles saludables, amenazando la biodiversidad marina, la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen de los recursos pesqueros para la ingesta de proteínas y el medio de vida de las personas relacionadas con el sector.

## 7. ¿Es la acuicultura la solución?

En las últimas décadas la acuicultura ha ido aumentando cada vez más su contribución a la producción mundial de pescado, hasta llegar al 46,8 % en 2016 –a principios del siglo XXI apenas superaba el 25 %–. Como escriben los autores de SOFIA, «la acuicultura sigue creciendo más rápido que otros sectores principales de producción de alimentos, aunque ya no muestra las elevadas tasas de crecimiento anuales de las décadas de 1980 y 1990».

Y si bien es cierto que es la acuicultura la que ha hecho posible el aumento sostenido en la producción y el consumo de pescado, no está claro aún que esta actividad sea, en su estado actual, la solución al previsible aumento en la demanda. Una de las principales preguntas que se hacen los expertos atañe a su sostenibilidad: ¿es sostenible una actividad en la que para obtener un kg de pescado hay que pescar previamente varios kg también de pescado?

Según SOFIA, «entre 1995 y 2015, la producción de especies acuáticas cultivadas que dependían de piensos aumentó más del cuádruple [...], en gran parte gracias a la intensificación de los métodos de producción para los camarones, las tilapias, las carpas y los salmónidos». Hoy en día, más del 60 % del total de la producción mundial de acuicultura se basa en el uso de piensos fabricados a partir de otros peces cultivados y también de peces salvajes, algunos muy nutritivos y recomendados para el consumo humano. «Habida cuenta del aumento previsto de la producción acuícola, ¿son estas tendencias en el uso de los piensos sostenibles?», se preguntan los autores de SOFIA.

El caso de la anchoveta en Perú es ilustrativo. La anchoveta es la base de la alimentación de numerosas especies, como la corvina, el bonito, la merluza, el jurel o la caballa. También comen anchoveta delfines, ballenas, lobos marinos y aves marinas, entre ellas el pingüino de Humboldt, en estado crítico de conservación. Las grandes capturas de anchoveta necesariamente tienen un impacto en el ecosistema. Y los expertos alertan de que ese recurso ambientalmente costoso ni siquiera es aprovechado con la máxima eficiencia, dado que en vez de ser consumido directamente por la población –Perú tiene altos índices de desnutrición– es convertido en su mayoría en harina de pescado para piensos.

Patricia Majluf, de la organización no gubernamental Oceana en Perú, cree que es indispensable «promover una acuicultura más eficiente, en la que la alimentación de los peces en las granjas se base en piezas de pescado no utilizables para consumo humano. La población del planeta cada vez come más pescado, pero si se alimenta a las especies cultivadas con peces pequeños que también podemos comer directamente los humanos, el sistema no será eficiente».

De la misma opinión es *Sea Around Us*, que en 2017 publicó un estudio advirtiendo de que en los últimos 60 años, el 27 % de las capturas marinas han sido destinadas a usos distintos del consumo humano directo. «Esta tendencia no ha variado en los últimos años y plantea dudas en lo relativo a la seguridad alimentaria, puesto que la mayor parte de este pescado se considera apto para uso humano». Además, este pescado es capturado a menudo en aguas de países en desarrollo, «lo que aumenta la presión sobre sus poblaciones de peces y reduce el acceso de los habitantes a pescado fresco», dado que el pescado de acuicultura cultivado con harina de pescado capturado en esos países se consume en países desarrollados.

Los autores de SOFIA recuerdan que «muchas investigaciones se están orientando hacia novedosos alimentos para la acuicultura, incluidas fuentes microbianas de algas marinas e insectos, pero probablemente pasarán algunos años antes de que sean ampliamente difundidos y asequibles».





# LA ACUICULTURA COMO ACTIVO ECONÓMICO Y SOCIAL

*Francisco J. Espinós*

Universitat Politècnica de València. Director del Centro de Investigación ACUMA-UPV (Acuicultura y Medio Ambiente) y director científico de la RIIA-CV (Red de Innovación en Industrias Acuícolas de la Comunitat Valenciana)

## Resumen

La acuicultura debe hacer frente a una creciente demanda mundial de alimentos sanos y saludables. Dado que en las últimas décadas ha alcanzado un gran desarrollo tecnológico e industrial, en este capítulo se enfoca esta actividad como un activo importante tanto económico como social, haciendo hincapié en su estado actual así como en su evolución a nivel nacional y mundial, sus ventajas productivas, alternativas y retos futuros.

## Abstract

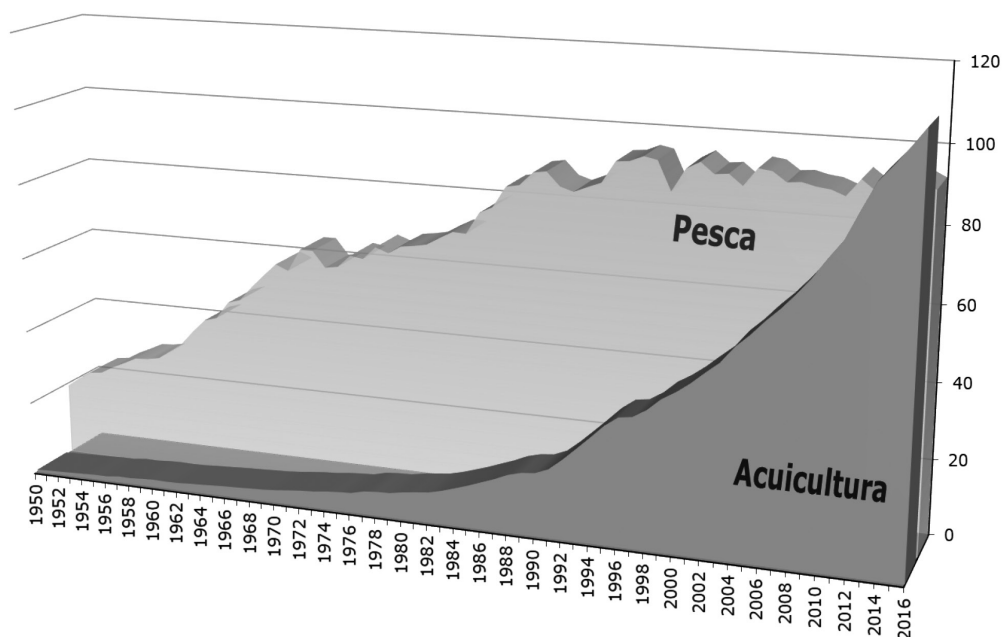
*Aquaculture faces a growing global demand for safe, healthy food. This chapter focuses on the importance of aquaculture as an economic and social asset which in recent decades has undergone rapid technological and industrial development, emphasising its current situation and growth in Spain and worldwide, its productive advantages, the alternatives, and future challenges.*

## 1. Introducción

La acuicultura es la actividad de producir animales y plantas en el medio acuático con técnicas enfocadas a mejorar su rendimiento. Su destino es, en general, la alimentación humana. En realidad, es una actividad similar a lo que en tierra firme son la ganadería y la agricultura. La producción mundial de acuicultura incluye la crianza de peces, crustáceos, algas, moluscos y otros invertebrados. Abarca muy variadas prácticas y una amplia gama de especies y de sistemas de producción. Los productos que pone en el mercado la acuicultura se parecen, en cierta medida, a los de la pesca extractiva, pero tanto la actividad productiva de la acuicultura como su modelo de negocio son sustancialmente diferentes a los de la pesca extractiva. Sin embargo, es usual en todo el mundo que las normativas que se le aplican a la acuicultura sean las mismas que las de la pesca extractiva, y que la actividad acuícola esté regulada por las mismas administraciones públicas que gestionan la pesca. Por otra parte, existe semejanza física

entre los productos de la acuicultura con los de la pesca, y coincide que ambos comparten los mismos canales de distribución. A pesar de ello, los productos de la acuicultura son de naturaleza diferente a los de la pesca. Una de sus características diferenciales es que los animales o algas producidos son siempre propiedad de alguna persona física o jurídica. Así, durante la duración del cultivo el acuicultor es capaz de mantener bajo su control a las especies cultivadas y a partir de ahí gestionar su crecimiento, su calidad, el estado veterinario, su sanidad y el momento de su óptima puesta en el mercado. La acuicultura no es un complemento de la pesca, a lo sumo puede considerarse su evolución natural, como la ganadería en su momento reemplazó a la caza, y la agricultura a la recolección de plantas silvestres. Sin embargo, es cierto que la acuicultura y la pesca deben hacer frente juntas a una creciente demanda mundial de alimentos sanos y saludables, pero la pesca alcanzó su techo productivo global en la última década del siglo XX mientras que la acuicultura seguirá creciendo vigorosamente, como lo hizo en la segunda mitad del siglo XX, durante todo el siglo XXI para contribuir al aseguramiento alimentario de la humanidad.

Gráfico 1. Evolución de la producción de acuicultura y pesca extractiva mundial en el periodo 1950-2016. En millones de toneladas



Fuente: elaborado por APROMAR a partir de datos de FAO.

## 2. Orígenes de la acuicultura

La acuicultura tiene una historia de casi 4.000 años, pero ha sido desde hace 50 cuando se ha convertido en una actividad socioeconómica relevante, dando empleo y sustento a más de 12 millones de familias en el mundo. Las primeras técnicas proto-históricas de acuicultura resultaron de la observación del comportamiento de los animales acuáticos y a partir de sistemas de pesca arcaicos en lagunas litorales o fluviales: los juveniles de ciertas especies de peces y crustáceos penetraban procedentes del mar, o de los ríos, en estos espacios y allí eran retenidos durante meses mientras engordaban para ser capturados posteriormente de manera sencilla con la ayuda de cercas o encañizadas. Estas técnicas, a medio camino entre la pesca y el cultivo fueron evolucionando progresivamente hacia una verdadera crianza.

Pero estos sistemas han variado de una civilización a otra, así como los objetivos del cultivo, ya fueran para consumo o por motivos ornamentales. Se tienen referencias de la práctica de piscicultura, es decir a la acuicultura de peces, en el antiguo Egipto, en el Imperio romano y en diferentes países de Asia. Las referencias más antiguas de acuicultura datan del año 3.500 a. C., en la antigua China. Aunque en Hawái se han descubierto vestigios de estanques utilizados para la estabulación o mantenimiento de peces que datan de tiempos prehistóricos. En el año 1.400 a. C., existían leyes de protección de la acuicultura frente a los ladrones de pescado en la región Indo-Pacífica. En un bajorrelieve egipcio del año 2.500 a. C. se representa a tilapias cultivadas en estanques. Pero se considera que la primera forma de acuicultura fue el cultivo de la carpa común en China, donde es una especie nativa. Esta especie fue posteriormente introducida en otros países de Asia y del Extremo Oriente por emigrantes chinos, y también hasta Europa occidental desarrollándose su cultivo durante la Edad Media en abadías y monasterios. En pueblos hindúes, persas y hebreos hay pruebas arqueológicas de que cultivaron peces en estanques específicamente diseñados y gestionados. Desde ellos la acuicultura se dispersó a muchos otros países.

En cuanto a la acuicultura de moluscos, se piensa que romanos, griegos y japoneses fueron los primeros en realizar el cultivo controlado de ostras. Aristóteles mencionó su cultivo en Grecia, y Plinio dejó referencias a la cría de ostras y de morenas, éstas últimas como peces ornamentales, por los romanos desde 100 años a. C. El cultivo de otros moluscos, como mejillones y almejas, surgió un tiempo después, aunque con técnicas similares tras constatarse la fijación y crecimiento de los mejillones en postes y estacas. En documentos eclesiásticos de la Edad Media se informa de la existencia en conventos y abadías de viveros donde se lograban mantener carpas, tencas y lucios aprovechando los cursos fluviales, aunque el cultivo consistía en el mero engorde y mantenimiento de los peces. Esto hace pensar en una provisión de pescado siempre fresco para cumplir con las obligaciones religiosas durante los periodos de Cuaresma.

En el siglo XVIII se consiguió en Francia el hito de la fecundación controlada de huevos de trucha. Durante el siglo siguiente, en Inglaterra se avanzó en el cultivo de peces planos y poco después los países del área nórdica hicieron lo mismo con los salmones. Los primeros trabajos de piscicultura en Estados Unidos se centraron en la propagación de salmónidos.

A partir del siglo XIX se establecieron viveros o criaderos de trucha arco iris en estaciones gubernamentales para la liberación de alevines en ríos, pero con el transcurso del tiempo el sector privado comenzó la producción comercial de estos peces para consumo. Lentamente, la práctica de la propagación de truchas arco iris para su liberación en aguas abiertas, o en fechas más recientes para su cría comercial, se difundió a las regiones templadas y semitempladas de todos los continentes.

La propagación del cultivo de tilapia, una especie nativa del continente africano, a numerosos otros países del mundo, constituyó un fenómeno notable. Su cultivo se extendió ampliamente, en particular en países tropicales en vías de desarrollo gracias a que fue reconocida por muchos como una forma sencilla de producir proteínas a bajo coste. Desde un punto de vista histórico, el último grupo de especies iniciadas en su cultivo para su explotación a gran escala fueron las algas marinas. Se considera que el primer documento sobre cultivo de algas marinas se publicó en Japón en 1952. Después de la Segunda Guerra Mundial, el cultivo de algas comestibles creció y se difundió considerablemente a otros países como Corea, Taiwán y China. Desde principios de la década de 1970 se considera que estaba dominada la cría completa de numerosas especies de moluscos, crustáceos, peces y algas.

### 3. Características de los productos de la acuicultura

En el marco de los productos que se obtienen del medio acuático, la acuicultura ofrece las mismas ventajas que la ganadería y agricultura aportan desde hace siglos al aprovisionamiento de animales y plantas en el ámbito terrestre. Pero, en este caso, estas condiciones llaman más la atención porque la transición generalizada desde la pesca hacia la acuicultura está aún teniendo lugar en el presente y a un ritmo más acelerado.

Conviene diferenciar entre las ventajas que la acuicultura ofrece a los clientes de las granjas productoras de las ventajas que interesan a los consumidores finales. Para los clientes de las granjas de acuicultura, es decir para los mayoristas de pescado, minoristas, supermercados y grandes superficies, la acuicultura ofrece la posibilidad de un aprovisionamiento constante de pescado, moluscos y crustáceos distribuido a lo largo de todo el año sin momentos de desabastecimiento, como los que ocurren con la pesca extractiva. Además, el precio, un elemento esencial para la cadena de valor, es en los productos de la acuicultura notablemente más estable ya que las granjas programan su producción para que pueda ser cosechada sobre pedido y distribuida a lo largo del año.

El control de la calidad es otra de las características de la acuicultura: durante los meses, o incluso años, que dura el periodo de cultivo de las especies es factible controlar todas las variables que afectan a la calidad de estas especies y alcanzar el momento de la cosecha con la calidad deseada. Por otra parte, esa calidad se mantiene homogénea a lo largo del año, sin fluctuaciones estacionales significativas. Además, dentro del concepto de calidad se deben considerar cuestiones relativas a los valores nutricionales y gastronómicos, pero también de

seguridad alimentaria que es controlada por la estricta vigilancia al que se somete a las producciones y que garantizan la salubridad del pescado en el momento de su cosecha. Esta calidad se ve respaldada por unos procesos de sacrificio y cosecha que ofrecen el máximo de calidad y la mayor vida útil del producto, ya que el pescado puede alcanzar las pescaderías a las pocas horas de la cosecha. Por último, la uniformidad de tallas con las que se cosecha permite una mejor definición de los productos, interesante también para la restauración, que cuenta así con similar materia prima en todo momento. Con todas estas propiedades, la relación contractual entre los acuicultores y sus clientes puede plasmarse en contratos de larga duración y no siempre sobre ventas puntuales sometidas a mayor volatilidad de precios. Por otra parte, a los consumidores finales de los productos, la acuicultura les permite acceder a pescados, moluscos, crustáceos y algas en cualquier momento del año, en óptimas condiciones y a precios asequibles. En resumen, los alimentos de origen acuático procedentes de la acuicultura pueden garantizar que han estado sometidos a controles veterinarios a lo largo de todo su ciclo de producción y, sobre todo, que ofrecen unos valores nutricionales muy superiores a los alimentos animales de origen terrestre, por ejemplo, con las grasas omega-3, proteínas de alto valor nutricional y oligoelementos únicos.

#### 4. Evolución de la acuicultura mundial

El progreso de la acuicultura ha sido impresionante a partir de mediados del siglo XX. En las últimas décadas ha destacado como la fuente de obtención de alimentos con más vigoroso crecimiento a nivel global. Esta realidad revela, no sólo la vitalidad de esta actividad como técnica productiva, sino sobre todo su capacidad de innovación, de emprendimiento y de aprovechamiento sostenible de los recursos disponibles. FAO considera que la acuicultura contribuye a la utilización más eficaz de los recursos naturales, a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico, con un limitado y controlable impacto sobre el medio ambiente.

Es por ello que el desarrollo de esta actividad continúa su avance y consolidación en el mundo, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Y, adicionalmente, como motor de desarrollo económico la actividad acuícola ya está contribuyendo, de manera importante y en numerosos países, a reducir la pobreza incrementando los ingresos económicos de las familias, además del acceso a los alimentos, fomentando el comercio local e internacional, proveyendo divisas, mejorando los retornos sobre el uso de los recursos y ofreciendo oportunidades de trabajo. A los empleos directos en las granjas de acuicultura hay que sumar los que crea el amplio número de actividades auxiliares en torno a la acuicultura, como la transformación y elaboración, el empaquetado, la comercialización y distribución, la fabricación de equipos, redes y tecnologías, la producción y el suministro de hielo, la construcción y el mantenimiento de buques e instalaciones acuícolas, la comunidad científica, las instituciones formativas y las administraciones implicadas en su seguimiento y desarrollo.

La acuicultura está jugando un papel crucial en los esfuerzos por erradicar el hambre y la malnutrición en muchos lugares del mundo, proveyendo alimentos ricos en proteínas, aceites esenciales, vitaminas y minerales a un amplio sector de la población. Pero es especialmente destacable la contribución de los aceites poli-insaturados omega-3 (EPA y DHA) del pescado a la salud y calidad de vida de las personas.

## 5. Ventajas productivas de la acuicultura

En pleno siglo XXI la superpoblación del planeta Tierra y la conciencia generalizada sobre la finitud de los recursos naturales están estableciendo límites a la producción de animales con destino a consumo humano en relación con su eficiencia en el aprovechamiento de los recursos naturales y la eficacia de los procesos productivos. Numerosos expertos catalogan ya a la acuicultura como la ganadería con mayor proyección de futuro. Las razones para ello son objetivas. En primer lugar, porque la acuicultura tiene a su favor que, en un planeta muy intensamente poblado y con pocos espacios nuevos disponibles para su explotación, el 70 % de la superficie del globo son mares y océanos en los que solo es posible realizar acuicultura. La tecnología para trabajar en un medio tan duro como es el mar ya se está dominando y sólo falta economía de escala para hacerla rentable.

Por otra parte, el agua dulce necesaria para producir animales terrestres de ganadería es muy elevada. Tanto que ya limita los tamaños de las cabañas ganaderas en muchas regiones. Por poner un ejemplo, producir cada kilo de ternera requiere gastar unos 14.000 litros de agua, mientras que el cultivo de peces apenas consume agua porque no necesitan beber. Además, la mayor parte de la acuicultura mundial se realiza en el mar, un agua no potable directamente en ningún caso.

Otra cuestión importante es que las tasas de reproducción de los animales acuáticos son varios órdenes de magnitud superiores a las de los vertebrados terrestres. Un pez pone decenas de millones de huevos al año, de los que con cuidados adecuados sobreviven decenas de miles de crías. Mientras que en las especies de la ganadería terrestre, ya sean aves o mamíferos, la velocidad de reproducción es mucho más reducida.

Pero es la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos naturales lo que marca la gran diferencia a favor de la acuicultura. Las especies criadas en acuicultura, ya sean peces, moluscos o crustáceos, son los animales mejores convertidores de su alimento en masa corporal porque son energéticamente más eficientes. Las razones son varias. Flotan en su medio y no tienen que luchar contra la gravedad, lo que les evita la necesidad de construirse esqueletos como los que tienen los animales terrestres. Y, además, porque son animales de sangre fría y no consumen energía para mantener su temperatura corporal por encima de la del agua en la que viven.

Con ello, así como un ternero necesita más de 8 kg para incrementar en uno su peso, un cerdo 3 kg o un pollo 2 kg, los peces requieren poco más de 1 kg. A esto se suma que dos ter-

ceras partes de un salmón, por ejemplo, son comestibles, mientras que en el pollo es un quinto y en el cerdo alrededor de una décima parte. Finalmente, está en aumento la conciencia sobre el impacto medioambiental del consumo de carne por su contribución al cambio climático debido a su producción de gases de efecto invernadero. La ganadería de animales vertebrados terrestres es uno de los más importantes contribuyentes netos a los problemas ambientales más graves en todas las escalas. FAO estima que la producción ganadera terrestre es responsable del 14,5 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Esto se debe en gran parte al metano producido por los animales y el estiércol de las granjas.

## 6. Grandes retos de la acuicultura mundial

En contraposición a los sistemas de explotación agropecuarios terrestres, en los que la mayor parte de la producción se obtiene de un reducido número de especies muy domesticadas de animales y plantas, se crían en el mundo unas 400 especies acuáticas diferentes, entre peces, moluscos, crustáceos, algas y otros. De ellas, unas 300 son especies de plantas y animales acuáticos producidos en cantidades significativas (más de 100 toneladas anuales). Esta diversidad se debe a la riqueza en especies del medio acuático, a la adaptabilidad de estos organismos a los sistemas de producción controlada y al ingenio de las personas. Para resolver satisfactoriamente los grandes desafíos a los que se enfrenta la acuicultura se deben dirigir iniciativas de investigación e innovación hacia optimizar su eficiencia y productividad, tanto en sistemas a pequeña como a gran escala.

Estas investigaciones deben mejorar los conocimientos sobre el mantenimiento de la buena salud de los animales criados, sobre la optimización de los piensos y de sus materias primas, mejoras en la gestión de las granjas, así como para la domesticación de nuevas especies.

Durante las cuatro últimas décadas la acuicultura se ha desarrollado, se ha diversificado y ha registrado notables adelantos tanto tecnológicos como científicos. El éxito de la acuicultura moderna se basa en la adecuada gestión de la biología de las especies cultivadas, en la introducción de innovaciones tecnológicas, en el desarrollo de alimentos específicos y en la organización empresarial. El potencial de estos avances para el crecimiento económico, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, para la mejora del nivel de vida y para el incremento de la seguridad alimentaria, fue reconocido por la FAO en su Declaración y Estrategia de Bangkok de 2000, que subrayaba que la acuicultura debe continuar con su desarrollo hasta ofrecer todo su potencial a la humanidad.

Y así se ha ido constatando con el transcurso de los años. En la segunda Conferencia Internacional sobre Nutrición (ICN2) de FAO, que tuvo lugar en Roma en noviembre de 2014, los líderes mundiales renovaron su compromiso por el establecimiento e implementación de políticas dirigidas a la erradicación de la malnutrición y a la transformación de los sistemas de alimentación para hacer asequibles a todas las personas dietas nutritivas. Esta conferencia confirmó la importancia de los alimentos acuáticos como fuente de nutrición y salud para

numerosas comunidades costeras y fluviales, especialmente por sus proteínas y oligoelementos, en particular para mujeres en edad fértil y niños.

Para ofrecer directrices para una mejor gobernanza del sector, FAO está propugnando su plan de Crecimiento Azul como marco para la gestión sostenible de los recursos acuáticos, para el equilibrio en su uso y para su conservación de una manera que sea económica, social y medioambientalmente responsable. Este plan se basa en el Código de Conducta de Pesca Responsable de FAO de 1995 y aborda la pesca, la acuicultura, los servicios del ecosistema, el comercio y la protección social. Busca el equilibrio entre el crecimiento y la conservación, entre la actividad industrial y la artesanal, para asegurar beneficios justos entre sociedades. En octubre de 2015, setenta estados miembros de FAO, más el sector privado, organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil, celebraron en Vigo el vigésimo aniversario de la adopción de dicho Código de Conducta de Pesca Responsable de FAO. En esa cita se pusieron de relieve los logros del código y los obstáculos encontrados en su implementación, pero sobre todo el papel esencial del mismo en la gestión sostenible de los recursos acuáticos vivos. Especialmente en lo que respecta a la acuicultura, que en el año de adopción del código suponía apenas el 25 % de la producción acuática global y actualmente supera el 50%.

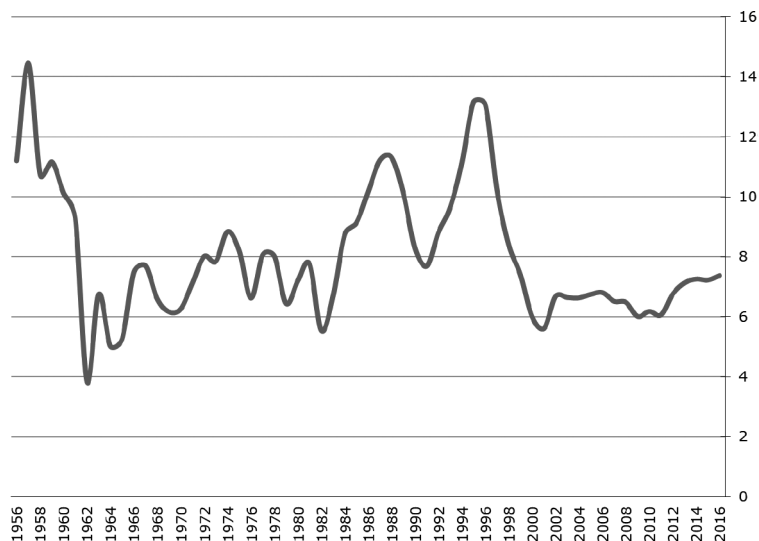
## 7. Producción de acuicultura en el mundo

La producción mundial de acuicultura ha crecido de forma sostenida y de manera espectacular desde los años sesenta del siglo XX. A pesar de que ha sido perceptible en los últimos años un ligero decaimiento en su potente ritmo de crecimiento, el sector sigue manteniendo un fuerte ritmo medio del 6 % anual. Desde una producción inferior a 0,8 millones de toneladas en 1951, ha superado 101,1 millones de toneladas en 2016, con un valor global en primera venta de más de 132.815 millones de euros. El desarrollo de esta actividad está ocurriendo fundamentalmente en países en vías de desarrollo, y en menor medida en los desarrollados, a pesar de que los primeros tienen menor acceso a la tecnología que los segundos.

Los más relevantes países productores de acuicultura son asiáticos y la mayoría de ellos con bajos ingresos y deficiencias alimentarias. Aunque estos países asiáticos tienen en ocasiones industrias acuícolas intensivas y con productos de alto valor, como langostinos para exportar a otros mercados, una alta proporción de su acuicultura es tradicional, con especies como la carpa y otros ciprínidos, además de algas. Aunque se realiza acuicultura en prácticamente todos los países del mundo, es una actividad especializada en la que únicamente los países que apuestan estratégicamente por ella logran avances reales. Esta circunstancia es constatable en el hecho de que la mayoría de los principales países productores de acuicultura a nivel mundial incrementaron su volumen de producción en 2016 (últimos datos estadísticos disponibles) con una tasa de crecimiento conjunta del 4,2 %, frente al resto de países que lo hicieron al 3,0 %, incrementando la brecha entre ambos grupos. Con ello, los 10 principales países productores de acuicultura en el mundo produjeron en 2016 el 90 % de la cantidad total producida (91,02 millones de toneladas).



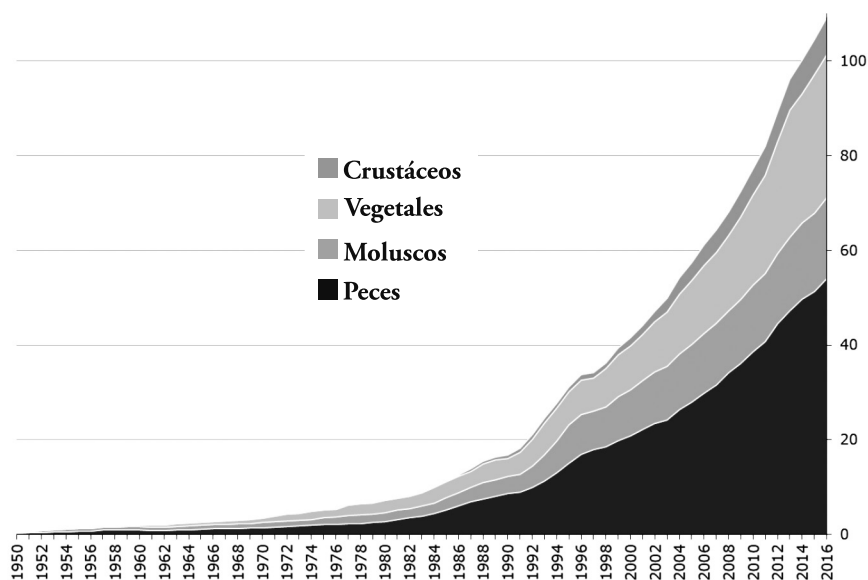
Gráfico 2. Evolución de los crecimientos interanuales de la producción mundial de acuicultura en el periodo 1956-2016\* (medias aritméticas por tramos móviles de 5 años). En porcentaje



\* Calculados sobre medias aritméticas por tramos móviles de 5 años para atenuar oscilaciones de ciclo corto.

Fuente: elaborado por APROMAR a partir de FAO.

Gráfico 3. Evolución de la producción de acuicultura mundial en el periodo 1950-2016 segregado por grupos de especies. En millones de toneladas



Fuente: APROMAR a partir de datos de FAO.

Las dos principales especies producidas mediante acuicultura en el mundo en 2016 han sido las algas eucheuma con 9,1 millones de toneladas y la laminaria japonesa de la que se produjeron 7,7 millones. La tercera especie es la carpa china con 5,5 millones de toneladas. De las especies producidas en España, destacan en el contexto mundial la producción de trucha arcoiris con 812.940 t en total; los mejillones europeos con 301.696 t; la dorada con 158.389 t; la lubina 156.450 t; y el rodaballo con 71.851 t.

En relación con el valor de la producción, el langostino blanco es la principal especie mundial, con un valor en primera venta de 14.768 millones de euros, seguida por el salmón atlántico con un valor de 11.734 millones de euros y por la carpa china por 5.669 millones de euros. Casi la mitad de toda la producción mundial de acuicultura consiste en pescado, el 49,3 %, pero el incremento de la producción está teniendo lugar en todos los grupos de especies. La cosecha de vegetales (algas) representó el 27,0 % de las toneladas, la de moluscos el 16,0 %, y los crustáceos el 6,8 %, mientras que la producción de anfibios y reptiles y de otros invertebrados es anecdótica. La producción de pescado de acuicultura supuso en 2016 un valor en primera venta de más de 81.041 millones de euros, equivalente al 60,2 % del valor de la globalidad de la producción acuícola. La cosecha de crustáceos representó 28.938 millones de euros, la de moluscos 15.394 millones de euros y las algas 4.509 millones de euros.

## 8. La acuicultura en España

España cuenta con una muy variada disponibilidad de recursos hídricos sobre los que es posible la realización de acuicultura, tanto en el ámbito marino como el continental (aguas dulces). Así, a los casi 8.000 km de costa se suman nueve grandes ríos, numerosos cursos fluviales, lagos y una capacidad de agua embalsada superior a los 55.000 hm<sup>3</sup>. Además, se suma una orografía y diversidad de climas que proporcionan características ambientales y físico-químicas idóneas para el desarrollo de esta actividad.

España es el principal estado miembro de la Unión Europea en producción de acuicultura. Esto se debe a las excelentes condiciones naturales, al conocimiento tradicional acumulado, a empresas modernas innovadoras, al nivel de las instituciones científicas y a la calidad de los institutos formativos. A ello se une la existencia de un mercado de consumo que demanda grandes cantidades de productos acuáticos de calidad y en el que la frescura por proximidad es uno de los principales factores.

Las granjas de acuicultura están diseñadas y construidas para adaptarse a las necesidades de las especies producidas y a las condiciones del medio físico. De esta manera, puede hacerse la siguiente categorización de los establecimientos acuícolas en España:

1. *Los localizados en el mar en viveros (jaulas)*. Estas granjas consisten en aros de polietileno rígido de decenas de metros de diámetro que dan soporte y flotación a bolsas de red en el interior de las cuales se estabulan y crían peces como la dorada, la lubina o la corvina.
2. *Los situados en el mar en bateas y long-lines*. Se trata de estructuras flotantes para el cultivo de moluscos bivalvos, principalmente mejillón. Las bateas constan de una plataforma de la que penden cuerdas de cultivo de varios metros, y los long-lines son estructuras no rígidas que constan de una línea madre, dispuesta linealmente en la superficie del mar por hasta cientos de metros, de la que cuelgan a su vez las cuerdas de cultivo. Los *long-lines* suelen presentar mejores resultados en aguas abiertas (como es el caso del cultivo de mejillón en Andalucía), mientras que las bateas operan mejor en aguas más resguardadas, como es el caso de las rías gallegas.
3. *En tierra firme con agua dulce*. Consisten en granjas construidas en obra sobre los márgenes de los ríos, o de sus fuentes, que aprovechan la circulación natural del agua. Es el tipo de instalación en el que se lleva a cabo la producción de trucha o de esturión.

Vista general de un polígono de jaulas de engorde de peces (izda.) y detalle de la misma (dcha.)\*



Batea de Ría de Corme (Galicia)



Long-line de Ría de Corme (Galicia)



Vista general de tanques preengorde de trucha. Instalaciones GVA en Tuéjar (Valencia)



\* *Cedidas por Andromeda Group.*

4. *En tierra firme con agua salada.* Se trata de establecimientos construidos en obra sobre tierra firme en la costa y que obtienen su agua mediante bombeo desde captaciones en el mar o pozos. Es la clase de granja en el que se realiza la producción de rodaballo o de lenguado. También podrían ser instalaciones de *hatchery* y *nursery* de dorada, lubina o corvina.

*Nursery de dorada, lubina y corvina\**



\* *Cedida por Andromeda Group.*

- *En playa, zona intermareal, con agua salada o salobre.* Son establecimientos de acuicultura en los que el cultivo se realiza con una mínima intervención física sobre el medio. Es el caso de la producción de almejas y ostras. Se realiza en zonas de playa o áreas intermareales en las que los animales son depositados directamente sobre el sustrato arenoso o en mallas sobre mesas. Es también el tipo de granjas localizadas en estanques excavados en la tierra en antiguas zonas salineras o marismas, siendo un ejemplo de ello los esteros andaluces utilizados para la producción de peces.

Posteriormente, los moluscos producidos en acuicultura se deben depurar y envasar en instalaciones en tierra preparadas estrictamente para ello. Las mismas deben de cumplir todos los requisitos que dicta la legislación vigente:

- Reglamento (CE) N° 852/2004, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios.
- Reglamento (CE) N° 853/2004, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal.
- Reglamento (CE) N° 854/2004, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas para la organización de controles oficiales de los productos de origen animal destinados al consumo humano.

El cumplimiento normativo de estas instalaciones será realizado por la inspección veterinaria de la zona correspondiente donde se ubique la instalación.

Vista general de parque de cultivo en zona de playa del Delta del Ebro (Tarragona) con vivero de mejillón al fondo

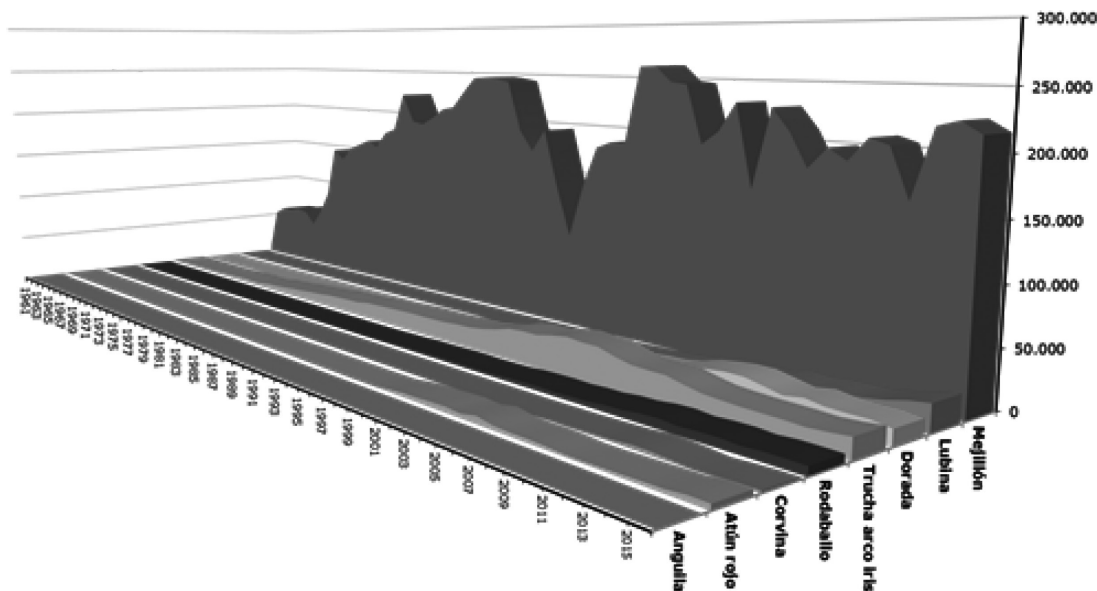


Piscinas de depuración de moluscos



La producción de acuicultura en España supuso en 2016 un total de 282.242 toneladas. Esta producción alcanzó un valor en su primera venta de 450 millones de euros. La principal especie producida fue el mejillón (220.449 t), seguido por la lubina (17.376 t), la dorada (16.230 t) y la trucha arco iris (15.111 t). En 2016 estaban en funcionamiento y con producción en España un total de 5.119 establecimientos de acuicultura; de ellos 4.933 de acuicultura con aguas marinas y 186 de acuicultura continental (de agua dulce).

Gráfico 4. Evolución de la producción de acuicultura española en el periodo 1960-2016 segregada en toneladas y por especies



Fuente: elaborado por APROMAR a partir de datos de FAO/MAPA.

Las estadísticas elaboradas por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2) evidencian una constante reducción en los últimos años del número de establecimientos de acuicultura con actividad en España, pasando de un máximo en 2007 de 5.313 a los 5.119 actuales. Las estadísticas elaboradas por el Ministerio de Agricultura y Pesca recogen que el número de unidades de trabajo anual en acuicultura en España, incluyendo el marisqueo, fue en 2016 de 5.946, si bien esta cifra está repartida entre 19.913 personas. La mayor parte de estas personas, 11.227, son no asalariadas (autónomas), principalmente del subsector del mejillón. Le siguen 5.037 personas cuya categoría se corresponde con operarios no especializados, 2.643 operarios especializados, 564 técnicos superiores o medios, 333 administrativos y 71 personas con otras categorías.

## 9. Retos de la acuicultura en España

El sector productor de acuicultura en España está constituido por micro, pequeñas, medianas e incluso grandes empresas. En su conjunto, son organizaciones competitivas, cada una a su nivel, y que innovan constantemente para perfeccionar su actividad. Muchas están incluso en la vanguardia de la acuicultura en Europa y comercializan sus productos tanto en España como en exigentes mercados exteriores. Las granjas de acuicultura están localizadas casi siempre en remotas zonas rurales o costeras, a las que raramente llega otro tipo de inversiones,

y donde la acuicultura es, a menudo, la única actividad empresarial generadora de empleo estable y de calidad.

Además, ofrece un notable porcentaje de empleo femenino, tanto en puestos productivos, como técnicos y directivos. Como consecuencia de los requerimientos inherentes a su proceso productivo, es decir a la necesidad de agua, que es un bien público, el marco legal en el que debe desarrollarse la acuicultura se convierte con facilidad en un entramado en la que es extremadamente complejo desenvolverse, y que añade costes económicos suplementarios a las cuentas de las empresas en forma de cargas administrativas.

El Plan Estratégico Plurianual de la Acuicultura Española (PEAE) 2014-2020, aprobado por la Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente en 2014, analiza la situación de este sector y lo orienta hacia un crecimiento sostenible para el horizonte del año 2030. Este plan, probablemente uno de los más completos de la Unión Europea, fue realizado por la Fundación Observatorio Español de Acuicultura (actualmente integrada en la Fundación Biodiversidad). El PEAE se enmarca dentro de las obligaciones de la nueva Política Pesquera Común y del Fondo Europeo Marítimo y de Pesca. Este plan da respuesta a las cuestiones planteadas en las Directrices estratégicas para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea planteadas por la Comisión Europea en 2013 relativas a prioridades y necesidades comunes para el desarrollo de este sector.

Este plan establece unos objetivos ambiciosos para la acuicultura española, pasando de las 266.684 toneladas de producción de 2012, a 369.470 toneladas en 2020 y hasta 527.766 toneladas en 2030. El valor en primera venta de estas cifras sería pasar de los 435 millones de euros de 2012, a 780 millones en 2020 y llegar a 1.465 millones de euros en 2030. De cumplirse estos datos, el empleo de la acuicultura en España podría alcanzar 30.000 personas en 2030. El PEAE señala ocho líneas estratégicas de actuación, y dentro de estas un total de 37 acciones estratégicas.

La asociación empresarial de productores de acuicultura de España (APROMAR) está de acuerdo con la definición de esas líneas y la selección de las acciones, y confía en que se vayan llevando a cabo, pero duda de la implicación efectiva en las mismas de varios departamentos de la administración (tanto estatal como autonómica) que no estuvieron implicadas en la redacción del plan estratégico pero que juegan un papel crucial en la gestión administrativa pública de la acuicultura. Es el caso, a nivel estatal, de la Dirección General de Marina Mercante (Ministerio de Fomento) o de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (Ministerio de Agricultura, Alimentación y de Medio ambiente); y a nivel autonómico, de las consejerías de Medio Ambiente o de las autoridades portuarias correspondientes.

Es responsabilidad de cada empresa el mejorar de manera permanente su propia competitividad, pero, independientemente de ello, en los últimos lustros el desarrollo de la acuicultura española se ha visto frenado por la inadecuación del marco legal en el que debe desenvolverse. También por la inexistencia de reciprocidad a nivel internacional para competir en el mercado de la Unión Europea frente a algunas importaciones desde terceros países. Es paradójico que

la acuicultura española, pudiendo desplegar un excepcional potencial, se esté viendo abocada a un estancamiento por cuestiones perfectamente superables. Contar con el plan estratégico no es suficiente. El objetivo debe ser alcanzar sus metas porque la acuicultura española sigue enfrentándose a retos difícilmente solucionables desde la iniciativa privada sin el apoyo decidido de las administraciones públicas, algunos de los cuales se exponen a continuación:

1. *Necesidad de agilizar los procedimientos administrativos.* La acuicultura es una actividad extremadamente regulada por parte de las administraciones públicas. Esto es así básicamente por dos motivos: por tratarse de la producción de comida y por requerir del uso de espacios de dominio público. Esto conlleva la obligatoria obtención de permisos, concesiones y autorizaciones cuya consecución y renovación resultan hoy tan difíciles y lentos que desincentivan la iniciativa empresarial.
2. *Garantizar el desarrollo y el crecimiento sostenible de la acuicultura a través de la ordenación coordinada del espacio.* Está demostrado que la implantación de planes de ordenación puede contribuir a reducir la incertidumbre, a facilitar inversiones y a agilizar la coexistencia de sectores como la acuicultura con la producción de energías renovables, o con la pesca o el turismo. La falta de disponibilidad de espacio, citada a menudo como un obstáculo a la expansión de la acuicultura marina, es un problema que puede resolverse determinando cuáles son los lugares más adecuados para las actividades acuícolas, ya que éstas ocupan actualmente una parte muy limitada del territorio y del litoral.

La ordenación espacial de la acuicultura es un elemento esencial para su desarrollo sostenible. Pero ve cómo cada comunidad autónoma aborda esta cuestión de manera diferente y, aun asumiendo que en cada situación habrán de buscarse soluciones específicas, existen principios básicos que deben asumirse. El objetivo tradicional de la ordenación espacial de la acuicultura ha sido la agilización de los trámites administrativos requeridos (concesiones de uso, cuestiones medioambientales y permisos de actividad) de manera que cuando una empresa solicitara una autorización la mayor parte de esas gestiones ya estuvieran resueltas previamente.

Pero hay un segundo factor, indudablemente más importante que el anterior, que debe conducir la ordenación espacial de las granjas de acuicultura, especialmente para las localizadas en el mar: una política sanitaria efectiva. La salud de los peces se ha demostrado, en toda su crudeza en muchas ocasiones, como el principal factor de viabilidad del sector de la acuicultura, tanto de peces, como de moluscos o crustáceos. Es una cuestión perfectamente superada en la ganadería terrestre, pero no así en la acuicultura. Países más avanzados en esta materia como Noruega, las Islas Feroe o Escocia han adoptado soluciones que aquí en España no cabe la más mínima duda que deberán cumplirse, y cuanto antes mejor: ‘barbechos’ sanitarios con la producción rotando entre varias ubicaciones, aplicación del principio ‘todo dentro–todo fuera’



en cuanto a siembras de juveniles y cosecha de pescado comercial, sincronización de la operativa sanitaria en cuanto a tratamientos y distancias mínimas entre granjas.

La interpretación sumamente restrictiva de las normas de gestión de las áreas de la Red Natura 2000 complica su coexistencia con la acuicultura. La incertidumbre respecto de la viabilidad de los proyectos planeados sobre estas zonas o sus proximidades, junto con las medidas protectoras a imponer, suponen el descarte prácticamente automático, siendo muchas de estas zonas las más aptas para el desarrollo de una acuicultura responsable.

Se debería favorecer la flexibilización, proactiva y coordinada, de los criterios de valoración de la sostenibilidad ambiental para permitir el desarrollo de proyectos acuícolas que, de conformidad con la previsión de la propia Directiva Hábitats, presenten la triple sostenibilidad (ambiental, económica y social), valoradas en su conjunto. Por ello, la propia directiva deja abierta la puerta para la ejecución de proyectos en la red, al establecer que serán autorizables aquéllos cuyo desarrollo resulte compatible con la pervivencia de la flora y fauna objeto de protección, e incluso la de aquéllos que aunque previsiblemente vayan a afectar a una determinada especie o hábitat, puedan verse justificados por su interés socioeconómico para la economía local, a cambio de la adopción de medidas compensatorias, todo ello a criterio del gobierno autonómico correspondiente.

Se cuenta con que políticos y administraciones públicas encuentren el mejor equilibrio posible entre la protección ambiental y las necesidades sociales y económicas para el buen desarrollo de la acuicultura tanto marina como continental. La decisión sobre dónde poner el fiel de la balanza es todo un reto, y además la posición adoptada puede variar aplicando factores como la temporalidad y la ubicación. La clave para lograr este punto de equilibrio y orientar a los legisladores es el debate a proponer entre todos los actores implicados para la búsqueda de consenso.

3. *Reforzar la competitividad de la acuicultura.* El negocio de la acuicultura es especialmente competitivo, sobre todo en España y en la Unión Europea, donde más de la mitad de los productos acuícolas son importados desde países en vías de desarrollo. Debe ponerse sobre la mesa que las empresas compiten entre sí, no sólo en base a su competitividad, sino también en cuanto a los marcos normativos a los que están obligados a cumplir en sus países de origen.

La gran disparidad entre los requisitos administrativos y legales exigidos para realizar acuicultura dentro y fuera de la Unión Europea, especialmente respecto a países netamente exportadores de producto acuícola, conlleva a que en el mercado de la UE coexistan dos realidades extremadamente desiguales: lo producido en la UE bajo unas condiciones muy exigentes y lo producido en países terceros con un mínimo de exigencias ambientales, sociales o incluso de bienestar animal.

Todos los productos alimenticios puestos en el mercado cumplen los mínimos para garantizar la salud de los consumidores, pero por encima de ese umbral las diferencias son significativas (otro ejemplo sería el menor control medioambiental). Esta situación paradójica no tiene sentido y supone enormes perjuicios para el sector de la acuicultura en España.

De igual modo, y refiriéndonos en este caso a la seguridad alimentaria, donde la trazabilidad en los productos de la Unión Europea se exige desde el momento del nacimiento de los animales hasta que llegan al consumidor, mientras que en el caso de los productos provenientes de países extracomunitarios, únicamente se exige mantener registros a partir de la planta de procesado tras el sacrificio, omitiéndose todo el largo periodo productivo. Esta falta de reciprocidad no es excepcional a la acuicultura, y se repite para numerosos productos agrícolas y ganaderos. Su solución depende de decisiones políticas al más alto nivel europeo, pero en las que el peso del Gobierno de España, como potencia agraria y pesquera de la UE, debe hacerse notar. La solución a este problema pasa por corregir la desigualdad, exigiendo que todos los productos de acuicultura comercializados en la UE acrediten condiciones equivalentes de producción y trazabilidad.

La competencia leal en la producción y comercialización de dorada y lubina ha estado distorsionada en los últimos diez años por la existencia de un subsidio directo a la producción de acuícola en Turca, de hasta 0,60 €/kg. A igualdad de eficiencia y costes de producción, esta ayuda ha permitido a las empresas turcas vender su pescado en España a menor precio y con mayores beneficios que las empresas españolas.

A raíz de sucesivas demandas presentadas por APROMAR y canalizadas por el Gobierno Español en la UE, el gobierno de Turquía se ha visto obligado a suprimir esta ayuda desde el año 2016. Este éxito debe hacer recapacitar a los gobiernos para que si desean apoyar a sus sectores productivos lo hagan con ayudas que no distorsionen la libre competencia. (Art.107 del Tratado Fundacional de la Unión Europea)

La implementación del etiquetado de los productos acuícolas en los puntos de venta al consumidor final es fundamental para evitar un capítulo adicional de desigualdad de oportunidades. A día de hoy los consumidores, cada vez más, disponen en las pescaderías de información suficiente para realizar compras responsables y con conocimiento de causa. (incluso resaltando los pescados de crianza de España).

Por último, cabe resaltar una situación paradójica: las administraciones competentes en materia de etiquetado obligan a las empresas de acuicultura a marcar en sus cajas una zona FAO (para designar el origen o la zona de producción). Sin embargo, la reglamentación europea es clara en cuanto a que en los productos procedentes de la acuicultura lo que debe indicarse es el país de origen.

## Referencias bibliográficas

- DEPARTAMENTO DE PESCA Y ACUICULTURA. FAO. (2018): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. Roma. FAO.
- MAPA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. (2016): *Estadísticas pesqueras. Encuesta de acuicultura 2016*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- APROMAR. (2018): *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. Cádiz.
- ESPINÓS, F. J. *et al.* (2011): *Diversificación en Acuicultura: una herramienta para la sostenibilidad*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- ESPINÓS, F. J. *et al.* (2011): *Acuicultura en Aguas Continentales*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.





# IMPORTANCIA DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA EN ESPAÑA

*Alicia Villauriz Iglesias*

Ingeniero Agrónomo. Secretaria General de Pesca del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

## Resumen

La historia, la cultura y la economía en España han estado históricamente ligadas al mar. En pleno siglo XXI, la pesca y la acuicultura que han demostrado su capacidad de adaptarse a los nuevos tiempos, mantenerse como un motor de nuestra economía y desempeñar un papel fundamental en la vertebración de las comunidades costeras. Nuestra flota opera en todos los mares del mundo y poseemos una industria transformadora puntera a nivel nacional e internacional. Además, somos líderes en acuicultura marina y continental, y tenemos una importante actividad marisquera. Este liderazgo nos otorga una responsabilidad especial, para asegurar que en el medio marino se realice una actividad pesquera sostenible y responsable para así garantizar la sostenibilidad desde el punto de vista biológico, socioeconómico y medio ambiental. En el siguiente texto se describen los principales retos y desafíos a los que se enfrenta el sector de la pesca, cuáles son las principales herramientas sobre las que nos podemos apoyar para hacerles frente, y cuál es, en mi opinión, el camino para, en colaboración con todos los actores interesados, conseguir que el sector pesquero sea cada vez más sostenible y competitivo, más generador de riqueza y de empleo, consolidando así un futuro de crecimiento y estabilidad.

## Abstract

*Spain's history, culture and economy have historically been linked to the sea. In the 21st century, fisheries and aquaculture have shown that they can move with the times, continue to act as a driver of our economy and play a crucial role in supporting coastal communities. Our fleet operates in all the world's seas and we have a world-class processing industry. We are also leaders in marine and continental aquaculture and have a large seafood industry. As leaders we have a particular responsibility to ensure that fishing activities are carried out sustainably and responsibly, so as to promote biological, social, economic and environmental sustainability. In this chapter I describe the main challenges facing the fisheries sector, the main tools we have at our disposal to meet those challenges, and my views on how, in collaboration with all the industry players, the fisheries sector can be made increasingly sustainable and competitive, so that it is able to generate more wealth and more jobs, assuring a future of growth and stability.*

España ha vivido siempre de cara al mar, que ha sido históricamente un elemento fundamental de nuestra economía, de nuestra cultura y en definitiva, de nuestro estilo de vida. Son muchas las actividades, tanto tradicionales como emergentes, que tienen como sustento nuestros mares y océanos y que se constituyen como motores de la economía española.

Y entre ellas, me permito destacar la pesca y la acuicultura, actividades para las que España cuenta con un amplio, diverso y desarrollado sector. Nuestra flota opera en todos los mares del mundo y poseemos una industria transformadora puntera a nivel nacional e internacional. Además, somos líderes en acuicultura marina y continental y tenemos una importante actividad marisquera.

Si bien a escala mundial, las estadísticas nos sitúan en la 19.<sup>a</sup> posición en términos de pesca extractiva, muy por detrás de países como China, Estados Unidos o Japón, en el ámbito de la Unión Europea, España ocupa el primer puesto en capacidad de flota y somos el mayor productor de pescado, de productos acuícolas y de conservas de pescado. También somos los que más empleo generamos en el sector pesquero, destacando el papel de la mujer, que con más de 47.500 trabajadoras distribuidas en las diferentes áreas de actividad, constituyen un motor de emprendimiento, generación de riqueza y cohesión en las zonas dependientes de la pesca. Por todo ello es importante reconocer el papel estratégico de la pesca y la acuicultura en la economía española, así como en la vertebración de nuestras regiones costeras.

Este liderazgo nos otorga una responsabilidad especial, que asumimos tanto la Administración como el sector y todos los agentes interesados, para asegurar que en el medio marino se realice una actividad pesquera sostenible y responsable para así garantizar la sostenibilidad desde el punto de vista biológico, socioeconómico y medio ambiental.

Solo así se puede conseguir que este sector, que además es esencial para poder satisfacer adecuadamente la demanda existente y garantizar la seguridad alimentaria, sea un sector de futuro que pueda constituirse como una referencia para las generaciones venideras.

En el ámbito de la pesca, los recursos son limitados, por ello las estrategias para asegurar una gestión eficiente y sostenible de los mismos son esenciales. Además, no son pocos los desafíos que amenazan nuestros océanos. Afrontar los efectos del cambio climático, la contaminación con plásticos o la sobreexplotación, requiere que contemos con las suficientes herramientas para poder controlar su impacto, y de esta forma, asegurar la conservación y uso sostenible de sus recursos.

Con este propósito, a nivel nacional nos hemos dotado con la Ley 3/2001 de Pesca Marítima del Estado, que entre sus objetivos destaca el de velar por la explotación equilibrada y responsable de los recursos pesqueros, favoreciendo su desarrollo sostenible mediante la adopción de las medidas precisas para proteger, conservar y regenerar dichos recursos y sus ecosistemas.

En el ámbito comunitario, la Política Pesquera Común (PPC) en su versión actual mediante el Reglamento (CE) n.º 1380/2013, deja meridianamente claro que su objetivo fundamental es garantizar que las actividades de la pesca sean sostenibles ambientalmente a largo plazo y se gestionen de forma coherente con los objetivos de generar beneficios económicos, sociales y de empleo, y de contribuir a la disponibilidad de productos alimenticios

Para ello, la última reforma de la PPC, profundizando en la idea de la sostenibilidad ambiental, incorporó mecanismos que suponen un cambio muy significativo para la actividad

pesquera y su gestión. Así, en el Consejo de Pesca comunitario celebrado en el mes de diciembre de 2018, se plasmó la aplicación práctica de dos de los elementos más representativos de tales cambios: alcanzar el *Rendimiento Máximo Sostenible* en 2020 y la plena aplicación de la *Obligación de Desembarque* desde 2019 para todas las especies sometidas a TAC y Cuotas.

El Rendimiento Máximo Sostenible supone un enfoque basado en el largo plazo que consiste en fijar porcentajes de capturas a niveles que permitan a las poblaciones de peces reproducirse y así garantizar la explotación de las mismas en condiciones económicas, medioambientales y sociales sostenibles. En este concepto se pretende aunar diferentes vertientes que, en un principio, podrían ser entendidas como contrapuestas, como son la preservación de los recursos y el beneficio económico, pero que está demostrado que constituye la única vía para asegurar la viabilidad, en el largo plazo, de las pesquerías.

Por su parte, la prohibición de los descartes supone, sin duda, un importante salto cualitativo dentro de la senda de la sostenibilidad de las pesquerías. En la actualidad contamos con ciertas excepciones para facilitar a nuestras flotas el llevar a la práctica esta normativa, excepciones todas ellas que, para su aplicación, requieren una justificación basada en la ciencia. Así, para aplicar la denominada *flexibilidad interespecies* se requiere acreditar un buen estado de los *stocks*, para la denominada *de mínimos*, argumentar la carencia de otras opciones técnicas y, del mismo modo, requiere contar con una base científica para aquellas especies para las que, dada su *alta supervivencia*, pueden continuar siendo descartadas.

Sin embargo, dichas excepciones, que ya estaban previstas en la reglamentación existente, se mostraron insuficientes, especialmente en el marco de una PPC que mantiene como principio inamovible el cumplimiento de la *estabilidad relativa*, por lo que, con el liderazgo de España, fue necesario arbitrar soluciones específicas para evitar una eventual parada de la flota. Todas estas excepciones requieren una justificación científica sólida, que demuestre que no hay otras alternativas viables y que la base de conservación biológica de los *stocks* está garantizada.

Este es un ejemplo práctico sobre como el mejor conocimiento científico y la investigación son, en la gestión pesquera, condiciones indispensables para poder dar cumplimiento a los objetivos fijados por la Política Pesquera Común, siendo además un enfoque fundamental que nos permite abordar con mayores posibilidades de éxito las negociaciones en las que se deciden las posibilidades de pesca que le corresponden al sector pesquero español.

En ese sentido, quisiera destacar la labor que la Secretaría General de Pesca lleva a cabo a través de los tres buques de investigación pesquera y oceanográfica: *Miguel Oliver*, *Vizconde de Eza* y *Emma Bardán*. Su actividad permite la adquisición de nuevos datos oceanográficos, lo que entre otras cuestiones nos permite tener una experiencia de más de 17 años en la realización de campañas de cartografiado fundamentales, como es el caso de la obtención de Cartas de Pesca.

La actividad de estos buques aporta datos biológicos esenciales para la evaluación del estado de los caladeros y nos facilita una gestión eficaz de los mismos. Nos proporciona información de distribución, biomasa, abundancia, división por tallas, estados de madurez o índices de reclutamiento. Parámetros, todos ellos, que nos permiten definir a continuación cual es el nivel

de capturas compatible con la conservación biológica, así como las medidas técnicas, tales como las características de las redes, que sean coherentes con el buen mantenimiento de los recursos.

También facilita el estudio de los ecosistemas marinos en su conjunto y una mejor caracterización del relieve y composición de los fondos marinos y de su actividad sísmica, especialmente en aguas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE), mediante la realización de las ya mencionadas Cartas de Pesca, a partir del estudio de la batimetría y de las características geológicas y geofísicas de estos. Y esta actividad se completa con su vertiente internacional, con la realización de Campañas de Cooperación Internacional, Colaboración y Formación, especialmente en países terceros, promoviendo una mejor gestión de los caladeros en estos lugares y favoreciendo el desarrollo sostenible local.

Toda la información recopilada es de vital importancia para el desarrollo de los sectores pesquero, marisquero y de cultivos marinos, así como para poder tomar las medidas necesarias para la ordenación y protección del medio marino. También se ha de destacar, en esta materia, la coordinación y trabajo conjunto que la Secretaría General de Pesca realiza con los organismos científicos españoles como el Instituto Español de Oceanografía (IEO) o el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que es un elemento clave de nuestra política pesquera.

Nuestra participación científica y presencia en foros internacionales y, en particular, en las Organizaciones Regionales de Pesca, es absolutamente primordial para defender los intereses del sector pesquero español y de la sostenibilidad de nuestra actividad pesquera e influir en las decisiones que se tomen.

Las Organizaciones Regionales de Pesca son, a nuestro entender, la referencia de gestión más importante para regular las pesquerías a nivel internacional con el objetivo de la sostenibilidad en sus tres vertientes: social, económica y medioambiental, teniendo un papel esencial en el nuevo modelo de gobernanza de los océanos y en la consecución de numerosos objetivos de la Agenda 2030, entre los que cabe destacar, la erradicación de la pobreza, la seguridad alimentaria, la conservación y uso sostenible de los océanos, la erradicación de la pesca ilegal o el trabajo digno.

Por ello, España forma parte, a través de la Unión Europea, de 16 Organizaciones Regionales de Pesca (ORP), en algunas como la Comisión General de Pesca del Mediterráneo desde el año 1953. Al amparo y desarrollo del Código de Conducta de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para la pesca responsable de 1995 y muy especialmente el Acuerdo de las Naciones Unidas sobre las Poblaciones de Peces transzonales y altamente migratorias de 1995, las ORP han tenido como misión la adopción de medidas de conservación y ordenación de las poblaciones.

En la actualidad, las ORP están tomando también medidas para fortalecer la gobernanza de la pesca mediante la protección de los ecosistemas marinos vulnerables y la gestión basada en un enfoque ecosistémico, que implica un análisis de las pesquerías considerando las interdependencias ecológicas entre las especies que tienen lugar en el ecosistema y su relación con



el ambiente, así como las interdependencias tecnológicas entre flotas y el impacto que éstas ocasionan en el hábitat.

También están trabajando para fortalecer la cooperación internacional, promoviendo la transparencia, y contribuyendo a mejorar las medidas de seguimiento, control y vigilancia. Disponemos ya de muchas experiencias que dan cuenta de este buen hacer de las Organizaciones Regionales de la Pesca, siendo quizá el caso más paradigmático el del atún rojo del atlántico oriental y mediterráneo. Esta especie ha pasado de estar considerada en una situación de riesgo de colapso a estar en una muy buena situación del *stock* gracias al esfuerzo y rigor en la aplicación del plan de recuperación para esta especie en el ámbito de La Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT, por sus siglas en inglés).

ICCAT, como una organización pesquera intergubernamental responsable de la conservación de los túnidos y especies afines en el océano Atlántico y mares adyacentes, está encargada de recopilar estadísticas pesqueras entre sus miembros y entre todas las entidades que pescan estas especies en el océano Atlántico, coordina la investigación, incluida la evaluación de los *stocks*, elabora asesoramiento en materia de ordenación basado en la ciencia, proporciona un mecanismo para que las partes contratantes acuerden medidas de ordenación y realiza publicaciones pertinentes.

Se pueden constatar como el éxito de estas medidas de gestión redundan en los tres pilares del desarrollo sostenible, puesto que tras los evidentes beneficios medioambientales resultado de la recuperación de las poblaciones de atún rojo y, por tanto, de la restauración del ecosistema marino, resultan unos cuantificables beneficios económicos derivados del incremento de las posibilidades de pesca que se ha producido tras la recuperación del *stock* y ello se traduce en un incremento de puestos de trabajo, tanto en el sector primario como en toda la industria asociada, por lo que redunda muy positivamente en las poblaciones costeras.

Este es un claro ejemplo que explica como los agentes relacionados con la pesca son, sin duda alguna, los máximos interesados en asegurar la sostenibilidad de las pesquerías, puesto que, en el medio y largo plazo, son sus intereses los primeros en verse recompensados de una buena gestión de los recursos.

Lo mismo sucede cuando nos referimos a la lucha contra la Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada (INDNR), donde España ejerce un liderazgo indiscutible a nivel internacional.

La pesca INDNR es una de las mayores amenazas de los océanos puesto que está poniendo en grave riesgo la supervivencia tanto de las poblaciones de las especies marinas como la de sus hábitats naturales, y especialmente la de las comunidades humanas que tradicionalmente han dependido de ellas.

Es una pesca que se realiza sin contar con las oportunas autorizaciones, incumpliendo tanto las normas de protección del medio marino, internacionales y nacionales, y desarrollada de forma que incumple las medidas de conservación y gestión de las Organizaciones Regionales de Gestion Pesquera. Resulta muy complejo calcular el impacto económico real de la pesca

INDNR en alta mar, aunque la Comisión Océano Mundial —órgano consultivo de las Naciones Unidas— estima que supera anualmente los 1.200 millones de dólares, si bien dentro de dicha estimación no se incluiría la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada realizada dentro de las jurisdicciones nacionales, y que de incluirse en las estimaciones de impacto se elevarían a entre 10.000 y 23.500 millones de dólares anuales según la FAO.

Tal es la importancia de la lucha contra la pesca INDNR que la comunidad internacional ha incluido su erradicación, ya para el año 2020, como una de sus metas dentro del objetivo número 14 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible fijados por las Naciones Unidas. Dada la dimensión mundial que ha adquirido este grave problema, la cooperación internacional es absolutamente imprescindible para abordarlo. En un mundo globalizado, estas actividades implican la participación de numerosos actores de distintos países, que de forma organizada consiguen burlar los trámites administrativos y comercializar en cualquier lugar del planeta y, en poco tiempo, productos capturados en zonas alejadas.

La experiencia de España en las operaciones contra la pesca INDNR se basa en una sólida regulación normativa tanto a nivel nacional como comunitario. En la última década, hemos puesto en marcha un nuevo marco normativo que persigue de forma decidida a quienes amparan o promueven dichas actividades y hemos desarrollado operaciones emblemáticas de control e inspección y ejecutado un sistema de cumplimiento riguroso y firme contra esta pesca INDNR.

También tenemos como pilares fundamentales dos elementos esenciales que promueven las ORP como son, por una parte, la existencia de listas de buques que practican la pesca INDNR y, por otra, la política contra los nacionales implicados en actividades de pesca INDNR, que ya están fomentando tanto la Comisión General de Pesca del Mediterráneo (CGPM) o la Organización Regional de Pesquerías del Pacífico Sur (SPRFMO).

En definitiva, para poder luchar contra esta lacra, nuestra experiencia nos ha enseñado que es imprescindible, junto con un fuerte compromiso político y la cooperación internacional, un marco jurídico sólido y riguroso, así como un sistema de inspección y control pesquera de primera línea.

Este enfoque se ha demostrado eficaz y se ha traducido con éxito en las operaciones *SPARROW I* y *II* que han finalizado con la imposición de sanciones económicas por valor superior a los 32 millones de euros, y la inhabilitación de nacionales para el ejercicio de actividades pesqueras por un período de 5 a 23 años, y la prohibición de obtener subvenciones por períodos de entre 6 a 24 años.

Nuestra actuación cuenta con el reconocimiento a nivel mundial, en las Instituciones Internacionales, Organizaciones Regionales de Pesca y Comisión Europea, entre otros, que se ha traducido recientemente en la obtención de un premio en el VI Taller Mundial de Capacitación sobre el Cumplimiento de la Pesca, que impulsa la Red Internacional para el Seguimiento, Control y Vigilancia Pesquera (MCS en sus siglas en inglés) celebrado en Bangkok (Tailandia).

Otra área en la que España cuenta con un importante reconocimiento, por la importante labor que hace en la conservación del medio marino, a la vez que se constituye como un ejemplo de compatibilidad de la pesca con la conservación de los recursos, son las Reservas Marinas de Interés Pesquero.

Se trata de figuras de protección amparadas por la Ley de Pesca Marítima del Estado y cuya finalidad primordial es la de la regeneración de los recursos y la protección de la pesca artesanal, al tiempo que comparte espacios con otros usuarios del mar como el buceo recreativo. Son el mejor ejemplo de compatibilidad de la pesca con la conservación de los recursos y otros usos.

Desde la creación de la primera de ellas, la de la Isla de Tabarca, en 1986, son ya 11 las Reservas Marinas (RRMM) de competencia estatal, ya sea exclusiva o compartida con distintas Comunidades Autónomas, que configuran la red de Reservas Marinas de España con más de 102.000 hectáreas protegidas.

Además, en los próximos meses se ampliará esta Red con la declaración de la Reserva Marina de Sa Dragonera. Esta reserva, con una extensión de 457 hectáreas, será continuación de la ya existente en aguas interiores de Baleares y permitirá la preservación de zonas de gran producción biológica y de repoblación de alevines de especies de interés pesquero.

Una señal del éxito de este sistema es el enorme número de peticiones de creación de nuevas RRMM que llegan desde todos los ámbitos de actuación, incluido el propio sector pesquero.

Con el lema *Reservas Marinas, Garantía de Futuro. En Beneficio de Todos* se trabaja para la creación de nuevas Reservas, allí donde se cumplan con todos los criterios necesarios para su puesta en marcha. Las solicitudes para la creación de nuevas reservas marinas se analizan concienzudamente para asegurar el cumplimiento de una serie de criterios, que van desde los estudios científicos disponibles de la zona solicitada, hasta las actividades practicadas hasta el momento en la misma, el apoyo sectorial con el que contarían y posibles repercusiones sobre sectores que se verían desplazados, así como la disponibilidad presupuestaria para dotar de medios materiales y humanos a las mismas (seguimiento, vigilancia y divulgación) no solo en su constitución sino a largo plazo.

Se trata por tanto de un ejercicio muy riguroso, que apuesta por la excelencia en la gestión continuada de los espacios existentes y en un crecimiento racional y justificado de la Red.

Las Reservas Marinas son, además, laboratorios de observación de los efectos del cambio climático y objeto de permanente estudio científico. Los océanos juegan un papel fundamental como reguladores del clima global y, por ello, se constituyen como un elemento clave para frenar el cambio climático. Captan alrededor de una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que es el principal gas causante del calentamiento global, pero está comprobado científicamente que, a medida que la temperatura sube, el océano pierde capacidad para captar CO<sub>2</sub>, por lo que la situación va progresivamente empeorando.

Así, el cambio climático constituye una clara amenaza para la salud y la productividad de nuestros océanos. Los ecosistemas marinos se ven afectados tanto por el calentamiento de las

aguas, como por la progresiva acidificación de los océanos que deriva de su ya mencionado papel como sumidero de carbono.

Por tanto, no se deben ignorar los efectos que el cambio climático puede tener en el medio y en el no tan largo plazo sobre la actividad de la pesca y, por ello, es fundamental conocer en detalle cuáles son los efectos del calentamiento de los océanos en los patrones de migración de especies pesqueras, su distribución geográfica, su reproducción y abundancia, y en cómo redundaría negativamente en las capturas potenciales de peces e invertebrados.

Hacer frente a los efectos del cambio climático en los océanos es esencial, además, para garantizar la exitosa consecución de los compromisos contenidos en el ámbito multilateral en el que los océanos cada vez van cobrando una mayor importancia.

La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible ‘Río+20’ celebrada en 2012 definió la conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos como un elemento esencial para el desarrollo sostenible, en particular debido a su contribución a la erradicación de la pobreza, el desarrollo económico sostenido, la seguridad alimentaria, la creación de medios de vida sostenibles y el trabajo decente, así como de la protección de la diversidad biológica y el medio marino y las medidas para hacer frente a los efectos del cambio climático.

Desde entonces, el debate sobre la Gobernanza Internacional de los Océanos está ganando peso significativamente en distintos foros internacionales y muy especialmente en el ámbito de las Naciones Unidas.

Este nuevo enfoque abarca todos aquellos sectores que están relacionados con los océanos (energías renovables, extracción de minerales, investigación, construcción marítima, defensa...) y por tanto van mucho más allá del ámbito de la pesca, si bien la afecta decisivamente tanto directa como indirectamente.

Tanto desde la administración, a través de la Secretaría General de Pesca, como por parte de las grandes asociaciones del sector privado, se participa en la medida de lo posible en dichos foros para asegurar que se guarde un equilibrio entre las distintas actividades que convergen en el medio marino y buscar sinergias que permitan que las negociaciones se conviertan en un *win-win* para todos los sectores, incluido el pesquero, que en ocasiones tiende a no recibir la atención que por su entidad merece.

Además, y ante el enfoque marcadamente proteccionista que suele predominar en estos debates, es importante defender que los actores relacionados con la pesca son, sin duda alguna, los máximos interesados en asegurar la sostenibilidad de las pesquerías, puesto que en el medio y largo plazo son sus intereses los primeros en verse recompensados de una buena gestión de los recursos, lo que repercute además de una manera muy positiva en los pilares social y económico del Desarrollo Sostenible, especialmente en las comunidades costeras.

Queda de manifiesto, a la luz de los datos del informe publicado en el mes de mayo por la Comisión Europea sobre el Crecimiento Azul en Europa en 2017, que la pesca representaba un 14 % del trabajo, un 12 % del valor añadido bruto y un 11 % de los beneficios de la Eco-

nomía Azul en la Unión Europea, estableciendo además una tendencia al alza para el futuro a medida que la situación biológica de los *stocks* va mejorando al estar la mayor parte de las pesquerías siendo explotadas a niveles de Rendimiento Máximo Sostenible.

Entre los principales procesos actualmente en marcha, ponemos un especial énfasis en la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y en particular de su Objetivo de Desarrollo Sostenible 14, que se refiere al uso y conservación sostenible de los océanos y que incluye elementos tan importantes para España como la lucha contra la Pesca Ilegal No Declarada y No Reglamentada, o el diseño de los planes de gestión de las pesquerías con fundamento científico.

Por otra parte, estamos también especialmente involucrados en la negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante con el objetivo de la conservación y uso sostenible de la diversidad marina en zonas situadas fuera de las jurisdicciones nacionales (BBNJ), con el objetivo de que aquellos acuerdos que se alcancen en este foro, estén en línea con lo establecido por la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar y en ningún caso menoscaben el funcionamiento de las Organizaciones Regionales de la Pesca que, insisto, son a nuestro entender la referencia de gestión más importante para regular las pesquerías a nivel internacional con el objetivo de la sostenibilidad y han de tener un papel esencial en el nuevo modelo de gobernanza de los océanos.

Tenemos por tanto que continuar trabajando, en colaboración con todos los actores interesados y a todos los niveles, para conseguir que el sector pesquero sea cada vez más sostenible y competitivo, más generador de riqueza y de empleo, consolidando así un futuro de crecimiento y estabilidad. Consiguiendo que la pesca ocupe el lugar que se merece en todas las discusiones que se planteen en torno a los océanos, e identificándola como una actividad garante de la seguridad alimentaria y de la conservación de nuestros mares y de nuestro litoral. En definitiva, para asegurar que nos encontramos en un sector con mucha historia, pero con un gran futuro por delante.





# UNA PESCA SOSTENIBLE Y RESPETUOSA CON LA BIODIVERSIDAD MARINA

*Javier Garat*

Confederación Española de Pesca (CEPESCA), Europêche y Coalición Internacional de Asociaciones Pesqueras (ICFA)

## Resumen

La pesca es una actividad ancestral que ha jugado un papel fundamental en la alimentación humana y está llamada a continuar siendo clave en el futuro, más aún cuando las previsiones apuntan que la población mundial sobrepasará los 9.000 millones de personas a mediados del siglo XXI. Para garantizar la continuidad de esta actividad es fundamental asegurar la explotación sostenible de los recursos pesqueros, y esto implica continuar avanzando en la gestión y gobierno de los océanos y sus recursos. La gestión pesquera basada en un enfoque ecosistémico que se aplica a través de la Política Pesquera Común en la Unión Europea y en el ámbito internacional a través de las Organizaciones Regionales de Pesca, ha demostrado su eficacia y atesora numerosos casos de éxito que confirman la validez del modelo en un momento crucial como el actual. El presente texto aborda la actividad pesquera desde la perspectiva medioambiental, social y económica, y describe la realidad en cada una de ellas, frente a las visiones apocalípticas y los mensajes erróneos basados en datos distorsionados, con el objetivo de promover un conocimiento más amplio de cómo se articula el trabajo conjunto del sector pesquero con comunidad científica, gobiernos y organismos internacionales para asegurar la protección de la biodiversidad y la explotación sostenible de los recursos marinos.

## Abstract

*Fishing is an age-old industry that has played a key role in human food and is expected to remain key in the future, especially as forecasts suggest the world's population will cross the nine billion mark by 2150. To allow fishing to continue, sustainable exploitation of fishery resources will be essential, and that will require further progress in the management and governance of the oceans and their resources. Fisheries management based on an ecosystem approach, implemented in the European Union through the Common Fisheries Policy and internationally through regional fisheries management organisations, has proven effective. Numerous success stories confirm the validity of the ecosystem approach at this crucial time. This chapter looks at the fishing industry from an environmental, social and economic point of view and describes the current state of affairs from each angle. By confronting apocalyptic predictions and misleading messages based on distorted data with the reality of today's industry, the aim is to promote a greater understanding of how the fisheries sector works closely with the scientific community, governments and international bodies to protect biodiversity and ensure that marine resources are used sustainably.*

## 1. La pesca y la salvaguarda de la biodiversidad

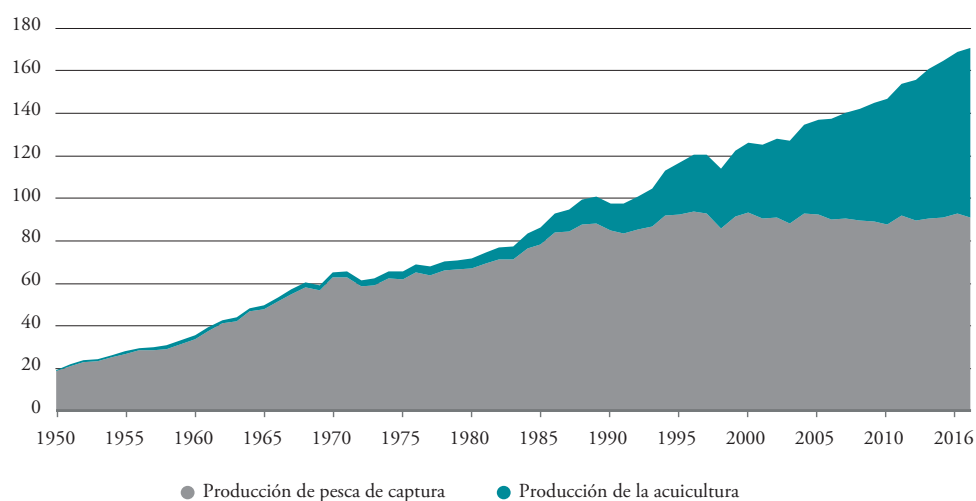
El medio marino alberga una enorme biodiversidad y es, por ese mismo motivo, el sustento de actividades económicas con una larga tradición, como la pesca que, además de jugar un papel fundamental en la alimentación saludable de una población mundial en constante crecimiento, es también el medio de vida de muchas comunidades. El sector pesquero es el primer interesado en salvaguardar la biodiversidad marina y por ese motivo trabaja desde hace décadas en el desarrollo de prácticas pesqueras sostenibles.

### 1.1. Pesca, actividad básica para la alimentación humana

Garantizar una pesca sostenible es fundamental para asegurar el futuro de la propia actividad pesquera que, por razones obvias, es clave para el futuro de la humanidad. Se prevé que a mediados del siglo XXI la población mundial supere ampliamente la cifra de 9.000 millones de personas, y los productos pesqueros seguirán siendo fundamentales y básicos para su alimentación y correcta nutrición, como lo son actualmente. La última edición del informe *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura* de la FAO, SOFIA 2018<sup>1</sup>, ya refleja hasta qué punto la pesca está siendo determinante para alcanzar la meta global de un mundo sin hambre ni malnutrición. De hecho, el crecimiento anual del consumo de pescado ha duplicado, desde 1961, al crecimiento demográfico.

Los datos recopilados por la FAO muestran que la producción pesquera y acuícola mundial alcanzó un volumen de 171 millones de toneladas en 2016, una cifra a la que actividad pesquera aportó 90,9 millones de toneladas. La acuicultura, con una producción de 80 millones de toneladas, representó un 47 % de la producción destinada al consumo humano.

Gráfico 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura. En millones de toneladas



\* Excluidos los mamíferos acuáticos, cocodrilos, lagartos y caimanes, las algas y otras plantas acuáticas.

Fuente: FAO (2016).

<sup>1</sup> FAO (2018).



Tabla 1. Producción de la pesca de captura marina: principales países productores

País	Producción (toneladas)			Variación (%)		Var. 2015/16 (toneladas)	
	Promedio 2005/2014	2015	2016	Promedio (2005/14)-2016	2015/2016		
China	13.189.273	15.314.000	15.246.234	15,6	-0,4	-67.776	
Indonesia	5.074.932	6.216.777	6.409.783	20,4	-1,7	-106.994	
EEUU	4.757.179	5.019.399	4.897.322	2,9	-2,4	-122.077	
Federación de Rusia	3.601.031	4.172.073	4.466.503	24,0	7,1	294.430	
Perú	<i>Total</i>	6.438.839	4.786.551	3.774.887	-41,4	-21,1	-1.011.664
	<i>Excluida la anchoveta</i>	989.918	1.016.631	919.847	-7,1	-9,5	-96.784
India	3.218.050	3.497.284	3.599.693	11,9	2,9	102.409	
Japón*	3.992.458	3.423.099	3.167.610	-20,7	-7,5	-255.489	
Vietnam	2.081.551	2.607.214	2.678.406	28,7	2,7	71.192	
Noruega	2.348.154	2.293.462	2.033.560	-13,4	-11,3	-259.902	
Filipinas	2.155.951	1.948.101	1.865.213	-13,5	-4,3	-82.888	
Malasia	1.387.577	1.486.050	1.574.443	13,5	5,9	88.393	
Chile	<i>Total</i>	3.157.946	1.786.249	1.499.531	-52,5	-16,1	-286.718
	<i>Excluida la anchoveta</i>	2.109.784	1.246.154	1.162.095	-44,9	-6,7	-84.059
Marruecos	1.074.063	1.349.937	1.431.518	33,3	6,0	81.581	
República de Corea	1.746.579	1.640.669	1.377.343	-21,1	-16,0	-263.326	
Tailandia	1.830.315	1.317.217	1.343.283	-26,6	2,0	26.066	
México	1.401.294	1.315.851	1.311.089	-6,4	-0,4	-4.762	
Myanmar*	1.159.708	1.107.020	1.185.610	2,2	7,1	78.590	
Islandia	1.281.597	1.318.916	1.067.015	-16,7	-19,1	-251.901	
España	939.384	967.240	905.638	-3,6	-6,4	-61.602	
Canadá	914.371	823.155	831.614	-9,1	1,0	8.459	
Taiwán	960.371	989.311	750.021	-21,9	-24,2	239.290	
Argentina	879.839	795.415	736.337	-16,3	-7,4	-59.078	
Ecuador	493.858	643.176	715.357	44,9	11,2	72.181	
Reino Unido	631.398	651.506	701.749	11,1	-0,4	-2.753	
Dinamarca	735.966	868.892	670.207	-8,9	-22,9	-198.685	
<b>Total 25 principales países</b>	<b>65.451.506</b>	<b>66.391.560</b>	<b>63.939.966</b>	<b>-2,3</b>	<b>-3,7</b>	<b>-2.451.594</b>	
<b>Total resto 170 países</b>	<b>14.326.675</b>	<b>14.856.282</b>	<b>15.336.882</b>	<b>7,1</b>	<b>3,2</b>	<b>480.600</b>	
<b>Total Mundial</b>	<b>79.778.181</b>	<b>81.247.842</b>	<b>79.276.848</b>	<b>-0,6</b>	<b>-2,4</b>	<b>-1.970.994</b>	
<b>Porcentaje 25 principales países</b>	<b>82,0</b>	<b>87,1</b>	<b>80,7</b>				

\* Las cifras correspondientes a la producción para 2015 y 2016 son estimaciones de la FAO.

Con esta producción, los productos pesqueros aportaron alrededor del 17 % de la proteína animal consumida por la población mundial. Esto significa que el pescado proporcionó casi un 20 % del aporte medio de proteínas animales per cápita a alrededor de 3.200 millones de personas.

Si nos fijamos en la contribución de la flota pesquera europea y, específicamente, en la de la flota pesquera española, vemos que la UE, si bien no es uno de los actores más importantes, juega un papel relevante.

Ciertamente y teniendo en cuenta el volumen de capturas, la UE-28 se sitúa en la tercera plaza del *ranking* por detrás de China e Indonesia, que ocupan las dos primeras posiciones con unas capturas en 2016 de 15.246.253 y 6.109.783 toneladas, respectivamente.

Con una flota de 82.780 buques, la flota pesquera europea capturó en 2017 un total de 5.322.194 toneladas de pescado. Por su parte, y tal como se recoge en el Informe del Sector Pesquero Español 2019<sup>2</sup>, España lideró el *ranking* de capturas europeas con 940.633 toneladas, seguida de Dinamarca, con 904.450 toneladas y Reino Unido, con 722.691 toneladas.

Solamente las capturas de la flota española se traducen en más de 3.700 millones de raciones de pescado saludables al año, es decir, más de 10 millones al día. A la vista de estas cifras, no cabe duda de la importancia que tiene la actividad pesquera para la alimentación saludable de la humanidad.

Garantizar la continuidad de esta actividad implica gestionar los recursos marinos de una forma sostenible y ello implica continuar avanzando en diferentes líneas, incluida la cooperación a través de las Organizaciones Regionales de Pesca (ORP) y el trabajo conjunto entre el sector pesquero y la comunidad científica. Igualmente, es necesario seguir avanzando en una gestión pesquera basada en un enfoque ecosistémico y, por supuesto, mantener la lucha contra la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (pesca INDNR o pesca IUU).

## 2. Amenazas a los recursos marinos y a la actividad pesquera sostenible

### 2.1. Pesca ilegal, no declarada y no reglamentada

La pesca INDNR es, de hecho, una de las mayores amenazas económicas y medioambientales, tal y como han reconocido los líderes del G20 en su reunión el pasado junio en Osaka. La FAO estima que la pesca INDNR puede representar unas capturas de pescado de hasta 26 millones de toneladas al año, con un valor en el mercado que oscila entre los 10.000 y los 23.000 millones de dólares.

### 2.2. Cambio climático

Existen, así mismo, otro tipo de amenazas a las que hay que hacer frente, tales como el cambio climático. Está constatado que el calentamiento del mar está afectando, desde hace décadas, a los caladeros. Ya en 2017 y como se recoge en dos artículos<sup>3</sup> elaborados por científicos del Instituto Español de Oceanografía (IEO) a partir de los resultados de distintas

<sup>2</sup> CEPESCA (2019).

<sup>3</sup> QUINZÁN *et al.* (2016).

investigaciones realizadas por este organismo en el marco del proyecto *Eclilpsame*, es evidente la influencia del calentamiento global en las poblaciones de peces.

Otros estudios más recientes, como el llevado a cabo por el Grupo de Pesca Sostenible de la Universidad de California Santa Barbara (EEUU) vuelven a llamar la atención sobre el impacto de este fenómeno en los recursos marinos.

Este estudio, que utiliza datos de 235 grandes poblaciones de 124 especies de interés pesquero en 38 ecorregiones del planeta, así como la evolución de las capturas y las temperaturas desde 1930, confirma un claro impacto en los recursos pesqueros. En este sentido, entre las zonas más afectadas se encuentran las costas españolas y zonas de tradición e interés pesquero para la flota española, como el golfo de Vizcaya o el mar de Irlanda.

A escala global y de acuerdo con un estudio de la Universidad Rutgers, publicado en *Science*<sup>4</sup>, entre 1930 y 2010 el calentamiento del océano ha provocado una caída promedio de en torno al 4 % en las capturas pesqueras. Este descenso se eleva hasta una horquilla de entre el 15 y el 35 % en cinco regiones, incluidas el mar de China Oriental y el mar del Norte.

### 2.3. Basura marina

Junto al cambio climático, la basura marina, y específicamente los plásticos, es otra clara amenaza a los recursos marinos y a la actividad pesquera. Según Naciones Unidas, que considera urgente atajar de forma global esta problemática, tal y como advierte en su informe *Marine Litter, a Global Challenge*<sup>5</sup>, ocho millones de toneladas de residuos plásticos van a parar cada año a los océanos.

Cabe destacar que, actualmente, el 70 % de la basura marina proviene de actividades terrestres y, en el caso de los plásticos, este porcentaje se eleva hasta el 80 %. Así mismo, es conveniente señalar que el sector pesquero lleva años contribuyendo a la reducción de las basuras marinas en los océanos, sobre todo la flota de arrastre, a través de la limpieza de los fondos marinos y del desembarco de dichas basuras en los puertos, donde, normalmente, son recicladas.

## 3. Sostenibilidad: vertientes medioambiental, social y económica

La biodiversidad es un sistema muy complejo del que forman parte tanto la naturaleza como los seres humanos; es decir, que la biodiversidad no atañe únicamente al medioambiente, sino que también incluye a las esferas económica, social y cultural del hombre. Es por ese motivo por el que la sostenibilidad debe entenderse desde una triple vertiente: medioambiental, social y económica.

<sup>4</sup> (2019): «Impacts of historical warming on marine fisheries production»; *Science* 363(6430): pp. 979-983.

<sup>5</sup> LJUBOMIR *et al.* (2019).

En este escenario, Cepesca a nivel nacional, Europêche a nivel europeo y la Coalición Internacional de Asociaciones Pesqueras (ICFA) a escala global, trabajamos para mostrar la verdadera dimensión económica, funcional y sociolaboral de la pesca, tal y como lo hicimos en el II Foro de los Océanos, organizado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y encaminado a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 14, a saber: la conservación y el uso sostenible de los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo sostenible.

El ODS 14 no es el único ODS con el que el sector pesquero está comprometido, también sumamos para hacer realidad los ODS 8, 12 y 17. El ODS 8, con la promoción del crecimiento económico y la productividad a través de la diversificación, la innovación y la modernización tecnológica, promueve el trabajo decente. El ODS 12, nuevamente a través de la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, promueve actividades para reducir la generación de desechos, su reciclaje y reutilización. Por último, el ODS 17 promueve las inversiones en favor de países en desarrollo.

En cuanto a la vertiente medioambiental, la situación actual ciertamente exige acción. A la vista del informe ‘Evaluación Global sobre la Biodiversidad’ de la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES)<sup>6</sup>, presentado en mayo de 2019 en París, es imperativo poner freno a la velocidad del deterioro de los ecosistemas.

El trabajo, en el que han participado 145 expertos y 310 colaboradores de 50 países, evalúa los cambios experimentados en los últimos 50 años y aborda la relación entre las formas de desarrollo económico y su impacto en la naturaleza, constituyendo la revisión científica más exhaustiva realizada hasta el momento sobre el estado de la biodiversidad.

Como parte de sus conclusiones, el informe confirma que la actual situación es consecuencia de actividades humanas no reguladas. Y en este sentido, cabe subrayar, a favor de la actividad pesquera, que la pesca es una actividad que, no solo está estrictamente regulada, sino que también se encuentra sometida a un control estricto.

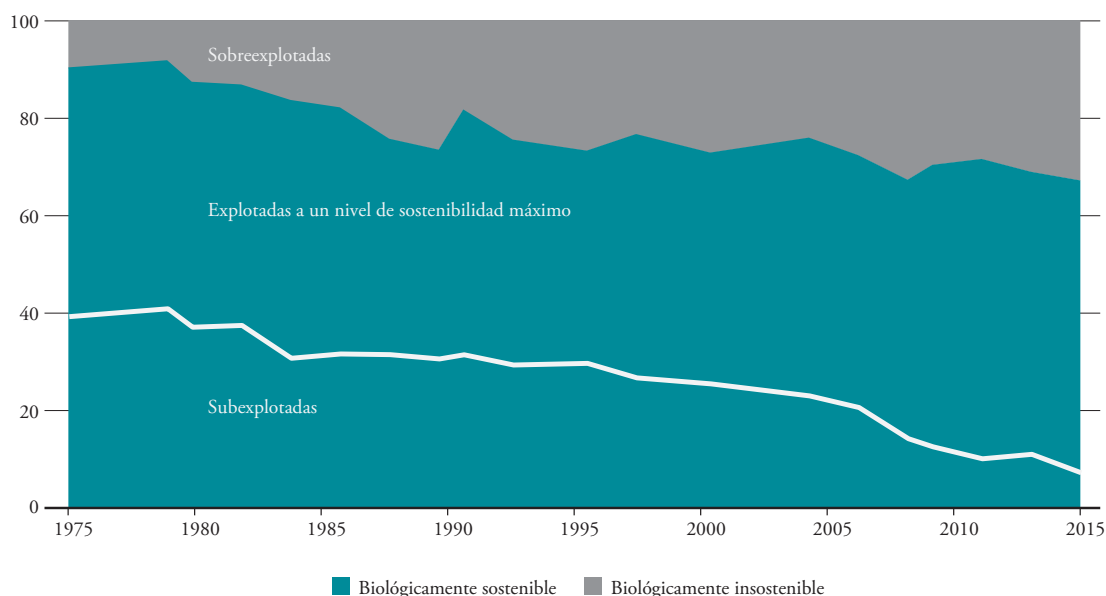
### 3.1. Estado de los stocks pesqueros

En este punto y ante la utilización sesgada de los datos en numerosas ocasiones, es necesario aportar luz. No es cierto que la sobrepesca afecte al 90 % de los *stocks* pesqueros del planeta. Los datos del seguimiento de las poblaciones de peces marinos realizado por la FAO muestran que la proporción de las poblaciones de peces marinos explotadas sosteniblemente se situó, en 2015, en el 66,9 %, de los cuales, el 59,9 % se encontraban explotadas en niveles de rendimiento máximo sostenible y el 7 % estaban subexplotadas, es decir, que permitirían que se incrementara el esfuerzo pesquero sobre las mismas.

<sup>6</sup> IPBES (2019): *Evaluación Global sobre la Biodiversidad*.

Hay que subrayar que cuando hablamos de *stocks* pesqueros plenamente explotados, el término no significa sobreexplotación, como algunos se empeñan en transmitir distorsionando la realidad, sino que su explotación se realiza a un nivel que garantiza su buen estado.

Gráfico 2. Tendencias mundiales de la situación de las poblaciones marinas (1974-2015).  
En porcentaje



Fuente: FAO (2016).

Cabe destacar que, si bien las poblaciones explotadas a un nivel de RMS disminuyeron entre 1974 y 1989, posteriormente y, en buena medida como resultado de la aplicación de medidas de ordenación y control, estas han ido aumentando.

Por su parte, el porcentaje de poblaciones en una situación de sobrepesca o explotadas a niveles biológicamente insostenibles se sitúa en el 33,1 %. Y ciertamente es una situación que es necesario corregir.

El Comité Científico, Técnico y Económico de la Pesca de la Comisión Europea (STECF) ha certificado los progresos en la aplicación y resultados de la Política Pesquera Común (PPC). En su último informe<sup>7</sup>, el STECF constata que las cosas se están haciendo bien y que avanzamos en la buena dirección. De hecho, la gran mayoría de *stocks* de las especies con interés comercial han consolidado su recuperación y la tónica general es de recuperación en la mayoría de las especies. Así, 59 de los 89 *stocks* en el Atlántico y el mar del Norte están

<sup>7</sup> STECF (2019).

gestionados en RMS y casi el 100 % de las descargas españolas procedentes de capturas en el Atlántico son de *stocks* en RMS.

Si bien es cierto que esta recuperación es lenta, el informe del STECF confirma que la tendencia es positiva, con las excepciones del mar Negro y del Mediterráneo, cuya situación es necesario revertir.

Si tenemos en cuenta los sacrificios que la PPC ha exigido al sector pesquero, con una reducción notable del esfuerzo pesquero en los caladeros, es una satisfacción que estos esfuerzos estén dando frutos y que se registren progresos sostenibles en la recuperación de especies tradicionales y de interés para la industria y, por extensión, para la humanidad.

Desde una perspectiva geográfica, de las 16 áreas estadísticas principales bajo la evaluación de FAO, el Mediterráneo y el mar Negro, el Pacífico sudoriental y el Atlántico sudoccidental registraron los porcentajes más elevados de poblaciones explotadas a niveles insostenibles en 2015. Por el contrario, el Pacífico centro-oriental, el Pacífico nororiental, el Pacífico noroccidental, el Pacífico centro-occidental y el Pacífico sudoccidental registraron los más bajos.

En lo que se refiere al Mediterráneo y con el objetivo de revertir la situación, a lo largo de los últimos 12 años se han venido aplicando una serie de Planes de Gestión, que han reducido de forma notable el esfuerzo pesquero. Así, la flota española que faena en este caladero ha pasado de 3.960 buques a menos de 2.400, lo que supone un descenso del 40 %, con especial énfasis en la modalidad de arrastre. Así mismo, recientemente se ha aprobado en la UE un reglamento por el que se establece un Plan Plurianual para la pesca demersal en el Mediterráneo occidental.

No obstante, y dado que en el Mediterráneo faenan más de 90.000 buques de 27 países diferentes, para conseguir una verdadera recuperación de las especies en el *Mare Nostrum*, es necesario que ese ajuste se realice en todos los países que operan en él y no únicamente por la flota europea. Por ese motivo y consciente de que la recuperación de los *stocks* en el Mediterráneo no será posible sin un esfuerzo conjunto y coordinado de todas las partes, el sector pesquero español, cuyas capturas en el Mediterráneo suponen el 19,14 % de las capturas europeas (86.851 toneladas de un total de 453.781 toneladas en 2017), considera que deben aplicarse medidas similares en el ámbito de la Comisión General de Pesca del Mediterráneo (CGPM).

### 3.2. Pesca responsable y sostenibilidad socioeconómica

Respecto a la vertiente socioeconómica de la actividad pesquera, las estadísticas oficiales recogidas en SOFIA 2018 indican que, en 2016, 59,6 millones de personas participaron, ya sea a tiempo completo, parcial u ocasionalmente, en el sector primario de la pesca de captura y la acuicultura: 40,3 millones en la pesca de captura y 19,3 millones en la acuicultura. Se estima que, de este total de trabajadores, un 14 % son mujeres.

Por áreas geográficas, en 2016 el 85 % de la población mundial empleada en los sectores de la pesca y la acuicultura se encontraba en Asia, seguida de África (10 %) y América Latina y el Caribe (4 %).

En la Unión Europea el número de personas ocupadas en el sector de la pesca y la acuicultura se situaba, a diciembre de 2018, en 152.331 personas, una cifra a la que España contribuye con 31.473 personas, tal y como se recoge en el 'Informe del Sector Pesquero Español 2019'.

Al igual que ha sucedido con la flota y debido también a los ajustes exigidos por la PPC, el número de personas dedicadas a esta actividad se ha venido reduciendo en los últimos años. De hecho, los 31.473 empleos directos que actualmente genera el sector pesquero en España eran 35.669 en 2012.

Por otro lado, y también en materia socioeconómica, cabe destacar la contribución al crecimiento de terceros países por parte de la flota comunitaria de larga distancia, un referente a escala global de sostenibilidad y cumplimiento. Solo a modo de ejemplo, el sector pesquero español ha creado sociedades mixtas en 24 países que han generado y siguen generando miles de puestos de trabajo y, sobre todo, oportunidades para numerosas comunidades.

## 4. Colaboración entre el sector pesquero y la comunidad científica

Es evidente que una actividad pesquera sostenible a largo plazo implica promover la investigación para disponer de buenos datos sobre el estado de los recursos y exige que, en base a estos datos, los países establezcan medidas eficaces y realistas que se traduzcan en una mejora de los *stocks* que ha de ser certificada por los científicos y constituir la base para nuevas mejoras. Se trata de un ejercicio de mejora continua que, además de recursos materiales y humanos, implica la participación del sector pesquero y una voluntad política decidida.

Efectivamente, son los gobiernos los que en última instancia y en función de las recomendaciones científicas y criterios de impacto social y económico, pueden tomar decisiones y establecer medidas de gestión pesquera. Pero no cabe duda de que la labor investigadora de los científicos resulta esencial y, en ese marco, el sector pesquero ha demostrado y quiere seguir demostrando que la colaboración en la investigación aplicada es determinante en el desarrollo de una actividad pesquera sostenible.

Cabe destacar la colaboración que mantiene el sector pesquero y el Instituto Español de Oceanografía (IEO). El trabajo de este organismo es fundamental en las evaluaciones del estado de los distintos *stocks* pesqueros en los diferentes caladeros y también lo es en el estudio de fenómenos como la contaminación, el impacto de las basuras marinas, los cambios en la composición del plancton, el calentamiento global o el alargamiento de la época estival. Todos estos fenómenos están impactando directamente en los ecosistemas marinos, modificando la evolución de diferentes *stocks* y contribuyendo a la entrada de especies no autóctonas.

Mantener e intensificar la colaboración entre sector pesquero y comunidad científica es igualmente fundamental para seguir sumando logros a la aplicación del Acuerdo de Nueva York de 1995<sup>8</sup> que, vigente desde el 11 de diciembre de 2001, es el Acuerdo sobre la Aplicación de las Disposiciones de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, de 10 de diciembre de 1982, relativas a la Conservación y Ordenación de las Poblaciones de Peces Transzonales y las Poblaciones de Peces Altamente Migratorias.

En la práctica, y debido a que la actividad de las flotas dedicadas a la captura de este tipo de poblaciones de peces tiene lugar a una distancia considerable de los estados y puertos pesqueros, las pesquerías que tienen como objetivo especies transzonales y altamente migratorias son, en muchas ocasiones, los principales vehículos para la recopilación de los datos científicos que permiten a las Organizaciones Regionales de Ordenación Pesquera (OROP) la toma de decisiones para garantizar el buen estado de estos recursos.

Así sucede, por ejemplo, en el Atlántico noroccidental, un caladero tradicional para varios de los miembros de ICFA –incluida la flota española–, y donde la colaboración del sector pesquero y los científicos se remonta a más de tres décadas. Los resultados de esta actividad conforman la base del asesoramiento científico a la Organización de Pesquerías del Atlántico Noroeste (NAFO) para fijar niveles óptimos de capturas y de gestión de los ecosistemas, incluidas las medidas de protección de los Ecosistemas Marinos Vulnerables (EMV).

Para ello, flotas como la europea cuentan con un programa de observadores científicos a bordo que permite obtener datos de captura, dentro del Programa de Datos Básicos de la UE y que, posteriormente, se utilizan para la evaluación de los *stocks*. Esta colaboración también permite a NAFO definir estrategias de gestión y Reglas de Control de Capturas o Harvest Control Rules (HCR) para las diferentes especies reguladas por esta OROP.

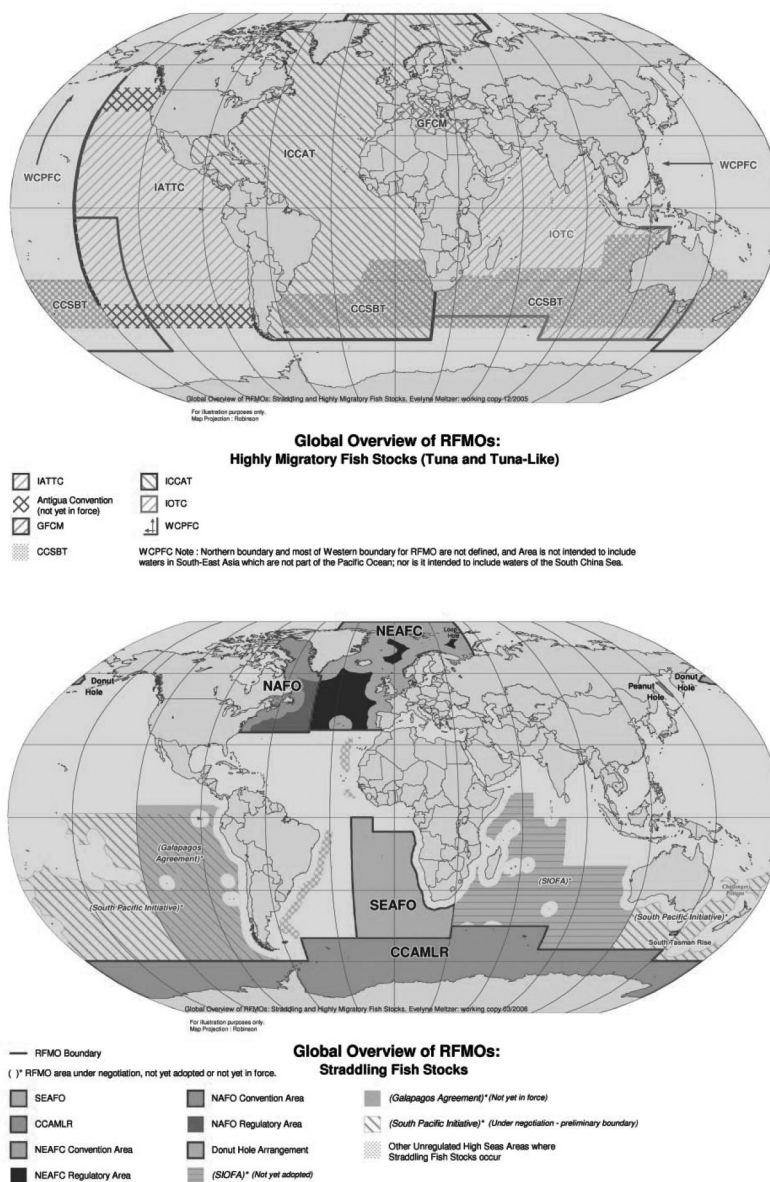
Las HCR son una buena muestra de la colaboración existente entre organizaciones de gestión, científicos y sector pesquero, al permitir que todas las partes involucradas en la conservación a largo plazo de los recursos pesqueros contribuyan a garantizar el buen estado de los *stocks* y, al mismo tiempo, un nivel de capturas estable que garantice su actividad económica rentable.

---

<sup>8</sup> NACIONES UNIDAS (1995).



Figura 1. Panorama general de las poblaciones de peces



Fuente: VVAA (2007): *Recommended Best Practices for Regional Fisheries Management Organizations. Report of an independent panel to develop a model for improved governance by Regional Fisheries Management Organizations.* Chatham House - The Royal Institute of International Affairs.

La colaboración entre la comunidad científica y el sector pesquero también ha sido fundamental en la recuperación del pez espada en el Atlántico norte y del atún rojo del Atlántico y Mediterráneo, especies bajo la gestión de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT).

El tándem sector-ciencia es igualmente consustancial a la pesca sostenible de tiburones. Miembros de ICFA, como el sector pesquero español y japonés, trabajan, junto a la comunidad científica y gobiernos, para gestionar mejor las poblaciones de tintorera y marrajo dientuso, reguladas por varias OROP. Además de dar cumplimiento al Plan de Acción Internacional de la FAO para la Conservación y Gestión de Tiburones, esta cooperación permite a los científicos disponer de datos relevantes para la evaluación de las poblaciones y garantizar su conservación. Con ese mismo objetivo, han apoyado la prohibición de capturar especies vulnerables como los tiburones zorro y los tiburones martillo, cuya pesca está prohibida desde septiembre de 2009.

Por otro lado, el compromiso de la flota europea de cerco atunera con la pesca sostenible de túnidos tropicales también tiene un pilar fundamental en la colaboración de los profesionales de esta pesquería y los científicos, una colaboración que ha llevado a esta flota a convertirse en referente de una pesca sostenible y responsable de la que ha hecho partícipe al consumidor a través de la Norma UNE 195006:2016 Atún de Pesca Responsable (APR).

Igualmente, la SPRFMO (*South Pacific Regional Fisheries Management Organisation*), una de las OROP de creación más reciente y responsable de la gestión de poblaciones como el jurel y de especies de aguas profundas; así como la Convención para la Conservación de los Recursos Marinos Vivo Antárticos (CCAMLR), cuyo programa científico ha llevado, entre otros, al desarrollo de pesquerías exploratorias de la merluza austral, son también dos buenos ejemplos de esta colaboración entre el sector pesquero y la comunidad científica.

Incluso en zonas como el Atlántico sudoccidental, área de alta mar que no está bajo el control de ninguna OROP, las resoluciones de la ONU sobre la pesca en aguas profundas exigen a los estados la aplicación de medidas que garanticen una actividad pesquera sin impacto en los Ecosistemas Marinos Vulnerables (EMV). Con ese compromiso y tras identificar nueve de estas zonas, España las ha cerrado a la pesca con arrastre de fondo.

#### 4.1. Casos de éxito de colaboración sector pesquero, comunidad científica y OROP

Como se ha mencionado anteriormente, el atún rojo del Atlántico y Mediterráneo, cuya gestión es competencia de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT), es un claro caso de éxito de la colaboración entre sector pesquero, comunidad científica y OROP.

La pesquería de atún rojo, si bien solo representa el 1 % de las capturas mundiales de túnidos, merece especial atención por su alto valor en el mercado. Ante la sobreexplotación de la especie, ICCAT estableció en 2008 un plan de recuperación que permitió revertir esta

situación, de manera que, actualmente, se registra un récord histórico de su biomasa. Esto ha permitido pasar, en 2019, de un plan de recuperación a un plan de ordenación pesquera, con un TAC de 32.240 toneladas para 2019 y de 36.000 toneladas para 2020.

En la pesquería de atún rojo, España contó en 2018 con 5.000,28 toneladas y tiene asignadas 5.559 toneladas para 2019. La flota española dirigida a esta especie incluye las artes de cerco, palangre, cañas, líneas de mano y almadrabas, una actividad de la que viven 2.300 familias de Andalucía, Baleares, Canarias, Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia y País Vasco.

También dentro de la pesquería de túnidos, concretamente, de túnidos tropicales, hay que destacar el trabajo de la flota atunera de cerco española, que, en los últimos años, ha centrado sus esfuerzos en diferenciar sus capturas ante la creciente competencia de flotas de terceros países, fundamentalmente, asiáticas. Estas últimas flotas suponen una clara competencia desleal, puesto que juegan con la ventaja que implica tener unos menores costes de explotación que, lamentablemente, se derivan del dudoso cumplimiento de la normativa pesquera internacional y, lo que resulta aún más lamentable, del uso de prácticas que no respetan los derechos laborales básicos e incluso están directamente relacionadas con el tráfico de personas y la explotación infantil.

A la búsqueda de diferenciación, la norma APR (Atún de Pesca Responsable) de la flota española atunera de cerco, publicada en julio de 2016, se ha convertido en un referente a escala mundial. Esta flota es, además, pionera en la aplicación de la tecnología al cumplimiento de la estricta normativa europea en materia de control pesquero, así como para garantizar la transparencia y el control de su actividad.

## 5. Iniciativas medioambientales del sector pesquero español

Una de las áreas estratégicas en las que el sector pesquero español viene siendo más activo en los últimos años es la medioambiental. Como muestra, durante 2018 Cepesca puso en marcha, con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, el proyecto *‘Fish-Recycle: apoyando la transición de la industria pesquera hacia una economía circular’*, que ha conducido a la formación y el asesoramiento a trabajadores del sector pesquero en la recogida y gestión de basuras marinas para apoyar la transición del sector hacia la economía circular.

En 2018 Cepesca también ha desarrollado el proyecto *‘Estrategia nacional del sector pesquero para la reducción de las basuras marinas’*<sup>9</sup>, que apoya y complementa a las Estrategias Marinas con el fin de sentar las bases de un marco nacional para su recogida, por parte del sector pesquero.

También tiene un triple carácter medioambiental, científico y socioeconómico el proyecto *‘PesConect, Conectando ciencia y pesca para una gestión sostenible de los recursos marinos’*. Este

<sup>9</sup> CEPESCA (2018).

proyecto tiene como objetivo crear la primera red de trabajo nacional que, con el IEO como socio, contempla generar, compartir y analizar información ambiental científica y socioeconómica del medio marino para impulsar la transferencia de conocimiento sobre I+D+i aplicada a la pesca sostenible.

Una muestra de la concienciación del sector pesquero con la protección de los hábitats marinos y su adhesión a un enfoque ecosistémico basado en la ciencia, es el proyecto *Nuevas tecnologías en Red Natura 2000: contribución del sector pesquero a la conservación de los espacios protegidos en el Golfo de Cádiz*. Con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, este proyecto ha permitido mejorar el conocimiento del LIC (Lugares de Interés Comunitario) Volcanes de Fango del Golfo de Cádiz, permitiendo el avance en la adaptación de la actividad pesquera a los espacios de la Red Natura 2000.

### 5.1. Áreas Marinas Protegidas (AMP)

En este sentido y respecto a la inclusión en la Red de Áreas Marinas Protegidas (AMP) de España de espacios marinos protegidos de la Red Natura 2000, como las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), en el sector pesquero creemos que las AMP deben ser una herramienta y no un objetivo en sí mismas.

Actualmente existen 727 AMP que cubren el 29 % de las aguas territoriales europeas. Sin embargo, y para que resulten verdaderamente efectivas, su objetivo no debe ser simplemente alcanzar una determinada cuota, como el 30 % de los océanos que solicitan algunas ONG. Su existencia debe estar, además, justificada y basada en información científica continua y con evaluaciones periódicas. En este sentido, cabe destacar que, en la práctica, la propia gestión pesquera implica conversación, tal y como se recoge en el artículo 7 de la PPC.

## 6. Gobierno y control

### 6.1. OROP y gobernanza

El desarrollo de una pesca sostenible y respetuosa con el medio marino y sus recursos implica, necesariamente, gobierno y control. En este sentido, subrayamos el importante trabajo que desarrollan las OROP y es necesario reconocerlas como las instituciones apropiadas para gestionar las poblaciones de peces transzonales y las especies altamente migratorias, así como otras especies asociadas y dependientes.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, son numerosos los casos de éxito que registran estas organizaciones y que deben fortalecerse para continuar dando cumplimiento a las disposiciones y mandatos del Acuerdo de Nueva York de Naciones Unidas.

El trabajo de las OROP no debe verse menoscabado por otras organizaciones y/o instrumentos con un conocimiento parcial de la gestión pesquera como, por ejemplo, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD) o el proceso BBNJ (*Biological Diversity of Areas Beyond National Jurisdiction*).

## 6.2. Acuerdo sobre Medidas del Estado Rector del Puerto (PSMA)

Por otra parte, y en materia de control, hay que reconocer la contribución a una actividad pesquera controlada y, por lo tanto, sostenible y responsable, de instrumentos como el Acuerdo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sobre Medidas del Estado Rector del Puerto (PSMA). España, a través de la Unión Europea (UE), es una de las 62 partes adheridas al PSMA, que resulta fundamental en la lucha global para acabar con la pesca IUU en tanto que: establece las condiciones para la entrada y el uso de los puertos por parte de las embarcaciones pesqueras extranjeras, define las normas internacionales mínimas que deben aplicar los estados rectores del puerto en el momento de examinar la información de capturas de forma previa a la entrada de los barcos, —especialmente de aquellos que operan en aguas fuera de la jurisdicción del estado de pabellón— y establece la realización de inspecciones y la adopción de medidas contra aquellos barcos que hayan participado en la pesca IUU.

No obstante, no podemos olvidar que el éxito de la puesta en práctica del PSMA descansa en el intercambio de información entre los estados, las OROP y otros organismos internacionales.

## 6.3. Centro de Seguimiento de la Pesca (CSP) y Sistema de Inspección Pesquera de España

En este punto hay que destacar que España es un referente a escala mundial. El Centro de Seguimiento de la Pesca (CSP) de España es puntero y su Sistema de Inspección Pesquera obtuvo en 2016 la acreditación de calidad ISO 9001, lo que pone de manifiesto los importantes avances logrados en los últimos años y que han exigido esfuerzos tanto a nivel gubernamental como al propio sector pesquero.

A nivel gubernamental también es necesario llamar la atención sobre la labor de la Agencia Europea de Control de la Pesca (EFCA), que en 2018 celebró una década de actividad en la ciudad de Vigo. Creada en el marco de la reforma de 2002, el principal objetivo de la EFCA es organizar la coordinación operativa de las actividades de control e inspección de la pesca de los Estados miembros de la UE y auspiciar la cooperación entre ellos con el objeto de cumplir las normas de la PPC.

#### 6.4. *Armonizar la legislación para eliminar la competencia desleal*

En este sentido, y de cara al futuro, es necesario avanzar en la expansión de un enfoque regional de las actividades de control, lo que implica la armonización de las legislaciones de los diferentes países, y el desarrollo y puesta en marcha de un programa regional de observadores.

Es igualmente imperativo el establecimiento de una prohibición a los transbordos en alta mar y, desde una perspectiva de control, la mejora de los sistemas de trazabilidad, un objetivo en cuya consecución será fundamental la tecnología de cadena de bloques (blockchain).

La lucha contra la pesca ilegal forma parte del ADN de Cepesca desde su creación en 2007 y es uno de nuestros objetivos prioritarios. El sector pesquero español mantiene un sólido compromiso para acabar con esta lacra que, además de poner en riesgo la seguridad alimentaria de los consumidores, supone una clara competencia desleal para la flota comunitaria y sus empresas, que destinan importantes inversiones para dotarse de sistemas y herramientas que garanticen el cumplimiento de una legislación, cuyo alto nivel de exigencia debe exigirse también a las flotas de todos los países que exportan a Europa sus productos pesqueros.

#### 6.5. *Compromiso con la sostenibilidad y buenas prácticas*

También en línea con la PPC, el sector pesquero comunitario y, específicamente, el sector pesquero español, mantienen un sólido compromiso en la lucha contra la pesca IUU. Así quedó patente en la jornada ‘La lucha contra la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada: retos de futuro’, organizada por el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medioambiente (MAPAMA) coincidiendo con la celebración, por primera vez, del Día Mundial contra la Pesca IUU el 5 de junio de 2018, con motivo de la entrada en vigor del mencionado PSMA.

Durante esta jornada expusimos las distintas iniciativas emprendidas por el sector para hacer frente a esta lacra global y entre las que destacan el impulso y la adhesión de Cepesca, en 2014, al Decálogo ‘Compromiso del sector pesquero español con la pesca sostenible’, que promueve la aplicación del Código de Conducta de Pesca Responsable<sup>10</sup> de la FAO y, específicamente, la lucha contra la pesca IUU.

Igualmente determinante en la contribución a esta lucha del sector pesquero español, es la firma, ese mismo año, del ‘Protocolo de intenciones para la monitorización de la actividad pesquera, por parte de la Secretaria General de Pesca de buques de interés español abanderados en un tercer país’; así como su apoyo expreso al sistema de validación de licencias privadas de España, que ha servido de modelo para el Reglamento de la UE 2017/2403 del Parlamento Europeo y el Consejo sobre la gestión sostenible de las flotas pesqueras exteriores.

<sup>10</sup> FAO (1995).

También cabe llamar la atención sobre las iniciativas en pro del desarrollo de una pesca sostenible y responsable impulsadas por distintas flotas españolas y sus asociaciones, tales como las de la Cooperativa de Asociaciones de Armadores del Puerto de Vigo (ARVI), la Organización de Productores de Lugo (OP Lugo) y la flota de palangre de superficie, con el ya mencionado FIP Blues, su programa de observadores a bordo, así como la formación en gestión pesquera de capitanes, patronos y tripulantes o las de la Organización de Productores de Grandes Atuneros Congeladores (Opagac) y la Asociación Nacional de Armadores de Buques Atuneros Congeladores (Anabac).

En cuanto a ARVI, el compromiso de las distintas flotas integradas en esta organización se plasma en su *Guía de Buenas Prácticas sobre Condiciones Sociales y Seguridad en el Trabajo en el Sector Pesquero*<sup>11</sup>, acorde al Convenio 188 de la OIT, un aspecto fundamental en la lucha contra la pesca IUU en tanto que este tipo de pesca a menudo implica prácticas que atentan directamente contra los derechos laborales básicos, incluido el esclavismo o el tráfico de personas. ARVI también ha desarrollado distintas herramientas informáticas para el acceso a información sobre normativa pesquera, legislación o cuotas.

Otra de las referencias en este ámbito es la *Guía de Buenas Prácticas: hacia una Pesca Sostenible y Responsable*<sup>12</sup> de la Organización de Productores Pesqueros de Lugo (OPP-7) que, además de incidir en la gestión de residuos o la reducción del consumo energético, propone medidas preventivas y correctoras para garantizar una actividad pesquera sostenible y contribuir a la lucha contra la pesca ilegal.

En cuanto a Opagac y Anabac, en los últimos años han puesto en marcha algunos FIP para mejorar la gestión de los túnidos tropicales, un código de buenas prácticas para la liberación de capturas accesorias verificado por AZTI, han decidido voluntariamente llevar a bordo 100 % de observadores humanos y, muchos de ellos, instalar observadores electrónicos. Así mismo, han colaborado en la creación de la certificación APR y han invertido en I+D+i para conseguir que los Dispositivos de Agregación de Peces (FAD) no sean enmallantes. Ahora están intentando que sean biodegradables.

Todas estas iniciativas son una muestra clara del sólido compromiso de la flota comunitaria y, específicamente, de la flota pesquera española con el cumplimiento de las normas de la UE para la lucha contra la pesca ilegal y muestran el camino a seguir, a escala global, para ganar esta batalla. Solo así seremos capaces de asegurar la protección de la biodiversidad y, por ende, el de la actividad pesquera y la alimentación saludable de, cada vez, más millones de seres humanos.

<sup>11</sup> ARVI (2017).

<sup>12</sup> OPP-7 (2018).

## Referencias bibliográficas

- CEPESCA (2018): *Estrategia sectorial para la reducción de basuras marinas*.
- CEPESCA (2019): *Informe del sector pesquero español 2019*.
- COOPERATIVA DE ASOCIACIONES DE ARMADORES DEL PUERTO DE VIGO (ARVI) (2017): *Guía de buenas prácticas sobre condiciones sociales y seguridad en el trabajo en el sector pesquero*.
- FAO (1995): *Código de conducta para la pesca responsable*.
- FAO (2018): *Informe Sofia 2018*.
- NACIONES UNIDAS (1995): «Acuerdo de Nueva York».
- OPP-7 (2018): *Guía de buenas prácticas hacia una pesca sostenible y responsable*.
- PLATAFORMA INTERGUBERNAMENTAL DE CIENCIA Y POLÍTICA SOBRE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (IPBES) (2019): *Evaluación Global sobre la Biodiversidad*.
- PUNZÓN, A.; SERRANO, A.; SÁNCHEZ, F.; VELASCO, F.; PRECIADO, I.; GONZÁLEZ-IRUSTA, J. M. y LÓPEZ-LÓPEZ, L. (2016): *Response of a temperate demersal fish community to global warming*.
- QUINZÁN M.; CASTRO, J.; MARÍN, M.; COSTAS, G.; MONSERRAT, S.; AMORES, A.; MASSUTÍ, E. e HIDALGO, M. (2016): *Unveiling the influence of the environment on the migration pattern of the Atlantic pomfret (Brama brama) in North-eastern Atlantic waters*.
- SCIENTIFIC TECHNICAL AND ECONOMIC COMMITTEE FOR FISHERIES (STECF) (2019): *61 Plenary Meeting Report*.
- SHEAVLY, S. y ADLER, E. (2019): *Marine Litter: A Global Challenge*. United Nations Environment Programme (UNEP). Ljubomir Jeftic.





# PROBLEMÁTICA DEL AGUA DULCE

## ¿ES LA DESALACIÓN UNA POSIBLE SOLUCIÓN?

*Elvira del Pozo Campos*

Ingeniera agrónoma especialista en gestión del agua y periodista de ciencia y medioambiente

### Resumen

Los 21 países que abrazan el Mediterráneo no solo comparten mar, cultura e historia sino también una realidad incómoda: suman el 60 % de los pobres del agua de todo el planeta. Si la desalación terminará con la escasez endémica de la región es algo en lo que los expertos no se ponen de acuerdo, aunque todos coinciden en que si será parte de la solución.

### Abstract

*The 21 countries bordering the Mediterranean share not only a sea, a culture and a history but also an uncomfortable fact: they are home to 60% of the world's "water poor". Experts differ as to whether desalination will fully resolve the region's endemic water shortage but all agree it will be part of the solution.*

## 1. Introducción

Los 21 países<sup>1</sup> que abrazan el Mediterráneo no solo comparten mar, cultura e historia sino también una realidad incómoda: suman el 60 % de los *pobres del agua* de todo el planeta. En total, 180 millones de habitantes que cuentan con menos de 1.000 m<sup>3</sup> de recursos hídricos<sup>2</sup> por habitante y por año.

La tradicional escasez de la zona resulta de un cóctel formado por un patrón de lluvia irregular concentrada en invierno y temperaturas cálidas. Esta situación se ha visto agravado por el aumento de la población –especialmente en los países más pobres de la región<sup>3</sup> y en las

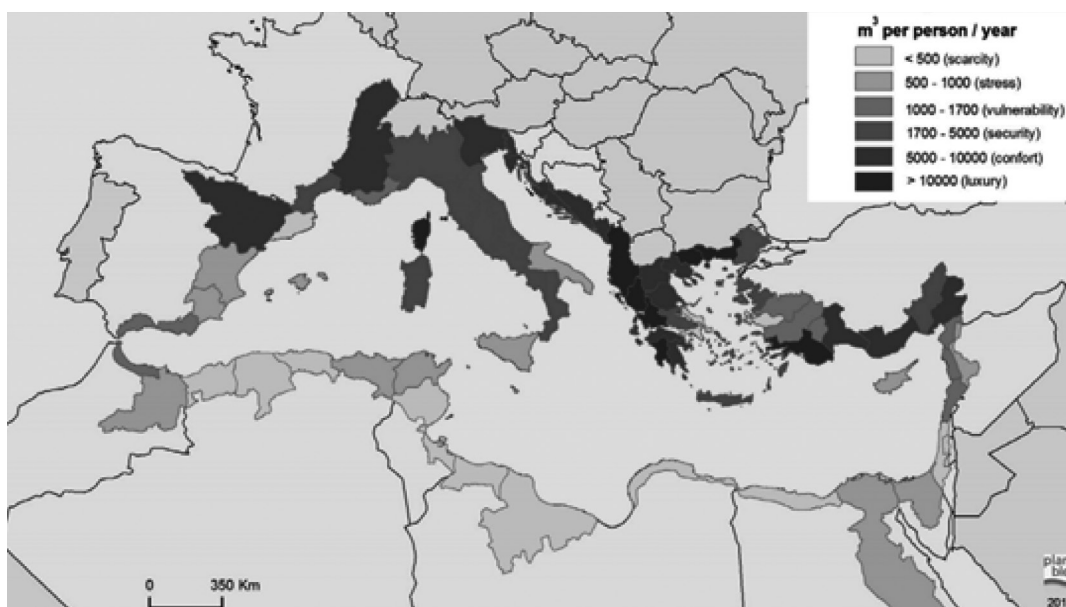
<sup>1</sup> Albania, Argelia, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Mónaco, Montenegro, Marruecos, Eslovenia, España, República Árabe Siria, Túnez y Turquía.

<sup>2</sup> Recursos hídricos renovables: aguas interiores que se renuevan en el ciclo del agua.

<sup>3</sup> GLOBAL WATER PARTNERSHIP MEDITERRANEAN (2014): *Water Scarcity, Security and Democracy: a Mediterranean Mosaic*.

zonas costeras— y de la demanda de otros usos, como el regadío y el turismo; por el hecho de que muchas de las fuentes de agua disponibles ya están explotadas, entre otros factores. También, por la existencia de grandes desequilibrios entre las distintas regiones: de los 1.140 mil millones de metros cúbicos anuales de agua azul —agua dulce superficial y subterránea— disponibles en los países mediterráneos, el 90 % se encuentra en los estados del borde norte, y el 10 % en los del borde sur<sup>4</sup>.

Figura 1. Agua natural renovable por habitante en la cuenca Mediterránea



Fuente: Plan Bleu (2010): *Sea water desalination: to what extent is it a freshwater solution in the Mediterranean?*

Y el futuro parece aun más negro: la cuenca mediterránea es una de las regiones del mundo más vulnerables frente al cambio global. Las cada vez más frecuentes sequías, debidas a una reducción de entre un 10 y un 30 % de las precipitaciones estivales, y el aumento de las lluvias torrenciales que vaticinan los modelos climáticos disminuirán aun más el agua disponible<sup>5</sup>, que no alcanzará para cubrir la demanda en 8 de los 12 países del sur y el este del Mediterráneo en 2025<sup>6</sup>.

El acceso al agua de boca —destinada al consumo directo del ser humano— es un derecho y así lo recoge el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible<sup>7</sup> que propuso Naciones Unidas para «garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos» antes

<sup>4</sup> BURAK y MARGAT (2016): *Water Management in the Mediterranean Region: Concepts and Policies*.

<sup>5</sup> NAVARRO *et al.* (2014): *Scarcity and multiple stressors in the Mediterranean water resources: The SCARCE and GLOBAQUA research projects*.

<sup>6</sup> *State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment*, UNEP/MAP – BARCELONA CONVENTION (2012).

<sup>7</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

de 2030. Pero, además, este recurso es clave en la zona mediterránea para garantizar el desarrollo sostenible de dos de sus sectores económicos más pujantes: el turismo y la agricultura.

En este contexto, la desalinización parece haberse convertido en un recurso estratégico que produce agua dulce independientemente del clima, evita conflictos entre territorios y aumenta la seguridad en el suministro, convirtiendo a territorios deficitarios en menos vulnerables ante la sequía y los efectos del cambio climático. Además, reduce la presión sobre acuíferos y aguas superficiales<sup>8</sup>.

Sin embargo el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP, en sus siglas en inglés) avisa: el impacto de las desaladoras instaladas en el Mediterráneo ya se nota en sus aguas, sobre todo debido a los vertidos de alta concentración de salmuera<sup>9</sup>. También preocupa su contribución a los gases de efecto invernadero que alimentan la crisis climática, porque desalar tiene un elevado coste energético. Todo esto tiene que ser vigilado y minimizado, concluye.

En muchos lugares, otras alternativas pueden proporcionar los mismos beneficios a menores costes económicos y medioambientales. Estas alternativas incluyen medidas de ahorro de agua, mejora de la conservación y eficiencia de los acuíferos, reciclado y reutilización de aguas residuales y por supuesto trasvases<sup>10</sup>.

Veamos un poco más en qué consiste la desalación y sus desafíos.

## 2. La desalación

Los océanos contienen el 97 % del agua del planeta. Unos 1.332 millones de kilómetros cúbicos, según cálculos de la *Woods Hole Oceanographic Institution*, de los que algo más de 3,7 millones de kilómetros cúbicos se encuentran en el mar Mediterráneo. Si idealmente se pudiera transformar en potable, dispondríamos de una cantimplora para calmar la sed de los países rivereños, que no dependería de si suben las temperaturas, ni de si llueve menos.

La desalación persigue obtener agua dulce mediante la sustracción de las sales del mar (35 gramos de sales por litro de media) y de fuentes salobres (con una concentración salina entre 0,5 y 30 gramos de sal por litro), como estuarios y acuíferos. Como subproducto, se obtiene salmuera que contiene toda la sal extraída.

La idea de separar las sales del agua es muy antigua aunque, al principio, el objetivo era obtener sal. Aristóteles diseñó el primer evaporador de mano en el siglo IV antes de Cristo. En el siglo XVI, se popularizaron los alambiques que llevaban los barcos para que los marineros tuvieran qué beber durante las grandes travesías. Aunque no fue hasta después de la II Guerra Mundial, con el crecimiento de la población y muchas de las fuentes de agua contaminadas,

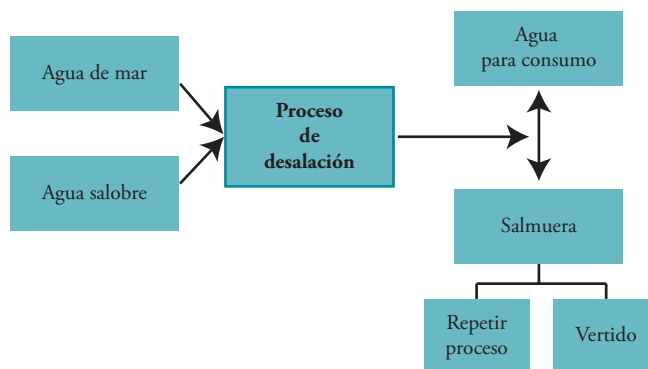
<sup>8</sup> MOROTE (2018): *La desalinización. De recurso cuestionado a recurso necesario y estratégico durante situaciones de sequía para los abastecimientos en la Demarcación Hidrográfica del Segura*.

<sup>9</sup> *State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment*, UNEP/MAP – BARCELONA CONVENTION (2012). Atenas.

<sup>10</sup> INSTITUTO EUROMEDITERRÁNEO DEL AGUA (2009): *Desalación de Aguas. Aspectos Tecnológicos, Medioambientales, Jurídicos y Económicos*.

cuando empezaron a instalarse las primeras desaladoras industriales. Un dato: la primera planta en Europa se instaló en Canarias, en 1964.

Figura 2. Esquema del proceso de desalación



En la actualidad, los dos sistemas más empleados a nivel global son:

- La *desalación térmica*, por destilación o evaporación, hierve el agua salina y condensa el vapor obteniendo agua pura. Se subdivide en dos tipos:
  - La *evaporación instantánea multietapa* se basa en el principio de que al reducir abruptamente la presión del agua de mar ocurre una evaporación súbita de un pequeño porcentaje del líquido. Así que se repite la operación sucesivas veces con presiones que se van reduciendo progresivamente.
  - En la *evaporación en múltiples efectos* una serie de evaporadores producen agua a presiones progresivamente menores. Como el agua hierve a menores temperaturas al disminuir la presión, el vapor del primer evaporador calienta el segundo evaporador, y así sucesivamente.
- La *desalación mediante membranas* utiliza filtros semipermeables para separar el agua de las sales disueltas. La tecnología basada en *electrodialisis* realiza una separación electroquímica, en la que los iones se transfieren a través de las membranas de intercambio iónico al aplicar un voltaje de corriente continua, dejando el agua desalinizada como producto. Otro tipo es la *osmosis inversa*, que aplica presión –esfuerzo mecánico– sobre el líquido para forzarlo a pasar por la membrana: la sal se queda en un lado y el agua pura en el otro.

Desde los inicios de la desalación hasta 2005, la tecnología dominante fue la térmica; a partir de entonces, la hegemonía absoluta es de la osmosis inversa. La razón principal del sorpasso tecnológico se debe a que las plantas de evaporación consumen en torno al doble de

energía que las de osmosis inversa, 8 kW/hora/m<sup>3</sup> de agua frente a entre 3 y 4<sup>11</sup> kW·hora/m<sup>3</sup> de agua. Si se tiene en cuenta que la energía del proceso puede suponer entre el 50 y el 80 % del coste de operación, la desalación térmica es cara.

Aun así las plantas de osmosis inversa producen agua a un coste aún elevado –progresivamente decreciente según va mejorándose la tecnología– que ronda los 60 céntimos de euro el metro cúbico, que solo puede ser asumido por ciertos usos como la industria farmacéutica y de componentes electrónicos; y los regadíos de precisión de vegetales de alto valor añadido, entre otros.

Es habitual que las plantas de desalación térmica se construyan dentro de las centrales térmicas, ya que el mismo proceso que genera la electricidad –se calienta agua para que el valor mueva un alternador– sirve también para desalinizar.

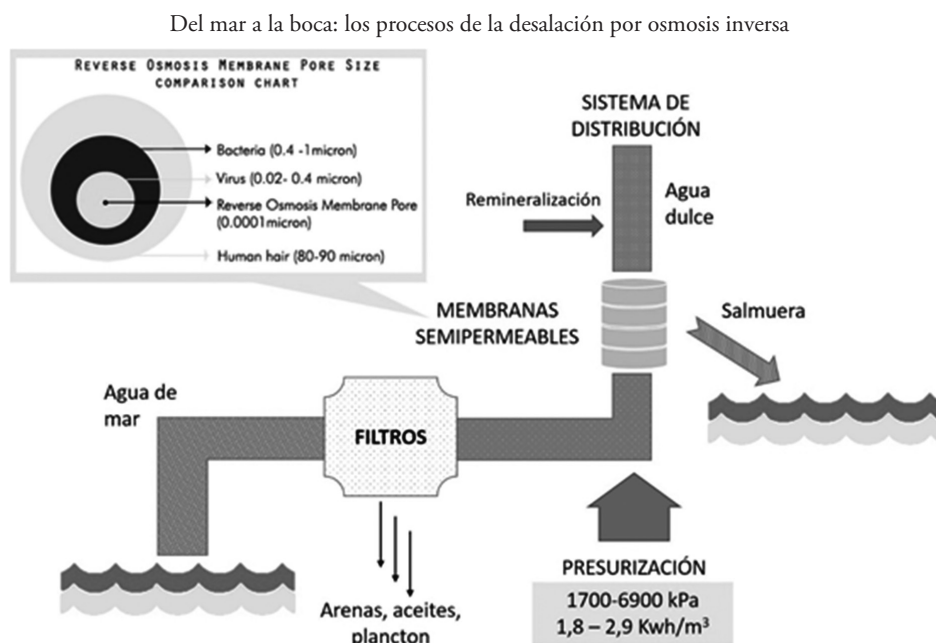
Las desaladoras de osmosis inversa, al ser menos intensivas en términos de energía, generan menos gases de efecto invernadero, entre 1,4 y 1,8 kilos de CO<sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de agua producida, y su contribución al cambio climático es menor.

Por el contrario, la salmuera producida a partir de osmosis inversa tiene aproximadamente hasta el doble de la salinidad del agua de mar que la procedente de las plantas térmicas. Esto es porque la eficiencia de esta tecnología es mayor, en torno al 50 % (45 % si el agua de origen proviene del mar y 75 % si se trata de agua salobre), es decir, como mínimo por cada metro cúbico de agua salada que entra, la membrana arroja medio metro cúbico de agua desalada y medio de salmuera. En cambio, las diversas técnicas de destilación tienen una eficacia que apenas supera el 30 %, y suelen producir salmueras más diluidas.

1. Se filtra el influente para quitarle algas, partículas de plástico, pequeños animales, larvas... El objetivo es que tenga las menos partículas en suspensión posibles porque así se consigue mayor rendimiento de las membranas semipermeables, que tienen unos poros tan pequeños que pueden taponarse fácilmente.
2. Se aplica una presión entre 1,8 y 2,9 kWh·m<sup>3</sup> para forzar al agua a que pase a través de las membranas, lo que requiere un alto consumo energético, el mayor de todo el proceso. El resultado es agua pura, sin el 99,5 % de las sales disueltas, y sin virus, ni bacterias.
3. Como subproducto, se obtiene salmuera que será conducida a través de unos emisarios mar adentro para ser inyectada al mar.
4. Por último se remineraliza el agua para que contenga las sales propias del agua de boca, como calcio y magnesio, entre otros.

<sup>11</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

Figura 3. Esquema del funcionamiento de una planta desaladora que utiliza osmosis inversa



### 3. La desalación en el mundo

En el año 2018, había 15.906 plantas desaladoras operativas y en construcción en todo el mundo, el triple que a principio de siglo<sup>12</sup>. Todas ellas suman una capacidad teórica para desalar 95,37 millones de m<sup>3</sup> al día, 34.000 millones de m<sup>3</sup> anuales. Sería como llenar casi al completo la presa de las Tres Gargantas de China, cada año. Dos tercios de las plantas captan agua de mar y el otro tercio lo hace de aguas salinas del interior, mayoritariamente de acuíferos. Además, siete de cada diez metros cúbicos de agua desalada se generan mediante osmosis inversa.

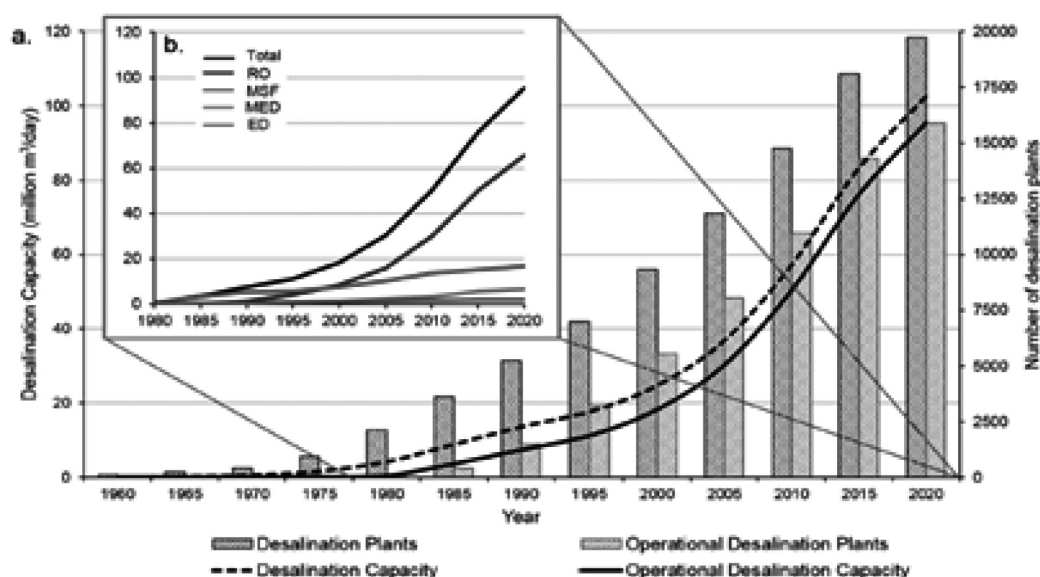
El gran peso de la energía en el proceso de desalinización explica por qué casi una de cada tres plantas que existe en todo el mundo se encuentra en los países del Golfo, como Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait, donde hay mucho petróleo y es barato. Por la misma razón, el 71 % de la capacidad global de desalinización está localizada en los estados más ricos, mientras que los más pobres no llegan ni al anecdótico 0,1 %.

El alto precio del agua desalada condiciona los usuarios finales que están dispuestos a pagarla. El principal uso es el agua de boca, que acapara seis de cada diez metros cúbicos que se producen. En segundo lugar, con un tercio de la producción de agua, se colocan las industrias de alto valor añadido, como las farmacéuticas y las de componentes electrónicos, que precisan agua de alta calidad, con baja concentración salina, para sus procesos.

<sup>12</sup> <https://www.desaldata.com/>.

El riego solo usa el 1,8 del agua desalada y eso que, según Naciones Unidas, los cultivos son el mayor consumidor hídrico del mundo, acaparando el 70 % del agua dulce del planeta. La razón es de nuevo el precio del metro cúbico que solo la hacen económicamente viable en explotaciones agrícolas modernas, altamente intensivas que producen verduras caras. Estas se pueden permitir seguridad y constancia en el suministro, en contraposición a los cultivos extensivos donde el coste del agua tiene un peso enorme, cerca del 20 % del coste de producción. Además, las aguas procedentes de desaladora tienen concentraciones demasiado bajas de calcio y magnesio, y demasiado altas de boro, que son perjudiciales para los cultivos.

Gráfico 1. Tendencia de la desalación mundial por a) número y capacidad de las instalaciones; y b) por tecnología



Fuente: Jones *et al.* (2019): *The state of desalination and brine production: A global outlook.*

Tabla 1. Número y capacidad de desaladoras por región, nivel de riqueza y uso

	Número de plantas desaladoras	Capacidad de desaladoras	
		Millones m <sup>3</sup> /día	%
<b>Total mundial</b>	<b>15.906</b>	<b>95,37</b>	<b>100,00</b>
Oriente Medio y Norte de África	4.826	45,32	47,5
Este de Asia y Pacífico	3.505	17,52	18,4
Norteamérica	2.341	11,34	11,9
Europa Occidental	2.337	8,75	9,2
Latinoamérica y Caribe	1.373	5,46	5,7
Sur de Asia	655	2,94	3,1
Europa del Este y Asia Central	566	2,26	2,4
África Subsahariana	303	1,78	1,9
<b>Nivel de ingresos</b>			
Alto	10.684	67,24	70,5
Medio alto	3.075	19,16	20,1
Medio bajo	2.056	8,88	9,3
Bajo	53	0,04	0,0
<b>Especialización sectorial</b>			
Municipal	6.055	59,39	62,3
Industria	7.757	28,80	30,2
Energía	1.096	4,56	4,8
Regadío	395	1,69	1,8
Militar	412	0,59	0,6
Otros	191	0,90	0,4

Fuente: Jones *et al.* (2019): *The state of desalination and brine production: A global outlook*.

## 4. Desalación en los países del Mediterráneo

El gran éxito de la desalación a nivel global en las últimas décadas también se replica en casi todos los países de la cuenca mediterránea. Desde 1970 hasta el año 2013, se instalaron más de 1.532 desaladoras alrededor de la cuenca, concentradas mayoritariamente en los bordes sur y este, donde la escasez hídrica es mayor<sup>13</sup>.

En los primeros años del siglo XXI, de 2000 al 2013, la capacidad instalada se incrementó un 560 %, alcanzando los 12 millones de metros cúbicos al día<sup>14</sup>.

Una posible explicación a la adopción de la desalación en la mayoría de los países mediterráneos es que llegaron a la conclusión de que la combinación del rápido incremento poblacional y su tendencia a concentrarse en zonas costeras; el crecimiento económico; la expansión de la agricultura de regadío y el turismo; y el cambio climático que está experimentando la zona

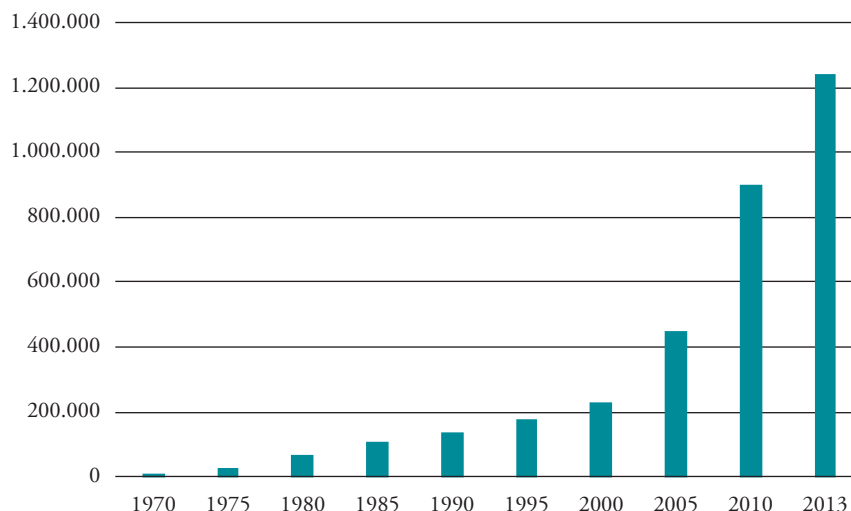
<sup>13</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

<sup>14</sup> GWI, *Desaldata* (2013).



tienen como consecuencia una grave escasez crónica de agua dulce. En consecuencia, la desalinización apareció como una técnica prometedora para aprovechar el agua del mar Mediterráneo que promete asegurar el abastecimiento independientemente de las condiciones climáticas.

Gráfico 2. Capacidad de desalinización acumulada en los países mediterráneos desde 1970 hasta 2013. En m<sup>3</sup>/día



Fuente: SWIM (2015): *Desalination in the Mediterranean region: Cumulative environmental impacts revealed by a recent assessment*.

Además, las mejoras actuales en las tecnologías de desalinización, la reducción de los costes de operación, junto con el aumento del precio y la irregularidad de los suministros de agua convencionales, las disputas sobre los derechos de agua transfronterizos están llevando el agua desalinizada al centro de atención como una opción estratégica de suministro de agua en muchos países mediterráneos. Estas son las conclusiones a las que llega el informe de 2015 del proyecto de investigación, financiado por la Unión Europea, *Gestión Integrada de Agua Sostenible* (SWIM, en sus siglas en inglés)<sup>15</sup>.

Del mismo modo que pasaba a nivel global, la osmosis Inversa es la tecnología de desalinización más común en los países mediterráneos, responsable del 82,3 %<sup>16</sup> de la capacidad instalada total y de casi 10 millones de metros cúbicos diarios de agua desalada. La clara apuesta por esta tecnología viene de largo, ya que fue esta región la primera en utilizarla en la década de los años 90 del pasado siglo, en pequeñas instalaciones en Canarias y Baleares para cubrir las necesidades del turismo.

<sup>15</sup> (SWIM (2015): *Desalination in the Mediterranean region: Cumulative environmental impacts revealed by a recent assessment*.

<sup>16</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

La segunda tecnología de desalinización más común en uso en la región es la evaporación instantánea multietapa, con un 11,2 % de la capacidad y unos 1,4 millones de metros cúbicos diarios de producción. Le sigue la desalinización en múltiples efectos, con solo el 6,5 % y 0,8 millones m<sup>3</sup>/día<sup>17</sup>.

La desalinización en el Mediterráneo empezó en islas con pocos recursos hídricos y con limitada capacidad de regulación y almacenaje como es el caso de Malta, Baleares, Chipre; o en zonas costeras rodeadas por desiertos como Argelia. Después, esta tecnología se extendió por el resto de los países de la mano de la explosión demográfica que experimentó la región. Hasta el punto de que, hoy en día, entre las plantas más grandes del mundo se encuentran las de Argelia e Israel (y en Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudí, fuera del Mediterráneo). En este país, la planta de Sorek es la mayor instalación de agua de mar por ósmosis inversa que está operativa, con una capacidad de 624.000 m<sup>3</sup>/día. Le sigue la planta de Magtaa, en Argelia, que produce 500.000 m<sup>3</sup>/día.

Por países, España ocupa el primer lugar entre sus vecinos mediterráneos con una producción desalinizadora teórica de 5 millones m<sup>3</sup>/día de agua que producen cerca de 800 plantas desaladoras. Cantidad que, si se destinara enteramente al consumo humano, sería suficiente para abastecer a unos 34 millones de españoles<sup>18</sup>.

La medalla de plata la ostenta Argelia con una producción diaria de 2,4 millones m<sup>3</sup> (20 %), seguido por Israel, con 2,1 millones de m<sup>3</sup> (18 %)<sup>19</sup>. Libia está en el cuarto lugar haciendo uso de su posición estratégica privilegiada con 2.000 km de costa.

Respecto al uso que se le da al agua desalada, casi nueve de cada 10 m<sup>3</sup> que se producen se destinan a suministrar agua de boca. Hay un porcentaje de agua considerable que es aprovechada por refinerías, centrales eléctricas y otras industrias, que necesitan agua de alta pureza para sus procesos.

La región mediterránea, sobre todo los países europeos del sur, depende de la industria turística de verano, que requiere suministro abundante y garantizado de agua potable. Esta demanda tiene la peculiaridad de que es estacional, ya que los turistas se concentran principalmente en verano. Provisionar estos suministros adicionales de agua con desaladoras tiene la ventaja de que se pueden encender o apagar literalmente según sea necesario<sup>20</sup>.

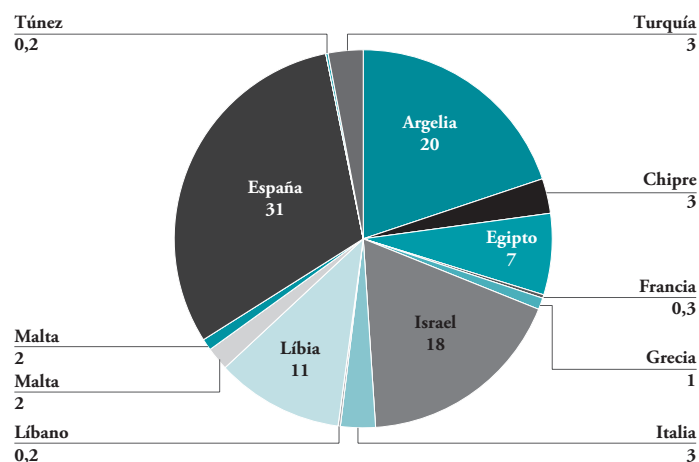
<sup>17</sup> SWIM (2015): *Desalination in the Mediterranean region: Cumulative environmental impacts revealed by a recent assessment*.

<sup>18</sup> Asociación Española de Desalación y Reutilización (2019).

<sup>19</sup> GWI, Desaldata (2013).

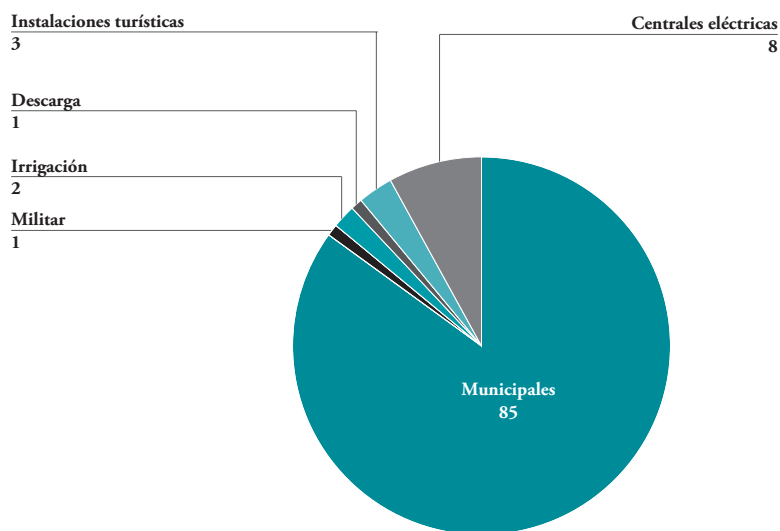
<sup>20</sup> WATER WORLD (2002): *Desalination activity rising on Mediterranean coast*.

Gráfico 3. Capacidad de desalinización de cada país mediterráneo. En porcentaje



Fuente: SWIM (2015): *Desalination in the Mediterranean region: Cumulative environmental impacts revealed by a recent assessment.*

Gráfico 4. Agua desalada por uso. En porcentaje



Fuente: SWIM (2015): *Desalination in the Mediterranean region: Cumulative environmental impacts revealed by a recent assessment.*

Respecto al 2 % destinado al riego en todo el Mediterráneo, más de 9 de cada 10 metros cúbicos lo emplea España, en sus cultivos altamente tecnológicos y de alto valor añadido, como son los vegetales que se producen en invernadero fuera de temporada para exportarlos al mercado europeo, según estudios<sup>21</sup> del Instituto Euromediterráneo del Agua. La razón es

<sup>21</sup> IEA (2008): *Desalación de aguas: aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos.*

que son los únicos que pueden afrontar los precios del agua desalada, muy por encima de las tarifas muy ventajosas a las que tienen acceso los regantes.

## 5. Desafíos de la desalación en la región mediterránea

En la región mediterránea, más de 8 de cada 10 desaladoras utilizan osmosis inversa que captan agua de mar. Por esta razón, los principales desafíos considerados hacen especial hincapié en esta tecnología.

### 5.1. Energía y crisis climática

La desalinización consume más energía que cualquier otro proceso para obtener agua potable, como son la extracción, la potabilización y el tratamiento de aguas residuales, entre otros. Anualmente, desalar requiere 75,2 teravatios hora, aproximadamente el 0,4 % de la electricidad mundial<sup>22</sup>. Suficiente para haber dado luz a un tercio de España durante todo 2017<sup>23</sup>.

En el caso del Mediterráneo, se prevé que los 30 millones de metros cúbicos de agua al día que se desalarán en 2030 requerirán al año entre 40 a 45 teravatios hora, es decir, alrededor del 20 % de la demanda total de energía dedicada al sector del agua<sup>24</sup>.

Aunque los datos varían en función del tamaño, diseño y capacidad de la planta, las desaladoras térmicas consumen el doble de energía que las que utilizan membranas, ocho kilovatios hora por metro cúbico frente a los entre tres y cuatro de las segundas<sup>25</sup>. Pese a las mejoras energéticas de la osmosis inversa, todavía queda lejos de los consumos de otros métodos de obtención de agua que, en el mejor de los casos, solo necesita 0,37 kilovatios hora por metro cúbico.

Dado que la energía supone más de la mitad del coste de desalar, el agua desalinizada es cara, un lujo inalcanzable para países en vías de desarrollo y para la mayoría de los usos. Por ejemplo, en el caso de España, donde los regantes pagan de media 10 céntimos por metro cúbico de agua embalsada, los entre 60 y 80 céntimos que cuesta de media el mismo volumen de desalada solo les compensa a los cultivos muy rentables.

La energía se obtiene mayoritariamente a partir de combustibles fósiles, así que la desalación es responsable de emitir grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que agrava la crisis climática. Se estima que las desaladoras instaladas en todo el mundo contribuyen

<sup>22</sup> SHAHZAD *et al.* (2017): *Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability.*

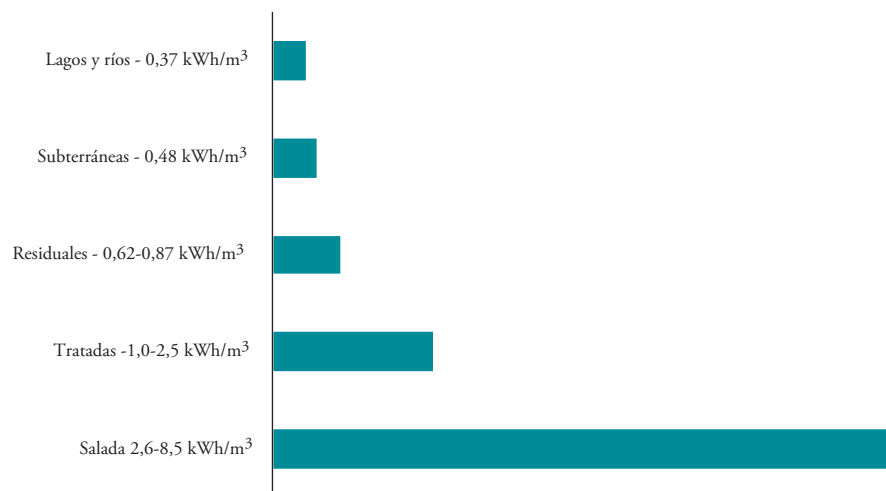
<sup>23</sup> Según datos de UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica).

<sup>24</sup> PLAN BLEU (2010): *Sea water desalination: to what extent is it a freshwater solution in the Mediterranean?*

<sup>25</sup> SHAHZAD *et al.* (2017): *Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability.*

con 76 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, cantidad que crecerá exponencialmente hasta los 218 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales en 2040 y 400 millones de toneladas en 2050<sup>26</sup>.

Figura 4. Cantidad de energía necesaria para producir una unidad de agua en función del agua de origen



Fuente: Shahzad *et al.* (2017): *Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability*.

Si no se toman medidas, las propias desaladoras sufrirán las consecuencias de la crisis climática: aquellas construidas en la costa, son vulnerables a cambios en la posición del nivel del mar por encima de dos o tres centímetros<sup>27</sup>.

La clave para reducir el impacto está en encontrar materiales para hacer las membranas que necesiten menos presión para filtrar el agua. Menos presión, menos energía. En este sentido, los investigadores del *Massachusetts Institute of Technology* llevan tiempo experimentando con el grafeno, aunque hay muchos otros candidatos, como biomembranas que incorporan proteínas. Se estima que las primeras mallas de nueva generación se comercializarán en una década.

Otra línea de trabajo para reducir el consumo energético es incorporar sistemas de recuperación de energía, que ya se instalan en muchas desaladoras y pueden ahorrar hasta un 30 % de electricidad. En desaladoras con agua de mar, grandes cantidades de sal salen propulsadas de las membranas. Ese chorro a presión se turбина para que genere electricidad que se devuelve a la red.

<sup>26</sup> (2015): *Concept Chapter, Global Clean Water Desalination Alliance «H<sub>2</sub>O minus CO<sub>2</sub>»*.

<sup>27</sup> FUNDACIÓN INSTITUTO EUROMEDITERRÁNEO DEL AGUA (2009): *Desalación de Aguas. Aspectos Tecnológicos, Medioambientales, Jurídicos y Económicos*.

### Desalación con energías renovables: ¿realidad o ficción?

La combinación de la desalinización con fuentes de energía renovables tiene el potencial de suministrar agua dulce sostenible. Al menos, en un futuro porque de momento las cifras están muy lejos de ser significativas: las más de 130 pequeñas plantas de desalinización alimentadas con energía renovable diseminadas por todo el mundo producen solo el 1 % del total de agua desalinizada.

La tecnología más extendida es la solar fotovoltaica, con un 43 %, seguida de un 27 % de energía solar térmica y un 20 % de energía eólica<sup>28</sup>. Varias de estas plantas piloto de entre 0,5 a 200 cúbicos se encuentran en países mediterráneos como Egipto, Argelia, Túnez y España.

El único inconveniente de utilizar paneles solares es el área requerido para la instalación. Como regla general, para operar una pequeña planta de osmosis inversa que produzca un metro cúbico al día (por lo que el consumo energético no es tan eficiente como las grandes instalaciones y puede subir hasta los ocho kilovatios hora por metro cúbico), la instalación fotovoltaica requiere una superficie de casi 28 metros cuadrados<sup>29</sup>.

Otras plantas situadas en Francia, Grecia y Fuerteventura, con capacidades entre 12 y 56 m<sup>3</sup> al día, optaron por aerogeneradores como fuente de energía<sup>30</sup>.

## 5.2. Salmuera

Las desaladoras generan vertidos con un contenido mayor en sales que las aguas de origen, sobre todo en las que proceden de plantas equipadas con tecnologías de membrana<sup>31</sup>. En las plantas de osmosis inversa, de media, se genera un litro y litro y medio de salmuera (60-70 gramos de sal por litro frente a los 30-35 que tiene el océano de media) por cada litro de agua dulce que se produce<sup>32</sup>. Un 50 % más de lo que se pensaba hasta ahora, señala un estudio publicado en 2019. Además, la investigación dibuja una realidad inquietante: el con-

<sup>28</sup> MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DA ENERGIA E DO AMBIENTE (2014): *Renewable Energy Powered Desalination Systems: Technologies and Market Analysis*.

<sup>29</sup> MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DA ENERGIA E DO AMBIENTE (2014): *Renewable Energy Powered Desalination Systems: Technologies and Market Analysis*.

<sup>30</sup> ABUSHARKH, GIWA Y HASAN (2015): *Wind and Geothermal Energy in Desalination: A Short Review on Progress and Sustainable Commercial Processes*.

<sup>31</sup> GARCÍA Y BALLESTEROS: *El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas*. CSIC.

<sup>32</sup> JONES *et al.* (2019): *The state of desalination and brine production: A global outlook*.

junto de las desaladoras del mundo genera 141 millones de metros cúbicos de salmuera al día, 51.700 millones al año, suficientes para desbordar 23 millones de piscinas olímpicas. Cada año.

El efluente tiene diferente temperatura, pH y alcalinidad que el mar en el que desemboca. También contiene sustancias químicas utilizadas durante el pretratamiento de las aguas captadas antes de ser desaladas. Se añade cloro para evitar que proliferen microbios en las membranas y bisulfito sódico para eliminar el cloro que, a su vez, puede deteriorar las membranas. Y eso no es todo: ácido sulfúrico –antoincrustrante–, cloruro férrico –anticoagulante–, metales pesados procedente de la corrosión de la maquinaria y, en las descargas puntuales cuando se limpian las membranas, detergentes y partículas en suspensión de los filtros de entrada.

Debido al gran volumen de efluente, el almacenaje en superficie no es viable por el peligro de contaminación fortuita de los recursos hídricos superficiales y subterráneos debido a desbordamientos fortuitos, crecidas y filtraciones. Así que, hoy por hoy, la opción más extendida es echarlo al mar<sup>33</sup>. El problema es que su elevada densidad forma una pluma salina que decanta en el fondo marino y se dispersa pegada a él, lo que afecta inevitablemente a sus comunidades bentónicas, como estrellas, erizos, pulpos, sepias y praderas de algas como las endémicas del Mediterráneo *Posidonia oceánica*, entre otros muchos<sup>34</sup>.

¿En qué medida les perturba? No hay consenso científico ya que son escasos los estudios, los que hay no llegan a las mismas conclusiones, y no hay apenas publicaciones sobre seguimientos de la dispersión de los vertidos a largo plazo<sup>35</sup>. Sin embargo, cada vez hay más investigaciones que señalan la existencia de efectos locales sobre la biota marina en amplias zonas de la plataforma marina en las proximidades del emisario, lo que afecta tanto al plancton como a larvas, huevos y peces que no soportan aguas con esa composición. También concluyen que alteran la actividad y la diversidad de bacterias y microalgas, reducen la abundancia de meiofauna y afectan la fisiología de las praderas de pastos marinos<sup>36</sup>. La razón, señalan, es que el aumento de temperatura, la salinidad y el bisulfito sódico reducen el oxígeno en el agua de mar. Los organismos literalmente se ahogan y al morir empeoran la situación porque su descomposición consume aun más oxígeno<sup>37</sup>. También está el efecto que tienen los metales pesados y la acumulación de otros tóxicos permanentes en los organismos. Los que se pueden mover, huyen; los demás tienen que hacer frente al coctel de temperatura, químicos y sal.

Lo que parece aceptado es que los resultados son específicos del lugar donde se inyecte la salmuera, de la sensibilidad del entorno receptor, del proceso de desalinización, del tamaño de la planta, de la composición de la descarga y de cómo se realice el vertido<sup>38</sup>.

Diversas soluciones pasan por reducir la cantidad de salmuera, mejorando la eficiencia del proceso de desalación y filtrarla inyectándola sobre la arena de la playa, con la complicación de que limita el volumen de vertido, a la vez que puede dañar acuíferos de agua dulce, salini-

<sup>33</sup> IEA (2008): *Desalación de aguas: aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos*.

<sup>34</sup> JONES *et al.* (2019): *The state of desalination and brine production: A global outlook*.

<sup>35</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

<sup>36</sup> PETERSEN *et al.* (2018): *Impacts of Seawater Desalination on Coastal Environments*.

<sup>37</sup> INSTITUTO EUROMEDITERRÁNEO DEL AGUA (2009): *Desalación de Aguas. Aspectos Tecnológicos, Medioambientales, Jurídicos y Económicos*.

<sup>38</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

zándolos. También se puede soltar el rechazo en lugares donde se favorezca su dilución: lejos de la costa, evitando las zonas sensibles (desove, praderas de poseidonia...), buscando zonas de corrientes o profundas. Además, un correcto programa de vigilancia ambiental de los vertidos de cada desaladora permitiría identificar y mitigar los impactos ambientales<sup>39</sup>.

### 5.3. Captación

Las desaladoras de agua de mar captan el influente en aguas marinas cercanas a la costa. Estas son con frecuencia hábitats ricos donde se concentra la fauna y zonas de desove; y en las que las larvas y los pequeños organismos son muy vulnerables a ser absorbidos junto con el agua que entra en la planta<sup>40</sup>. Existe consenso en que tanto la flora como la fauna arrastrada perecerá durante las diferentes etapas del proceso de desalinización<sup>41</sup>.

Una de las medidas para atenuar la entrada accidental de grandes organismos es la reducción de la velocidad de absorción del agua y la colocación de mallas que intercepten el flujo. Para minimizar la succión de animales de menor tamaño, conviene situar la toma de agua alejada de las áreas reproductivas y de puesta.

## 6. ¿La desalación es una posible solución a la escasez hídrica del Mediterráneo? Hablan los expertos

«La desalinización puede ser una medida para mejorar la disponibilidad de agua, pero es necesario abordar las preocupaciones ambientales y económicas vinculadas».

*Karmenu Vella* (comisario europeo de Medio Ambiente, Asuntos Marítimos y Pesca)

La Comisión Europea considera la instalación de desaladoras una medida más de gestión del agua y adaptación al cambio climático. Y deja que «cada Estado miembro sea el que decida si es la opción más adecuada para combatir la escasez hídrica de su territorio». Así lo explicaba el comisario europeo de Medio Ambiente, Asuntos Marítimos y Pesca, Karmenu Vella, durante una respuesta parlamentaria en febrero de 2018<sup>42</sup>, a si la Comisión consideraba la desalinización una medida útil, especialmente en la zona mediterránea.

Vella recordaba que «ya existen mecanismos de financiación europeos –en referencia al Programa LIFE y al Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER)– y políticas europeas –Políticas de Cohesión, Comunicación de Escasez de Agua y Sequías<sup>43</sup> y el Plan

<sup>39</sup> SOLA *et al.* (2018): *Evaluación y aspectos de mejora de los programas de vigilancia ambiental de vertidos de desalinizadoras*.

<sup>40</sup> IEA (2008): *Desalación de aguas: aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos*.

<sup>41</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

<sup>42</sup> [http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2017-007708-ASW\\_EN.html](http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-8-2017-007708-ASW_EN.html).

<sup>43</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0414&from=ES>.



para Salvaguardar los Recursos Hídricos de Europa<sup>44</sup>— que permiten a los Estados miembros asignar recursos para abordar la escasez de agua de manera estratégica». Es por ello que, «en la actualidad, la Comisión no tiene intención de proponer iniciativas adicionales» que apoyen de manera específica la desalación en la Zona, concluye.

Aun así, Europa es muy consciente de que en los países del sur se prevé una disminución gradual de las precipitaciones y un aumento del estrés hídrico. Situación que comparten los territorios que vierten al Mediterráneo. Por eso la Unión Europea es, junto con los 21 países mediterráneos, uno de los firmantes del Convenio de Barcelona y se compromete a implementar el Plan de Acción para la protección y el desarrollo de la cuenca del Mediterráneo (PAM), un acuerdo regional bajo el auspicio del Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente.

En ese marco, una de las guías técnicas que ha suscrito la UE es la que establece cómo se debe desalinizar de forma sostenible y de qué manera tiene que monitorizarse el medio ambiente para controlar su impacto<sup>45</sup>.

«Si son las desaladoras mejores o peores que otras medidas de gestión del agua, eso hay que valorarlo en cada caso. No hay una respuesta única, ni fácil».

*José Morillo Aguado* (director del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, y director del Máster Propio en Tecnologías y Gestión del Ciclo del Agua de la Universidad de Sevilla)

Al litio se le ha apodado en los últimos años el oro blanco, debido al *boom* de los coches eléctricos y teléfonos inteligentes que lo llevan en sus baterías. Los fabricantes lo buscan en las minas pero el océano contiene 230.000 millones de toneladas de este metal, cuatro veces más que todas las reservas terrestres juntas.

José Morillo Aguado, profesor titular de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Sevilla, ha estado trabajando junto con la empresa Abengoa para desarrollar métodos que permitan rescatar el litio de los vertidos de las desaladoras. «Las salmueras de las plantas desaladoras de agua de mar tienen el doble de salinidad que el mar, por lo que resulta un recurso valioso si se quiere recuperar sus sales», señala. Lo que es un factor a tener en cuenta dado que el preciado elemento está en concentraciones muy bajas en las aguas marinas, entre 0,1 y 0,2 partes por millón.

Si bien, todavía está en proceso de desarrollo, no solo podría obtener litio, sino también magnesio, que se utiliza para la fabricación de materiales refractarios. «También sería muy interesante poder recuperarlo y usarlo en la propia desaladora para remineralizar el agua dulce obtenida, que es deficitaria en este elemento», explica Morillo.

Aunque esta minería de mar no soluciona el problema del vertido de salmuera, es una oportunidad para valorizar un recurso que se desecha. Que, además, «será cada vez va más

<sup>44</sup> [http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm).

<sup>45</sup> UNEP/MED POL (2017): *Updated guidelines on the management of desalination activities*.

abundante» porque las previsiones dibujan un futuro de escasez hídrica en el que las desaladoras serán «sin duda» parte de la solución para combatirla. «¿Si son mejores o peores que otras medidas de gestión? Eso hay que valorarlo cada caso. No hay una respuesta única, ni fácil», concluye.

«No hay un horizonte corto para soluciones sencillas a los problemas ambientales de la desalación, especialmente las salmueras».

*Antonio Martínez Nieto* (secretario general de la Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua)

A principios de 2019, saltaron las alarmas por contaminación en el Mar Menor. La principal causa fueron los vertidos procedentes de la desalación de aguas subterráneas para regar los cultivos de la zona. «Las más de 800 desaladoras privadas carecían de un sistema colectivo para la gestión de salmueras», explica Antonio Martínez Nieto, secretario general de la Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. Este es un ejemplo de la dificultad de evitar los problemas ambientales de la desalinización que, aunque son bien conocidos, «al tratarse de una tecnología madura no hay un horizonte corto para soluciones sencillas, especialmente las salmueras», comenta.

Algo parecido ocurre con otro de los impactos negativos de esta tecnología, la gran cantidad de gases de efecto invernadero que genera. «La desalación es mala noticia para el cambio climático, por la demanda energética principalmente», señala Martínez Nieto. En su opinión, «poner en marcha plantas con fuentes renovables es una buena idea, también construir las instalaciones mar adentro; pero nada de esto es viable por el momento, al menos para la escala industrial».

Mientras que se buscan remedios tecnológicos, los efectos que ya ocasiona el cambio climático «obliga a repensar el sistema nacional de agua». El experto cree que «la desalación no es solución para la agricultura pero, en cambio, garantiza el abastecimiento urbano en las zonas costeras como se ha demostrado en el levante español en verano».

También considera «fundamental» aplicar un mix de medidas para asegurar el abastecimiento en lugares de escasez. «Gracias a la gestión de la demanda, la reutilización y el empleo de otros recursos no convencionales, junto con el trasvase, la región de Murcia, Almería y Alicante es viable». Aunque «los regadíos de esa zona tienen poco margen para disminuir su consumo, pues se encuentran entre los más modernos y eficientes de Europa», reconoce.

«No existen problemas ambientales si se diseñan y operan las desaladoras de forma correcta».

*Domingo Zarzo Martínez* (presidente de la Asociación Española de Desalación y Reutilización [AEDyR])

Domingo Zarzo Martínez, presidente de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR), lo tiene claro: «la desalación no genera problemas ambientales si se diseñan

y operan las plantas de forma correcta». Recuerda que los altos consumos energéticos de los comienzos de esta tecnología –que rondaban los 20 kilowatios hora necesarios para producir un metro cúbico de agua pura–, se han reducido hasta los 2,5 kilowatios hora por metro cúbico, lo que «supone un consumo muy reducido para la producción de agua de gran calidad», enfatiza.

«La discusión sobre la emisión de gases de invernadero es también artificial», indica. Como él mismo explica, «la desalación no tiene emisiones directas y las indirectas producidas por la energía consumida están acordes al modelo energético que alimenta la red eléctrica, como cualquier otro consumidor (industria, doméstico, etc.)». En su opinión, «lo que hay que cambiar y mejorar es el modelo energético incrementando el porcentaje de energías producidas mediante fuentes renovables y reduciendo el uso de combustibles fósiles». En este sentido, Zarzo Martínez considera que las principales dificultades para lograrlo son, por un lado, que muchas veces la ubicación de la estación puede no ser el lugar más adecuado para la generación de energía renovable (por falta de viento en el caso de la eólica o de radiación, en el caso de la solar); y, por otro, la discontinuidad en la producción de estas energías, lo que obliga a tener sistemas de almacenamiento de energía, que son caros, o al respaldo de la conexión con la red eléctrica general.

Respecto a la salmuera en el caso de agua de mar, el experto considera que se trata «simplemente de agua de mar concentrada, sin otros contaminantes o productos químicos» por lo que si su vertido se realiza en una zona adecuada donde no haya especies ambientales especialmente sensibles a la salinidad, con dilución previa y con el apoyo de difusores para su mezcla, «no existe un impacto detectable». Mayor problema tiene las salmueras de desaladoras de agua salobre –con mayores concentraciones de Sulfatos y Nitratos, entre otros– y en zonas de interior.

Así que en opinión de este experto, «no existen problemas ambientales si se diseñan y operan las desaladoras de forma correcta».

Zarzo Martínez, que también es miembro del Patronato y Comité Científico de IMDEA Agua (Instituto Madrileño de Estudios Avanzados - Agua) no tiene ninguna duda de que los recursos no convencionales (desalación y reutilización) juegan un papel cada vez más importante en la planificación hidrológica junto con las fuentes tradicionales de agua (superficial, subterránea y trasvases). Incluso sectores tradicionalmente reacios a la desalación, como el agrícola, están apostando ahora por ella «debido a la rentabilidad del metro cúbico producido por esta agua de tanta calidad y la creciente y previsible reducción de los trasvases, por motivos políticos y/o ambientales que, además, se incrementará en el tiempo por el cambio climático y las tensiones territoriales», señala.

«Todos los recursos de agua deben convivir, y el modo más inteligente para ello es la mezcla de todos los recursos (convencionales y no convencionales), para obtener agua de calidad para todos los usos a precios asumibles», concluye.

«La desalación debería ser la última de las opciones y solo para abastecer agua de boca».

*Julio Barea Luchena* (responsable de campañas de Consumo y Biodiversidad de Greenpeace España)

El acceso al agua es un derecho fundamental, pero «no lo es el que demanda la agricultura intensiva insostenible de grandes agroindustrias, ni tampoco la que necesitan los campos de golf y los parques acuáticos de zonas deficitarias», explica Julio Barea Luchena, responsable de campañas de Consumo y Biodiversidad de Greenpeace España. En su opinión, «la política de aguas de España tiene como objetivo cubrir todas las demandas, sin ningún criterio; y no nos lo podemos permitir».

Además, invita a la reflexión: quizás se podrían ahorrar necesidades hídricas como las asociadas a ciertas prácticas «excesivas» de la industria turística. «Tenemos que pensar qué turistas queremos atraer», expone Barea Luchena.

«La desalación debería ser la última de las opciones y solo para abastecer agua de boca», señala. Barea cree que «se empieza a solucionar por el final» porque «hay muchas otras medidas que se pueden tomar antes, como la gestión de la demanda y el fomento de la reutilización en determinados usos».

La desalación conlleva serios problemas intrínsecos. «El de la energía podría minimizarse si el 100 por 100 de las plantas se alimentaran de fuentes renovables, comenta el experto. Pero la contaminación salina de acuíferos, donde se capta el agua salobre para desalar, y las descargas de salmuera «no se pueden obviar». «Lo ideal es que hubiera muy pocas desaladoras o ninguna», concluye.



# EL FONDO DEL MAR Y EL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES

*Chola Mateos*  
Periodista

## Resumen

En 1851, un ingeniero llamado Bleriot conseguía unir Inglaterra con el resto de Europa con un cable submarino a través del canal de la Mancha. Con su misma técnica, en 1858, el viejo continente se unía también con el nuevo. El cable submarino sirvió no solo para consolidar la sincronización del mundo occidental entre las dos potencias más importantes, sino que instauró la primera gran noción de un orbe completamente conectado. Un hito histórico y una hazaña tecnológica de gran calibre cuya trascendencia fue más allá de la pura ingeniería. Desde aquel año de mediados del siglo XIX la red fundamental para las comunicaciones globales por cable no ha parado de crecer. Un siglo y medio después, y con la ingente cantidad de inventos que se han desarrollado, el cable submarino sigue siendo la solución más idónea para transmitir información o electricidad.

## Abstract

*In 1851, an engineer named Bleriot succeeded in linking England with the rest of Europe via a submarine telegraph cable across the English Channel. In 1858 the same technique was used to link the old continent with the new, synchronising the Western world's two major powers and consolidating the idea of a fully connected globe. The transatlantic cable was a historic milestone and a major technological feat, yet its significance went beyond mere engineering. Since the mid-19th century, the global communications network has grown steadily. A century and a half later, despite innumerable inventions, submarine cable continues to be the most suitable means of transmitting data and electricity.*

La primera palabra a través del océano  
Palabras por el fondo del mar

En su libro *Momentos estelares de la humanidad*, Stefan Zweig nos anticipaba la trascendencia que tuvo la instalación del primer cable submarino en el mundo del ayer. Lo que Zweig no podía imaginar era que, siglo y medio después, aquella red inicial siga funcionando ni que, a pesar del desarrollo de los satélites espaciales, estos cables transmitan aún la mayor parte de nuestra información.

Todo empezó en 1837. En el transcurso de ese año el telégrafo del alemán Werner von Siemens permitió la conexión de forma simultánea entre las ciudades de Amberes, Moscú, Nápoles y Lisboa. Ese fue el comienzo de una nueva era en las comunicaciones por cable,

pero la naturaleza se resistió todavía algunos años, dejando excluidos de esa red a los países que estaban separados por el mar.

Y eso fue así por una cuestión de pura física: la chispa que se propagaba sin trabas, gracias a los aislantes de porcelana de los mástiles telegráficos, no funcionaba con el agua, que absorbía la corriente eléctrica. Era imposible dirigir esa chispa a través del mar mientras no se encontrara un recurso que aislase totalmente los hilos de hierro y cobre del líquido elemento.

Por fin, en 1851, un ingeniero llamado Bleriot, y con la ayuda de la guatapercha, una goma natural, translúcida y sólida, parecida al caucho, conseguía unir Inglaterra con el resto de Europa a través del canal de la Mancha. «Europa se ha transformado en la verdadera Europa, un ente que vive todos los acontecimientos de la época con un solo cerebro y un solo corazón, simultáneamente», contaba Zweig.

Algunos años más tarde, en 1856, se intenta instalar el primer cable que atravesase el océano Atlántico para conectar Irlanda con Canadá. La obra pretende optimizar la comunicación entre los dos continentes y reducir el tiempo que los mensajes tardan en llegar a su destino.

En una época en la que todavía no se había inventado la bombilla, ni se conocían algunas leyes fundamentales de la electricidad y la física, Cyrus Weld Field, experto en telégrafos, y William Thomson, físico y matemático irlandés, decidieron lanzar al océano 4.200 kilómetros de cable submarino.

No sabían muy bien cómo depositarlo en el fondo del mar, tampoco si iba a funcionar, ni siquiera qué pasaría cuando funcionara; pero en un momento en el que faltaba conocimiento, pero sobraba determinación, los dos emprendedores implantaron un cordón umbilical entre Foilhommerum Bay, en el oeste de Irlanda, y Heart's Content, al este de la isla de Terranova, en Canadá.

Para abordar la operación decidieron el encuentro de dos grandes barcos a medio camino entre ambos puntos, y desde ahí, cada uno de ellos transportaría simultáneamente a ambas costas los extremos opuestos, distantes 3.000 kilómetros.

Se estima que en 1855 ya había dispuestos unos veinticinco cables submarinos en los mares europeos; pero a pesar de esa experiencia, Field y Thomson vivieron dificultades de lo más variopintas en la instalación de su cable, desde tormentas hasta la pérdida de este en las simas del océano.

Pero, sobre todo, muchos de sus problemas fueron ocasionados de manera directa por el sabotaje de las compañías marítimas. Los propietarios de los transatlánticos atinaron a ver, no sin razón, que el invento resultaba perjudicial para sus beneficios económicos.

En 1858, y después de tres intentos previos, la proeza se lleva a cabo y el viejo continente se une con el nuevo a través de un cable submarino. Ahora, solo había que comprobar si ese cable conseguía hablar.

La reina Victoria de Inglaterra fue quien lanzó la primera palabra a través del océano: una felicitación de navidad al presidente de Estados Unidos James Buchanan. En el mensaje la soberana mostraba su esperanza en que las comunicaciones por cable fueran un enlace para la amistad entre países con intereses comunes.

Buchanan añadía además en su comunicado que se trataba de un triunfo más glorioso que cualquier conquista en el campo de batalla. Este primer mensaje tardó 17 horas y 40 minutos en transmitirse: una media de dos minutos y cinco segundos por carácter.

En las tres semanas de agosto de 1858 que duró la conexión, no dio tiempo a transmitir muchas más misivas, y a pesar de los grandes pronósticos, a principios de septiembre de 1858 la aventura tocó a su fin.

En contra del consejo de Thomson, que prefería mejorar la sensibilidad de la conexión en vez de incrementar la potencia, Field, jefe del proyecto, decidió aumentar los voltios de 600 a 2.000. El sistema, rudimentario todavía, no pudo asumir ese incremento y el cable se rompió. Habría que esperar otros seis años para ver el siguiente intento de conexión transatlántica.

En cualquier caso, el cable submarino sirvió no solo para consolidar la sincronización del mundo occidental entre las dos potencias más importantes, sino que instauró la primera gran noción de un orbe completamente conectado.

Un hito histórico y una hazaña tecnológica de gran calibre cuya trascendencia fue más allá de la pura ingeniería. Y aunque la eficacia de esta conexión fue limitada hasta entrado el siglo XX, su significado es innegable: el planeta empieza a ser realmente pequeño. El hecho de que virtualmente todo se halle conectado, hace que algunos abriguen esperanzas sobre un mundo mejor, tal vez menos proclive a la guerra y en el que los individuos se entiendan y toleren entre sí.

Inicialmente estos cables se tendían para dar servicio al telégrafo, pero, como ocurre a menudo en otros momentos de la historia, una innovación es remplazada por otra. La primera se extingue y la segunda triunfa y se impone.

También para el telégrafo llegó un punto final con la aparición del teléfono. Este último suponía una mejora enorme en la comunicación: en lugar de emplear operarios que codificaran los mensajes, los transmitieran y recibieran, un usuario podía hablar de forma directa con la persona interesada. Nada podía competir con semejante invento.

La caída del telégrafo arrastró todo cuanto se había desarrollado a su sombra y dio lugar al primer experimento de creación de una sociedad digital. Las esperanzas y dudas generadas por el telégrafo reaparecieron con la emergencia de internet a mediados del siglo XX, pero esa es otra historia. Aquí estamos contando la de los cables submarinos.

Desde aquel año de mediados del siglo XIX la red fundamental para las comunicaciones globales por cable no ha parado de crecer. Hoy alcanza una extensión de más de un millón de kilómetros.

## Cables eléctricos y cables de telecomunicaciones

Para entender cómo están enlazadas todas las partes del planeta y la velocidad a la que se hace, tenemos que mirar bajo el agua. En las profundidades de los mares y océanos que nos rodean se encuentran cientos de cables que conectan países y continentes. En total, son 378 sistemas de cables que hacen posible que compartamos información de forma inmediata, incluso con personas que se encuentran al otro lado del globo.

Más del 95 % del tráfico de voz y datos que se comparten en el mundo pasan por esta infraestructura.

En la actualidad, un cable submarino o interoceánico es un cable de cobre o fibra óptica depositado sobre el lecho del mar y destinado fundamentalmente a servicios de telecomunicación.

Pero, también existen cables submarinos que se dedican al transporte de energía eléctrica. En este caso las distancias cubiertas suelen ser relativamente pequeñas. Además, este tipo de cables va insertado dentro de una tubería especial para evitar riesgos al contacto con el agua dado que maneja potencias muy altas.

Haciendo un poco de historia sobre los nuevos desarrollos en cables submarinos, tenemos que destacar la invención, en 1956, de los repetidores y su utilización en el TAT-1, primer cable telefónico transatlántico. La adaptación de estos repetidores da comienzo a una nueva era en las comunicaciones internacionales, más rápida y fiable.

En 1986 se instala el primer cable internacional de fibra óptica que conecta Bélgica e Inglaterra y en 1988, se lanza el TAT-8, primer cable transoceánico de fibra óptica que conecta Estados Unidos con Inglaterra y Francia pudiendo transmitir 40.000 llamadas telefónicas simultáneas; una capacidad diez veces superior a las anteriores tecnologías basadas en los cables de cobre.

Algunos de estos cables submarinos son relativamente cortos, como el que conecta Irlanda con Reino Unido –de 131 kilómetros de longitud– mientras que otros son muy largos, como el de 20.000 kilómetros que une Asia con Norteamérica. El más profundo se encuentra en Japón y transcurre a 8.000 metros de profundidad.

¿Pero cómo es posible que un siglo y medio después, y con la ingente cantidad de inventos que se han desarrollado, siga siendo el cable submarino la solución más idónea para transmitir información o electricidad?

Cuando navegamos a través del océano digital en busca de una imagen, un documento o la letra de una canción, no somos conscientes de las dimensiones de las autopistas submarinas que nos permiten acceder a nuestras búsquedas.

De entrada, nuevamente es la naturaleza la que impone su ley. Los cables submarinos tienen mejor resistencia ante las inclemencias meteorológicas y sufren menos interacciones con humanos que las redes terrestres. Todo eso los posiciona como una infraestructura más segura y veloz.



Además, siguen siendo los que transmiten la mayor parte de la información a pesar del desarrollo de los satélites espaciales. La preeminencia del cable se debe también a que, mientras que una llamada por satélite tiene que recorrer casi 36.000 kilómetros desde la tierra y regresar, mediante el tendido alámbrico esa distancia se reduce hasta un máximo de 8.000 kilómetros.

Dada su importancia económica y política, el mantenimiento y la defensa de la red de cables es una tarea primordial. Por eso, las convenciones de la ONU imponen a los estados la obligación de protegerlos y facilitar su reparación, aunque muchos países no sean muy celosos al respecto e incluso dispongan toda clase de trabas burocráticas para dificultar esos trabajos.

Los cables suelen depositarse sobre el lecho marino a profundidades de hasta 8.000 metros, el equivalente a la altura del Everest, de ahí también la complejidad de su mantenimiento.

En la actualidad, una vez definidos origen y destino de un cable, se diseña la ruta por la que va a transcurrir gracias a una batimetría, es decir, un análisis en tres dimensiones del fondo marino. La batimetría determina el camino menos accidentado para que el cable no sufra incidencias durante toda su vida útil. Se trata de, una vez establecida la ruta más corta, realizar las desviaciones necesarias que eviten, en lo posible, accidentes orográficos submarinos.

Además, ya hay mecanismos que monitorizan los cables bajo el mar para que no se posibiliten daños causados por la industria de la pesca y la naval, ambas consideradas también una amenaza para el correcto funcionamiento del tendido de cables.

En los protocolos de seguridad, la estación de amarre, el lugar donde se enlaza el cable submarino a tierra, juega un papel decisivo a la hora de garantizar el buen funcionamiento del servicio. En la estación cuentan con una serie de herramientas tecnológicas que controla en tiempo real todo el sistema.

Los cables submarinos conectan directamente los continentes de una forma rápida. El satélite, como anticipábamos antes, se geoposiciona a 36.000 kilómetros de altura, así que posee una mayor latencia para la comunicación, tarda más. Un cable submarino tiene la capacidad de dos a tres mil satélites, y está mucho más preparado para un elevado flujo de datos.

El satélite es un complemento a esa conectividad: se encarga de llegar a zonas que se encuentran en el interior, a lugares de acceso complicado con un cable submarino. Pero cuando se consigue alcanzar el mar, lo más seguro es que el tráfico vaya por estos cables: son el camino más directo y rápido gracias a la fibra óptica.

La comunicación por satélite es minoritaria y desde la década de los 90 ha quedado relegada a dar cobertura de ancho de banda, por ejemplo, a la televisión para la transmisión de eventos deportivos, culturales y la navegación marítima y aeronáutica. Transporta menos del 5 % del tráfico transoceánico de voz y datos.

## ¿Cómo es la tecnología de un cable submarino?

Muchos piensan que un cable submarino es un tubo de un diámetro considerable, pero mide poco más de un centímetro, el tamaño de la chapa de una botella de cerveza. En esencia, está compuesto por cuatro u ocho pares de fibra óptica y una protección de acero, para ofrecer tracción mecánica y resistencia en el fondo del mar, además de una capa de cobre con la que transportar energía y alimentar los repetidores o amplificadores durante todo su trayecto.

La capacidad de un cable de fibra óptica depende principalmente de la separación existente entre sus repetidores. Cuanto menos espaciados estén, mayor es la capacidad de transporte y de regeneración de la señal. En el futuro, con la evolución de los equipos tecnológicos podremos introducir lambdas de 200 a 400 Gigabits por segundo, duplicando o cuadruplicando su capacidad.

## ¿A quién pertenecen los cables?

Los cables submarinos son principalmente de grandes compañías de telecomunicaciones. Algunas empresas estatales y gobiernos también tienen participación en cables. Por otra parte, existen los llamados cables de consorcio, fruto del acuerdo entre varias empresas como Microsoft, Facebook o Google, por ejemplo.

## ¿Cuántos cables hay desplegados en el fondo del mar?

En el mundo hay 1.100.000 kilómetros de cable, la distancia equivalente a ir de la tierra a la luna, volver e ir una vez más. Actualmente hay desplegados en el mundo 378 sistemas de cables submarinos.

Uno de los sistemas más largos que existen es el que une el sudeste asiático con Oriente medio y Europa occidental: el SE-ME-WE 3, cuya longitud total es de 40.000 kilómetros incluyendo sus ramales.

## Mapa y panorama actual: alianzas tecnológicas en su instalación y explotación

Probablemente internet sea el milagro tecnológico más trascendente de las últimas décadas: una red de redes que ha conectado a todo el planeta y permitido crear una sociedad de la información, mientras a su alrededor se instaura un nuevo modelo económico capaz de revolucionar nuestra manera de comunicarnos, pensar, trabajar e incluso sentir en este siglo XXI.

Cada día los medios de comunicación nos enumeran las enormes posibilidades de la economía digital y las últimas novedades de las que son ya las mayores compañías del planeta: Apple, Google, Microsoft...

Pues en este maremágnum los cables submarinos son los responsables de que podamos navegar con la máxima velocidad y conectar con cualquier lugar del mundo. La conexión de continentes por debajo del nivel del mar es básica en esta sociedad y son varios los proyectos para mejorar su conectividad.

Quizá nos conviene reflexionar brevemente sobre cómo esta red ha podido convertirse en una realidad cotidiana de nuestras vidas.

Su desarrollo, comenzando como red militar –Arpanet– fue bastante rápido, pero sobre todo su adopción para nuestras actividades diarias, especialmente desde finales de los 90 cuando aparecieron los primeros buscadores, hasta hoy ha sido fulgurante y desconocida, dándole a las redes sociales la hegemonía total del tráfico web.

No obstante, de nuevo, detrás de todo este camino hay algo mucho más antiguo y elemental: ¿cómo puede enviarse un dato desde España a lugares tan remotos, como China o Estados Unidos, en apenas segundos? Y la respuesta no está en los cielos ni en el ejército de Estados Unidos, sino en el fondo del mar y el viejo telégrafo.

Como ya hemos apuntado, esas líneas primeras siguen siendo la referencia sobre las que se asientan las nuevas tecnologías de la información teniendo en cuenta que se han multiplicado su número y posibilidades exponencialmente.

Sin ir más lejos, en 2017 de nuevo volvió a incrementarse el parque de sistemas submarinos con la instalación de *Faster*, el cable más rápido hasta ese momento. Conectando Estados Unidos y Japón, este proyecto buscaba extender la velocidad de internet a todas las zonas de la región.

En 2019 se ha anunciado la instalación de un segundo cable dentro del mismo proyecto para ampliar aún más sus beneficios. El nuevo cable de *Faster* enlaza Japón con Taiwán, donde Google cuenta con un gran centro de datos para Asia. Su velocidad será de 26 Tbps.

El gigante de internet explica que este cable aumentará la velocidad de funcionamiento de sus servicios en esa región, además de asegurar una disponibilidad más amplia al estar colocado lejos de zonas de tsunamis.

Otro de los cables más importantes en este momento es el conocido como proyecto *Marea*, el cable submarino de Microsoft, Facebook y Telxius, una nueva compañía creada por Telefónica.

Este cable conecta España con Estados Unidos a través de Sopelana, en Bilbao, donde se ha colocado una estación de anclaje. La posición geográfica de nuestro país hace que por nuestras costas pasen algunas de las conexiones de mayor capacidad y que nos permiten empalmar con Europa y con el resto del mundo.

De nuevo el objetivo de este proyecto es el de dar cobertura a la creciente demanda de datos y al rápido crecimiento de los servicios en la nube y online. Hasta el momento es el de mayor capacidad instalado nunca en el océano Atlántico. Está construido con 8 pares de fibra óptica y una velocidad estimada de 160 Tbps.

Además, también será el primero que una Estados Unidos con el sur de Europa gestionado por el centro de datos del Estado de Virginia.

En los últimos años la presencia de los cables submarinos en los medios de comunicación ha sido constante: Google ha diseñado varios para diversas partes del planeta, y se ha hablado en repetidas ocasiones del cable *Dunant*, que de nuevo conecta Francia y Estados Unidos, con la colaboración de Orange.

En 2004 se vivió un auténtico *boom* en el desarrollo de estos enlaces con 74.000 kilómetros de fibra desplegados. Sin embargo, eso no es nada comparado con la fiebre de los cables submarinos de internet que ya ha comenzado y que hará que desplieguen 300.000 kilómetros en los próximos 3 años.

De hecho, la longitud de los cables desplegada durante 2017 fue parecida a la de todos los años anteriores, y desde ese año el ritmo de instalaciones ha comenzado a acelerarse aún más. Se estima que durante este trienio se desplieguen hasta 74 sistemas de cables submarinos con una inversión de 8.800 millones de dólares.

A las empresas de tecnología de la comunicación hay que añadir las de contenido de televisión –como Netflix– que ya suponen buena parte del ancho de banda de las rutas transoceánicas, incluso por encima de los operadores tradicionales. Se espera que cada vez lleguen más servicios de este tipo con videojuegos online, realidad virtual y aumentada, telemedicina... todos ellos dependientes de un gran ancho de banda.

Aunque Estados Unidos-Europa es una ruta que será bastante apoyada, no es la única que va a recibir despliegues en los próximos años. De hecho, por España solo pasa el cable *Marea* que antes comentábamos y no se han publicado nuevos proyectos que se acerquen a nuestras costas de momento.

Eso sí, nos beneficiaremos indirectamente de los cables *Havfrue* de Facebook que pasan por Irlanda y Dinamarca, además del *Dunant* que desembarca en Francia.

África está de enhorabuena ya que va a contar con 4 sistemas de cable nuevos entre 2018 y 2020 conectando este continente con América Latina.

A nivel de *hubs* de datos o puntos de intercambio, tenemos a Fráncfort como el principal de Europa con 73,1 Tbps de ancho de banda seguido por Londres con 55,7, Ámsterdam con 48,4 Tbps o París con 47,8 Tbps. Estas ciudades europeas superan con creces a las de Estados Unidos de las que tenemos como referencia Miami con 20 Tbps, Nueva York con 19,2 o Los Ángeles con 16,7.

En los próximos años podemos ver cambios en este listado con la instalación de nuevos cables submarinos. Los operadores y las compañías tecnológicas necesitan explotar otras vías de comunicación alternativas a las tradicionales, lo que hará que los hubs de datos puedan modificarse.

Cables como *Marea* o *Dunant* pueden desviar tráfico desde Nueva York a Ashburn en Virginia, o *Brusa* y *Seabras-1* desde Miami a otras zonas de la costa este de Estados Unidos. En estos casos, más que crear nueva demanda, los cables lo que hacen es diversificar físicamente las rutas de conexión a los nodos actuales.

Lo que está claro es que los cables submarinos van a seguir teniendo una importancia capital en nuestras comunicaciones, mientras algunas empresas siguen mirando otras opciones para intentar ofrecer nuevas alternativas. De hecho, iniciativas como *Starlink*, el internet de Elon Musk, podrían reducir la latencia mundial a la mitad o ayudar a aliviar la carga de las redes terrestres, además de poder llegar a nuevas zonas del planeta que tradicionalmente están desconectadas de internet.

## Cables submarinos eléctricos

Hasta ahora solo hemos dibujado el panorama de los cables submarinos dedicados a las telecomunicaciones, pero como relatábamos en el comienzo de estas páginas, no todos los cables se dedican a ellas: los hay también especializados en el transporte de electricidad y la compañía española Red Eléctrica es una de las pioneras en su instalación y gestión.

Un ejemplo del desarrollo de este otro tipo es el denominado *Proyecto Rómulo*. Nos parece significativo comentar sus características por ser uno de los cables submarinos más potentes del Mediterráneo.

La interconexión eléctrica entre la Península y Baleares era un proyecto fundamental para asegurar y mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico del sistema balear, dadas sus singularidades, con dos subsistemas de pequeño tamaño y eléctricamente aislados.

Su conexión representa la mayor inversión llevada a cabo por REE en un único proyecto –420 millones de euros–, y su desarrollo ha constituido un hito de referencia mundial por su singularidad y complejidad técnica.

La instalación entró en funcionamiento en agosto de 2012 y, durante su primer año, el enlace ofreció una aportación media de casi el 30 % del consumo global de estas islas, llegando en momentos puntuales al 40 %.

Esta conexión submarina de alta tensión de  $\pm 250$  kv está compuesta por tres cables (uno de retorno) de 237 km de longitud. Se ha realizado con tecnología de corriente continua por sus distancias y las potencias necesarias del enlace. El posicionamiento de los cables en el

fondo del mar se efectuó mediante un vehículo de control remoto para garantizar su correcta colocación en el lecho marino.

La profundidad máxima del *Rómulo* es de 1.485 metros, una profundidad solo superada por el enlace entre Cerdeña y la Italia peninsular, con 1.600 metros.

En el diseño de este proyecto, se mantuvo el máximo respeto con el entorno natural y en su trazado se evitaron yacimientos arqueológicos y granjas de piscicultura, minimizando también el impacto en la flora y fauna protegida, así como la afección sobre la pesca y el sector turístico.

Por otra parte, se eligió de manera especial el trazado de los cables y su sistema de protección para salvaguardar las praderas de posidonia oceánica, una especie vegetal endémica del Mediterráneo y protegida a nivel europeo, para garantizar su conservación.

## Interconexión submarina España-Francia

España cuenta actualmente con un nivel de interconexión con Europa muy alejado del mínimo establecido por la Unión Europea (UE) para 2020, establecido en un 10 % de capacidad de producción instalada. La UE estableció en el 2002 este mínimo con el fin de eliminar sistemas aislados, facilitar el apoyo mutuo y promover el Mercado Único de la electricidad.

Por eso, la nueva interconexión eléctrica entre España y Francia es un proyecto declarado de interés europeo. Esta nueva interconexión eléctrica submarina por el golfo de Bizkaia representa un desafío que permite aumentar la capacidad de intercambio de electricidad entre España y Francia hasta 5.000 MW, frente a los 2.800 MW actuales.

Esta nueva red ampliará la capacidad comercial de intercambio de los 2.800 MW actuales hasta los 5.000 MW. Sin embargo, España seguirá necesitando desarrollar nuevas interconexiones. Aun así, con el resto de interconexiones previstas hasta 2020, España será el único país de la Europa continental por debajo del mínimo establecido por la Unión Europea.

## Riesgos, amenazas y oportunidades

Todos hemos tenido la ocasión de experimentar cortes en el servicio de internet que se han debido a daños en los cables de fibra óptica o a unas instalaciones defectuosas en el cableado interno que nos lleva la conexión a nuestros hogares.

Para sociedades cada vez más dependientes de internet la interrupción de este servicio es una de las peores pesadillas que puedan tener usuarios, empresas y gobiernos.

Efectivamente, algunos daños se realizan de manera malintencionada por *hackers* y otros terroristas del ciberespacio, pero también pueden deberse a daños importantes en varios puntos del tendido a causa de seísmos u otro tipo de catástrofes naturales.

En ese caso, repararlos y restablecer el servicio lleva varios días, y no basta identificar los puntos de rotura sino que hay que acceder a ellos en buenas condiciones de seguridad.

Cuando hay alguna incidencia de este tipo se suele desviar el tráfico a otros cables, pero eso tiene sus límites: internet puede volverse muy lento (e inutilizable para el transporte de grandes cantidades de datos), porque el ancho de banda no es suficiente para tanto tráfico —algo parecido a lo que se ve en ciertas calles a las cuales se desvía un tráfico importante—.

Los riesgos en el cableado terrestre son más fáciles de subsanar pero cuando la incidencia tiene que ver con cables submarinos las interrupciones pueden durar muchos días, ya que su reparación se realiza con técnicas más complejas y el hecho de estar situados a gran profundidad requiere el uso de buques especializados.

En superficie, una de las soluciones para que no haya problemas de saturación de tráfico si se dañan varias partes de la red, es disponer de cables de dedicación exclusiva, lo que se llama fibra oscura.

Otra solución alternativa a circunstancias adversas sería el desarrollo definitivo de internet por satélite, que ya se usa para áreas de difícil acceso para el cableado. Numerosas empresas recurren a este tipo de solución, mediante redes privadas, propuestas por proveedores especializados en comunicaciones por satélite. Pero también tiene sus limitaciones: la velocidad de descarga es menor, de modo que habrá que preguntarse si funcionaría bien para transportar grandes volúmenes de datos.

Por otra parte se produce un fenómeno de ligero retraso en la transmisión, como el que se nota en comunicaciones entre periodistas usando un teléfono por satélite.

Otra solución posible de emergencia es el internet por microondas, que también se usa para zonas de difícil acceso para el cableado. En este campo es conocido el estándar WiMAX. Tratándose de radio, la red requiere de repetidores y de extensión por radioenlace

Como podemos ver hay ya soluciones inalámbricas disponibles para la continuidad de las comunicaciones, pero pueden resultar limitadas, y no funcionar siempre.

## Los cables y el medioambiente

Cada vez más los litorales son objeto de nuevos proyectos energéticos —eólicos, maremotriz, energía de las olas— que no solo buscan ampliar nuevas formas de energía, sino sobre

todo que estas formas protejan y cuiden el medio ambiente (santuarios marinos, zonas marinas protegidas, etc.)

En el caso de los cables submarinos de fibra óptica, si están correctamente instalados, tienen un impacto neutro e incluso beneficioso sobre el medio marino.

Los datos publicados de averías en cables muestran que desde 1877 hasta aproximadamente 1960, solo 16 ballenas se enredaron en algún cable, la mayoría de ellos cachalotes.

Desde ese período no se tiene constancia de incidentes en los que hayan estado involucrados mamíferos marinos. Este cambio refleja, en parte, las mejoras en los materiales y en las técnicas del tendido.

Las averías causadas por peces se circunscriben principalmente a la época de cables telegráficos, anteriores a 1964, y probablemente los ataques estuvieran causados por el olor o el color del cable, los movimientos o incluso por los campos electromagnéticos.

Entre 1985-1987, un cable de fibra óptica instalado en Canarias fue dañado a una profundidad de 1-2 km. El ataque pudo ser verificado ya que se encontraron dientes de tiburón en el propio cable.

Poco tiempo después, los cables fueron mejorados y se les añadió un recubrimiento metálico; desde entonces no existen evidencias de averías causadas por peces.

Si los cables tienen dimensiones pequeñas suelen dejar, por tanto, una huella pequeña; especialmente si se compara con las que marcan tuberías y arrastreros.

En cualquier caso, los cables son el sustrato para el crecimiento de organismos diversos y desde hace algunos años, hay organismos científicos dedicados a recuperar cables antiguos para recoger especímenes que se han instalado en ellos y abordar estudios o colecciones.

Hasta tal punto han empezado a interesar los entornos de estos cables que se están desarrollando observatorios oceanográficos con el fin de poder supervisar a largo plazo el medio marino que los rodea.

Estos observatorios están conectados, igualmente, mediante cables submarinos que también les proveen de la potencia necesaria para el equipamiento y la transferencia de datos a tierra.

En un futuro y cubriendo con ellos gran parte del globo, los observatorios ayudarían a la detección y aviso de los peligros de fenómenos naturales, mediciones de la respuesta oceánica al cambio climático, y podrían también emprender programas de investigación y desarrollo en tecnologías dada la información directa que pueden obtener.

En cualquier caso, y respecto al medioambiente, los estudios sobre el tema determinan que los cables de fibra óptica, dedicados a telecomunicaciones, no son contaminantes, pero tampoco lo son los cables eléctricos.



De la experiencia de estos últimos hay que reseñar el proyecto *Bosque marino de Red Eléctrica*, en Baleares, que tiene como objetivo la restauración de dos hectáreas de una antigua pradera de posidonia, hoy degradada, ubicada en la bahía de Pollença.

La intervención consiste en implantar plántulas procedentes de semillas y fragmentos de posidonia oceánica y surge de la firma de un convenio en 2017 entre la Administración balear y la compañía Red Eléctrica Española.

REE, como titular de la iniciativa, aporta más de 500.000 euros para su desarrollo a lo largo de cuatro años mientras que la responsabilidad científica de su ejecución corresponde al IMEDEA.

Otro uso singular de los cables es el que están realizando en las costas de Maryland y Nueva Jersey. Allí se han depositado bobinas de cables para la creación de arrecifes artificiales. Los arrecifes atraen una gran cantidad de organismos marinos desde algas hasta peces.

Pero para garantizar su éxito, los arrecifes necesitan ser estables, no tóxicos, y permanecer entre 20 o 30 años para crear un hábitat significativo, lo suficientemente extenso para que los ecosistemas puedan desarrollarse y ser convenientemente vigilados para evitar la pesca ilegal.

Por otra parte, aquellas zonas que se han creado con la intención de proteger los cables submarinos pueden convertirse en santuarios, aumentando la biodiversidad y la existencia de fauna marina.

## Los cables y el futuro

Es difícil predecir el futuro de los cables submarinos en el mundo de las telecomunicaciones porque tanto el diseño como su operativa esta en continua evolución. Los nuevos sistemas son más pequeños, con mayor capacidad y fiabilidad.

Un mayor desarrollo de los observatorios oceanográficos dependerá de una nueva tecnología del cable. Probablemente al ser capaces de poder integrar sensores medioambientales y módulos de anclaje que permitan a los vehículos sumergibles la recogida de datos.

Ya se están proyectando cables submarinos con sensores para detectar partículas químicas o cambios físicos, lo que permitirá tener información para protección del medio marino y costero.

En cuanto al medioambiente, en algunas regiones del planeta, es probable que los cables submarinos queden expuestos a los fenómenos naturales de cambio climático.

Y también es posible que el cambio climático pueda afectar a otras actividades marinas tales como la pesca que puede impactar potencialmente en los sistemas de cables.

Las medidas para la prevención de la biodiversidad, los ecosistemas y los recursos mediante zonas protegidas dentro de las aguas territoriales y alta mar puede menoscabar los corredores-pasillos de cable.

El océano, especialmente los mares ribereños, son susceptibles de ver incrementada la actividad humana debido a la expansión de los proyectos de energías renovables.

Hay otro tema de restricciones impuestas a los cables internacionales, sin ninguna base científica, que pretende aliviar las demarcaciones locales puesto que algunas de ellas consideran los cables submarinos como una fuente alternativa de ingresos.

En cualquier caso, y por el momento, gracias a ese bosque de cables submarinos seguimos conectados y podemos realizar la mayoría de nuestras actividades cotidianas. Habrá que seguir mirando al fondo del mar en los próximos años.



MEDITERRÁNEO  
ECONÓMICO

33

# Epílogo





## AL FINAL DEL CAMINO ESTÁ LA MAR

Ramón Núñez Centella

Educador de la ciencia. Museos Científicos Coruñeses y Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT)

«Montó a caballo y se adelantó con Licio y la caballería para ver si ocurría algo grave. De pronto oyó que los soldados gritaban «¡El mar, el mar!», y que se felicitaban entre ellos».

Jenofonte (*Anábasis*, libro cuarto, VII, 24)

«God, he said quietly. Isn't the sea what Algy calls it: a great sweet mother? The snotgreen sea. The scro-tumtightening sea. Epi oinopa ponton. Ah, Dedalus, the Greeks. I must teach you. You must read them in the original. Thalatta! Thalatta! She is our great sweet mother. Come and look».

James Joyce (*Ulysses*)

«Nuestras vidas son los ríos que van a dar a la mar, que es el morir».

Jorge Manrique (*Coplas a la muerte de su padre*)

El mar del *Finis-terrae* es, ante todo, el mar del fin del mundo, la meta inexcusable de todo peregrinaje y de todos los caminos. Todas las rutas jacobeanas, las que parece que han creado Europa y la vertebran, son en definitiva un sendero que sigue la ruta del viejo sol, que siempre resulta saber mejor que nadie dónde está el más allá. *Plus ultra*. Hasta llegar al mar en estos lugares imponentes que han sido vinculados a leyendas de seres extraordinarios como Heracles, Gerión, Euritión y Ortos, y también a la copa de oro que el sol utilizaba para navegar cada noche otra vez hacia el oriente. Desde la *Teogonía* de Hesíodo centenares de relatos se refieren a esos mitos antiguos, que son los que encarnaron imágenes en los escudos del país de Galicia y de mi ciudad coruñesa.

El mar del Finisterre es también, como quería Colón, la *Mar Océana*, el gigantesco baño capaz de recibirnos a todos con todos nuestros ríos y de significar una síntesis de todos los mares. La vista de su grandiosa presencia es capaz de sobrecogernos de tal modo que sin duda será el mar que más veces ha escuchado la exclamación que usa Jenofonte en su *Anábasis*. La mar es una, aunque los mares sean muchos. Los soldados protagonistas de la expedición de los diez mil eran atenienses, con lo que sin duda preferirían utilizar su dialecto jónico para referirse al

mar, como exigía Joyce, y exclamarían ¡*Thalatta!* (y no ¡*Thalassa!*) mostrando su júbilo al ver el *Ponto Euxino*, aquel otro hermoso mar que sin saber muy bien por qué hoy llamamos Negro.

¡*Thalatta!* ¡*Thalatta!* De nuevo la mar como meta, metáfora del destino tan potente que lo es hasta para la desaparición del Sol; porque el mar del Finisterre es actor principal en la representación que día a día tiene lugar en la llamada costa de la muerte del Sol. Esta vez es la mar heliófaga que se expresa en atardeceres de vino tinto, *Epi oinopa ponton*, como repetía Homero en su *Odisea*. ¿Cómo y quién derramará ese vino que enrojece el mar y también el cielo? Es una pregunta provocadora de buenas clases de física, cuando maestros y discípulos se quieran reunir para gozar el espectáculo de ese tiempo y lugar, que son los momentos donde océano y firmamento intercambian matices infinitos de los colores que hemos visto nacer de garnacha y tempranillo, bobal y monastrell, mencía, caíño y brancellao. Allí, a la espera de un rayo verde, podrán observar cómo el disco solar se oculta tras la raya del horizonte y deja de recordar el símbolo de Galicia.

Julio Verne lo describe como nadie en su novela *El rayo verde*: «¿Habéis observado el sol cuando se pone en el horizonte del mar? Sí, sin duda alguna. ¿Lo habéis seguido hasta que la parte superior del disco desaparece rozando la línea del horizonte? Es muy posible. Pero ¿os habéis dado cuenta del fenómeno que se produce en el preciso instante en que el astro radiante lanza su último rayo, si el cielo está completamente despejado y transparente? ¡No, seguramente no! Pues bien, la primera vez que tengáis oportunidad —se presenta tan raramente!— de hacer esta observación no será, como podría presumirse, un rayo rojo lo que herirá la retina de vuestros ojos sino que será un rayo verde, pero un verde maravilloso, un verde que ningún pintor puede obtener en su paleta. Un verde cuya naturaleza no se encuentra ni en los variados verdes de los vegetales, ni en las tonalidades de los mares más transparentes. Si existe el verde en el Paraíso, no puede ser otro que este verde, que es sin duda, el auténtico verde de la Esperanza».

## El marisco gallego

El mar de Galicia está saturado de vida y es también —volviendo a Joyce— un mar denso como mucosidad verde, apretado y tenso contenedor de espuma fecundante. Mar bravo y masculino. Aquí se dan las mayores concentraciones de plancton posibles en mar abierto, así como las aguas más oxigenadas, en una costa ribeteada de espuma permanente. De esa forma, llenos de oxígeno y alimento, pueden vivir los percebes más exquisitos del planeta, y valgan ellos como representantes selectos de una biodiversidad que es todo un orgullo para un mar que solo cede la transparencia de sus aguas a los diminutos protagonistas de una vida microscópica.

Quizá merezca la pena detenernos un poco en este regalo del mar, *el rey de los mariscos* para muchos de nosotros y que es, sobre todo, un prodigio de singularidad biológica.

El percebe gallego (*Pollicipes cornucopia*) es muy fácil de distinguir de otras especies de *Pollicipes* que tienen una uña con mayor número de placas calcáreas, como los que viven en

Canadá. Pero es hermano de los que viven en las costas occidentales de Portugal, Francia y Marruecos. Su grandeza –y el problema para los compradores– está en que, aunque pudiera ser confundido externamente, tiene un sabor único al probarlo. Y puede que ocurra lo mismo con el conjunto del marisco gallego, que goza de tan justa fama, y no solo en nuestro país.

La calidad del marisco gallego es un hecho tan contrastado que no necesita de muchos testimonios ni referencias. Lo que puede corresponder aquí es tratar de dar una explicación de ese hecho, o al menos enunciar algunas de las causas que contribuyen a ello. En primer lugar, ha de recordarse que la abundancia, diversidad y salud o calidad de los mariscos –como de cualquier otro animal– depende de su alimentación y factores ambientales. Empezando por lo primero, diremos que los mariscos gallegos son buenos porque los animales están bien alimentados, comen bien. A este respecto es fundamental la diversidad y cantidad de organismos (plantas y animales) microscópicos que viven en el agua, lo que llamamos fitoplancton y zooplancton, de los que se alimentan. Pero recordemos que la abundancia de ambos tipos de plancton está en relación directa con la cantidad de sustancias nutrientes que hay disueltas en el agua. Como sucede en la tierra, un campo abonado produce más y mejor cosecha.

El agua de la plataforma continental de Galicia dispone de un extraordinario sistema de fertilización que es consecuencia de un efecto combinado de corrientes y vientos aplicados a un determinado perfil continental. Por ejemplo, los vientos del norte y nordeste, que sobre todo durante el verano empujan el agua superficial de las rías hacia el interior del océano. Ello, combinado con el perfil continental, provoca que cerca de la costa hayan de subir a la superficie aguas profundas y frías que contienen abundancia de las sales inorgánicas que se necesitan para crear la materia viva, fundamentalmente nitratos y fosfatos, que se han formado en los fondos como producto de las descomposiciones de materia orgánica. Esa corriente de agua ‘abonada’ que sube hacia la superficie se conoce como afloramiento (*upwelling*).

Lo interesante es que el agua profunda de las rías y sus proximidades viene del océano costero, a lomos de una corriente submarina en dirección sur-norte que bordea Portugal y procede del Mediterráneo a través del también profundo estrecho de Gibraltar. Insólita correspondencia entre la calidad del marisco gallego y la calidad de las aguas procedentes del fondo del *Mare Nostrum*.

Es fácil comprender que el agua llena de fertilizantes que asciende desde unos 100 metros de profundidad, y que es remplazada por ese líquido salado de tan lejana procedencia, es un medio ideal para que en ella, con el aporte de luz solar, se formen multitud de algas microscópicas que son el productor primario de energía en la cadena de alimentos oceánica. A más nutrientes, más abundancia y variedad de fitoplancton, también de zooplancton, y por ello más riqueza y salud para los invertebrados que se alimentan de ellos. Galicia tiene un promedio anual de 180 días de afloramiento de aguas profundas, lo que representa un medio extraordinariamente rico, capaz de alimentar –por ejemplo– a 3.200 kilos de sardina por kilómetro cuadrado al año.

Cabe pensar en la fecundidad del agua que llega a los cristales de una casa gallega costera cuando recibe los rociones de la mar aladaña; porque en una gota de agua de mar hay un sinnúmero de organismos microscópicos. En primer lugar, de algas unicelulares, constituyentes del fitoplancton. Entre ellas destacan por su abundancia las diatomeas, y también los dinoflagelados. Estas constituyen el alimento de diferentes especies de animales, tanto invertebrados (crustáceos microscópicos, larvas de moluscos) como de peces. La abundancia de fitoplancton es variable, siendo máxima en verano, con luz más intensa y cuando se produce el afloramiento. En esa gota de agua hay también animales microscópicos; son el zooplancton. Se trata de un conjunto que contiene una extraordinaria diversidad de especies, entre las que se incluyen crustáceos, huevos y larvas de peces, moluscos y equinodermos.

En resumen, una conjunción de motivos en donde intervienen los perfiles continentales, las grandes corrientes oceánicas, la rotación de la Tierra, el aporte de agua dulce de las rías y los vientos son los que intervienen para crear, con el afloramiento marino, el agua ideal para que los mariscos vivan y para que tengan una dieta más variada de plancton.

Existen además otros factores, más localizados geográficamente, que hacen que los percebes de la Torre en La Coruña, los de Cedeira y los del Roncudo (Corme) y otros puntos de la costa de la Muerte puedan ser reputados como los mejores del mundo. Entre esas razones más concretas está la misma ubicación, es decir, el punto de las rocas donde se coloca un organismo que vive fijo, escogiendo los lugares en que la energía de las olas se expresa con mayor violencia. La clave es muy sencilla. El percebe no come si el agua está quieta. No se pueden mover, pues viven fijos a la roca, y se pasan el día acercando a su boca el alimento que ‘pasa por allí’. Para ello mueven unos cirros que tienen encerrados en la uña, y que son los restos evolutivos de las patas que como crustáceos les corresponden. En esto se parecen a los humanos, que hemos dedicado las dos patas anteriores –entre otras cosas– a llevar los alimentos a la boca.

Para la actividad de captura de plancton que realizan sus cirros es necesario que el agua se mueva, y traiga más alimento. Si no hay una fuerte dinámica de las aguas, que la renueve constantemente, el percebe no viviría, ya que le ganarían la partida sus competidores. En la naturaleza, lo que sucede es que donde no hay oleaje, quien gana la lucha por un sitio en la roca es el mejillón. Un tercer factor para considerar entre las exigencias del percebe es la concentración de oxígeno existente en el mar. La baja temperatura del agua y el continuo y energético oleaje hacen que el contenido de oxígeno disuelto en las aguas gallegas sea muy alto, más alto que en ningún otro lugar de España. Eso le viene de maravilla al percebe que, al no tener corazón y dadas las características de una sangre sin hemoglobina, no tiene gran facilidad para transportar el oxígeno.

Por fin, y para justificar la calidad que nos ocupa, debe señalarse la ventaja de que los percebes crezcan lentamente, lo que viene dado por la baja temperatura de las aguas, que es lo que influye en la tasa metabólica. La escasa velocidad de crecimiento hace que en general los mariscos gallegos sean más ‘carnosos’, compactos y sustanciosos, al contener menos agua. Por ello, por ejemplo, preferimos los percebes anchos y cortos. Conviene recordar que la edad del percebe se exhibe más en el ancho de la ‘uña’ que en la longitud de su cuerpo. Por lo general,



los percebes que viven en zonas más batidas son cortos y gruesos, mientras que los que habitan en grietas o zonas donde las corrientes inciden lateralmente son delgados y largos. En términos generales podemos pensar que desde que se asienta en la roca y se le puede ver la uña por primera vez el animal tarda unos 6 meses en alcanzar su tamaño mínimo de comercialización, y unos dos años más en conseguir la plenitud –el tamaño de un pulgar– que indica su nombre científico: *Pollicipes* (del latín, *pollex* = ‘pulgar’).

Dentro de la uña, formada por un número de placas calcáreas que como se ha dicho sirve para diferenciar la excelente especie *P. cornucopia* de la insípida *P. polymerus*, se encierran la mayor parte de los órganos del animal y aquellos cirros con que capturan el alimento. El pie es fundamentalmente una masa muscular, pero también se encuentran en él los ovarios.

El percebe es hermafrodita; es decir, que cada individuo tiene los órganos de ambos sexos, aunque nunca se autofecunda, sino que en cada cópula un individuo actúa como macho y otro como hembra. En particular cada animal dispone de un par de testículos y un pene extraordinariamente largo (hasta dos veces la longitud del percebe), capaz de sobresalir de la uña y llegar hasta otro ejemplar de sus proximidades para fecundarlo. Para conseguirlo, se ayuda también inclinando el pedúnculo acercándose en la dirección adecuada. La mayor parte de las cópulas tienen lugar a principios de verano, aunque algunos ejemplares comienzan a hacerlo en febrero. En unos dos meses tiene lugar la eclosión de los huevos. Durante la fase larvaria los animalillos forman parte del zooplancton, pero luego terminan fijándose a las rocas –preferentemente de la zona intermareal– aunque algunos comiencen por hacerlo al pedúnculo de sus congéneres. Esta fase tiene lugar en junio para las larvas nacidas en primavera y se retrasa hasta noviembre para las nacidas a principios de verano.

Si el lector me lo permite, podría decirse que todavía existe otro motivo determinante para que podamos contar en nuestras mesas con percebes de calidad: el valor de unos hombres –los *percebeiros*– que son capaces de arriesgar hasta su vida para acceder, burlando las olas, hasta el lugar donde viven estas joyas de la gastronomía. Ellos saben que no solo es necesario que exista el percebe. Para recogerlo hace falta que coincida la bajamar adecuada, mejor con mareas vivas de luna llena o nueva, que el oleaje lo permita –que no haya temporal o como dicen ellos ‘mucho mar’– y que las imprescindibles restricciones de regulación de capturas lo permitan.

## Una larga tradición

Cuenta José María Bello, que fue director del Museo Arqueológico de La Coruña, que ya dos siglos antes de Cristo los habitantes de Galicia eran aficionados al percebe. En excavaciones realizadas en los alrededores de la Torre de Hércules, al igual que en los castros de Baroña, en A Lanzada, en Santa Tecla, en O Facho de Donón y en Queiruga (Porto do Son) aparecen, con muchas otras conchas, restos de uñas de percebe. Sobre el tema han escrito un interesante trabajo otros amigos (Vázquez Varela, J. M., Ugorri, V. y Troncoso, J. S.: «El marisqueo en la cultura castreña de Galicia»). O sea que nuestros antepasados ya sabían lo que es bueno.

Pero el trabajo de los arqueólogos nos permite saber que esa afición al marisco se conservó a lo largo de los tiempos. En los datos de excavación de J. M. Bello relativos a la península de la Torre de Hércules, en La Coruña, se constata la presencia de uñas de percebe en al menos 57 unidades estratigráficas. Por ello se puede concluir que los habitantes de esta tierra en tiempos antes de Cristo usaban vasos de paredes finas, platos y fuentes de barniz rojo para hacer el pan, ollas y cazuelas de cerámica común, ocre o gris con buenos acabados y decoraciones bruñidas y se iluminaban con lucernas de aceite. Además de percebes se encuentran restos de *Patella* (lapas), *Ostrea* (ostras), *Mytilus* (mejillones), *Venerupis* (almejas) y *Littorina* (bígamos). Incluso otras especies hoy inexistentes, como *Thais haemastoma*, que al margen de su uso gastronómico, esta caracola 'de boca roja' puede haber sido usada para la producción de tinte de púrpura. A eso apunta la acumulación de conchas trituradas, con sus correspondientes machacadores, asociados a una hoguera, que apareció durante una excavación cerca del puerto de La Coruña. Prueba inequívoca de que aquella gente explotaba y disfrutaba de los frutos del litoral, tanto arenoso como rocoso.

Con la llegada de los romanos parece que mejoraron las técnicas de captura y ya conseguían no solo los moluscos y crustáceos de la zona intermareal, que queda al descubierto en la bajamar, sino también otras especies de bichos que viven siempre sumergidos como el longueirón (navaja) o el carneiro (escupiña grabada); si bien lo más sabido es que los romanos hicieron famosa la redonda y exquisita ostra gallega (*Ostrea edulis*).

De forma análoga, se constata la presencia de restos de percebe en unidades de excavación de los siglos V, X, XI y XII. El siglo X parece ser el del apogeo del marisco en los alrededores de la Torre de Hércules. En ese estrato se encontraron restos de *Patella*, *Ostrea*, *Monodonta*, *Mytilus*, *Pollicipes*, *Charonia*, *Pecten*, *Venus*, *Venerupis*, *Acanthocardia*, *Nassarius*, *Thais*, *Gibbula*, *Littorina*, *Maja*, *Balanus*, *Echinus*, *Anomia*, *Cardium*, *Chlamys*, *Cancer*, *Ocenebra* e *Hydrobia*. Es decir, que a los mariscos que ya vimos hay que añadir ahora vieiras, zamburiñas, un tipo de berberechos, centollas y bueyes de mar. Un menú suficientemente amplio como para modificar nuestro punto de vista sobre nuestros antepasados del medievo.

## El sabor del percebe

El percebe es uno de los mariscos que saben más intensamente a mar. Como la ostra o como los erizos, pero sin la liviandad de estos. En el percebe, el mar se hizo carne.

De la misma manera que es difícil asignar a una sustancia química el sabor de un alimento, resulta prácticamente imposible sintetizar la esencia del sabor o del olor de mar. Uno de los gases a los que se atribuye el aroma del océano es el sulfuro de dimetilo, al que llamaremos DMS tanto si el lector quiere recordar su nombre en inglés (*DiMethyl Sulphide*) como si prefiere pensar que es el olor «De Mar Salada».

El fitoplancton del océano produce, cuando es metabolizado, ese gas fuertemente oloroso, que resulta el principal responsable del olor a mar y del sabor del marisco, y es el que permite a algunas aves marinas localizar por el olfato su alimento desde el aire. Donde hay DMS hay zooplancton, y donde se encuentre este habrá peces y calamares, se dicen las aves, con razón. El DMS tiene un olor tan intenso que basta una concentración de unas cien partes por trillón en el aire para que nuestro olfato nos avise de que estamos cerca del océano. El hecho de que la intensidad del olor dependa de la concentración de DMS –y por tanto, de la de fitoplancton– explica por qué las aguas del Caribe o del Mediterráneo huelen menos a mar que las de nuestro Finisterre.

Cuando se hizo alusión al menú marisquero de nuestros antepasados residentes en Galicia ya pudimos hacernos una idea de la enorme variedad que ofrecen allí los frutos del mar. Convengamos una definición, llamando mariscos a los invertebrados marinos comestibles provistos de esqueleto externo.

De esa manera un zoólogo nos diría que estamos mezclando animales de tres grupos distintos, como son moluscos, crustáceos y equinodermos, y una pescadora apuntaría que así se excluye a los moluscos cefalópodos, como el pulpo, los calamares y las sepias, lo que no debe significar detrimento alguno de su categoría gastronómica. Así son las cosas, y esa es la definición más empleada.

Para entendernos, digamos que los moluscos presentan una masa carnosa blanda, protegida por una o dos conchas, mientras que los crustáceos tienen un esqueleto externo de estructura más compleja. Los equinodermos son los erizos de mar.

Joaquín Villoch, en su *Guía de Mariscos de los mercados de Galicia*, recoge hasta un total de 61 especies, si bien hay que aclarar que incluye pulpos, calamares y demás cefalópodos comestibles. El número es suficientemente alto como para que cualquier lector pueda poner a prueba su nivel de experto en el tema, en función de cuántas de aquellas especies ha identificado, comprado, recogido o degustado. Sin ánimo de ser exhaustivo, pero refiriéndome a los más abundantes y por descarado orden de preferencia individual, animo a recordar una selección marisqueira gallega donde estarían percebes, centolla, almeja fina ('de Carril'), ostra, camarón, nécora, berberecho, cigala, bogavante, almeja babosa, langosta, santiaguíño, navaja, buey de mar, vieira y mejillón. Las estrellas invitadas podrían ser la gamba roja de Denia, de Palamós o de Garrucha, la gamba blanca de Huelva, las espardeñas, las coquinas o los langostinos y carabineros.

Se ha dicho de la calidad y la variedad, y nos queda un breve apunte sobre la abundancia. Recordemos que las rías gallegas poseen unas condiciones extraordinarias para la producción de biomasa, como son una gran cantidad de plancton, temperatura adecuada y una buena renovación del agua dado el régimen de mareas. La cantidad media de fitoplancton para las aguas gallegas son dos y hasta tres veces superiores a las del Atlántico en general, unas 3,5 veces superiores a la del Mediterráneo y casi 7 veces superiores a la del Báltico. Esta riqueza puede expresarse cuantitativamente por ejemplo en algunos cultivos. Las rías gallegas pueden

producir 50 toneladas de mejillón por hectárea y año, siendo este el valor más alto conocido en cultivos con alimentación natural.

No debemos finalizar sin una referencia a los cefalópodos, aunque no sean considerados mariscos, pues todos podemos evocar gratos recuerdos vinculados a puntillitas, chipirones, calamares, chocos o pulpos de todos los tamaños. Bajo el agua de estos mares podemos soñar, como hiciera Ringo, con pulpos constructores de jardines a la puerta de sus cuevas:

*I'd ask my friends to come and see*

*An octopus's garden with me*

*I'd like to be under the sea*

*In an octopus's garden in the shade.*

Son moluscos exquisitos que se dedican a comer el marisco con más dedicación e interés que ningún ser humano, que nadan haciendo *ballet*, como las medusas, pero cambiando de ritmo a mayor velocidad, y consiguen adornarse formando figuras imposibles con sus ocho brazos. A veces quieren ser un sol, o una sombrilla que lo oculta, y otras se convierten en un torpedo que atraviesa el agua sin resistencia alguna.

## Un solo mar

*Dijo luego:*

*«Júntense en un lugar las aguas de debajo de los cielos y aparezca lo seco». Así se hizo, y se juntaron las aguas de debajo de los cielos en sus lugares y apareció lo seco; y a lo seco llamó Dios tierra, y a la reunión de las aguas, mares. Y vio Dios ser bueno.*

*Génesis I, 9-10*

Hace cinco siglos, con la vuelta al mundo que finalizó Elcano, quedó demostrado que hay un solo océano; también que la Tierra era redonda, y fue entonces cuando se inventó la globalización. El mar nos une en su inmensidad. Solo hay una cosa más grande que el mar, y es el cielo. Desde el *Génesis*, el mar océano es uno, *Pantalassa*, y ocupa más de las dos terceras partes de un mundo que –según creemos con certeza– nos pertenece.

En el océano viven las tres cuartas partes de las especies animales existentes. Los seres humanos habitamos un planeta que está lleno de mar. Esa idea de globalidad ha de hacernos pensar por fuerza en la responsabilidad de su conservación. El mar de Galicia ha sido también,

demasiadas veces ya, testimonio de agresión humana, y dejó en nuestras memorias imágenes fotográficas que han de seguir teniendo eficacia revulsiva.

Galicia posee cerca de 1.700 kilómetros de costa, lo que representa una quinta parte del litoral español. Es una costa de perfil recortado, en abrazo permanente con una tierra que genera numerosos puertos naturales, lo que unido a la riqueza piscícola de sus aguas explica la tradición pesquera de los gallegos. Como los demás habitantes de las zonas costeras que miran y viven el mar, los gallegos sabemos de la riqueza de esa aparentemente interminable extensión de agua. Hemos vivido con él y lo hemos convertido en uno de los pilares de la economía de nuestra tierra. La historia de la pesca, de las actividades extractivas, transformadoras y comerciales ha dejado a su vez la correspondiente huella en la población del litoral y en el nacimiento de las grandes ciudades. A la orilla del mar están también, cómo no, los testimonios de nuestros intentos de revolución industrial.

La presencia del mar es una de las invitaciones más fuertes a la ensoñación. Particularmente recuerdo ahora tantas y tantas jornadas de lectura en la playa, mientras la vista se escapa hacia el agua, como si las ideas poderosas hayan de venir del océano, de la raya del horizonte o de la espuma ribereña. Son la añoranza y el deseo de mañanas veraniegas, en donde los ratos de leer se intercalan con paseos por la orilla, que muchas veces terminan convirtiéndose en tesoros personales diversos objetos escogidos entre los que el agua deposita sobre la arena: conchas, piedrecillas redondas o planas, muy blancas o muy negras, algas, maderas, raíces, incluso huesos... «¿Será de una gaviota? [...], más bien parece de un conejo que alguien, quién sabe dónde, se habrá despachado».

Cada gallego tiene su mar, construido en lo profundo de la mente. El mío nace en recuerdos de la niñez, en baños placenteros en la ría y comidas familiares en el pinar de una playa; en el olor profundo de la bajamar y recorridos por las rocas a la caza de bígaros, de mejillones y percebes, de nécoras y pulpos. Es el mar que hube de llevar siempre conmigo. También aprendí del mar desde la ventana de casa, donde la visión del horizonte infinito me hablaba de inmensidad, de otro mundo, y la Torre de Hércules sugería historia. El ir y venir de embarcaciones de todo tipo me forzó a pensar en actividad humana, en trabajo y en ocio. Luego aquella idea se fundió con el mar de Homero y el de James Joyce, de Ulises y de la existencia de Itaca, y me convenció con Kavafis de que existen caminos universales, y de que, cuando lleguemos a la isla, la mar nos habrá regalado toda la sabiduría de la que seamos capaces.

La mar habla. La mar susurra algo una y otra vez; a veces, como cansada, susurra a gritos; todavía no hemos logrado comprender lo que nos dice.





