



UN MAR DIFERENTE

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDITERRÁNEO

Joandomènec Ros

El impacto del cambio climático en el océano es difícil de establecer. El ambiente marino nos es aún mucho menos conocido que el terrestre; por lo que respecta a las series temporales de temperaturas, por ejemplo, raramente se remontan a más de tres décadas y suelen estar limitadas a aguas costeras. Hay que añadir que las características físicas, los equilibrios químicos y las respuestas biológicas de los océanos están sujetos a dinámicas que se extienden por buena parte del océano, desde la superficie al fondo y por un medio que tiene una inercia (térmica, por ejemplo) notable. Al mismo tiempo, a penas conocemos la dinámica de fenómenos a macroescala oceánica, como El Niño, o el funcionamiento de áreas no estudiadas lo suficiente hasta ahora, como el

«TENEMOS BASTANTES INDICIOS DE QUE EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SE DEJA SENTIR EN EL MAR Y DE QUE LOS EFECTOS SON TODAVÍA MÁS VARIADOS, GLOBALES Y PREOCUPANTES DE LO QUE SE PREVEÍA»

océano Austral. Para acabar de arreglarlo, se da una sinergia con otros impactos antrópicos que pueden enmascarar o potenciar algunos de estos efectos, desde la contaminación y la invasión de especies alóctonas a la sobrepesca. Ambos grupos de efectos se refuerzan mutuamente y se confunden: un aumento del nivel del mar

no solo causa cambios en la línea de costa, sino en las especies y comunidades litorales, y los cambios en la distribución y la abundancia relativa de determinadas especies (en especial las llamadas ingenieras o estructurales) se trasladan por toda la red trófica e inciden inmediatamente en el aspecto del paisaje litoral y marino.

Aun así, ya tenemos bastantes indicios, y en algunos casos certezas, de que el impacto del cambio

Las consecuencias del cambio climático son difíciles de establecer, pero ya existen indicios de algunas de ellas. El aumento del nivel del mar implicará una reducción de la radiación incidente en comunidades de hierbas fanerógamas, lo que favorecerá la muerte de las plantas constituyentes y la descomposición de la materia orgánica. En la imagen, *Posidonia oceanica* en la costa de la Azohía (Murcia).

climático se deja sentir en el mar y de que los efectos son aún más variados, globales y preocupantes de lo que se preveía. Además de los informes que periódicamente elabora el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) a una escala global, en nuestro país ya son varios los estudios que tratan de esta cuestión, dentro de informes más amplios o centrados en el impacto en el mar (véase la bibliografía al final). Se pasará una breve revista a estos efectos, tanto a escala oceánica global como por lo que respecta al Mediterráneo, distinguiendo los impactos que afectan básicamente al medio físico de aquellos que impactan sobre los organismos y las comunidades que estos forman, y sobre los servicios ambientales que nos suministran.

■ EL ENTORNO FÍSICO

A pesar de la falta de series largas de temperatura en casi todos los mares, se ha podido establecer que en el último medio siglo las aguas oceánicas superficiales (entre 0 y 300 metros de profundidad) han experimentado un aumento de media de 0,31 °C. En el norte del Mediterráneo occidental, tres series de datos (una procedente de L'Estartit, en la costa ampurdanesa; y dos de la costa francesa, de la isla del Levante en el archipiélago de Hyères y de Villafranca de Mar) se remontan a un poco más de treinta años, y son las más extensas que hay. Lo que indican es que en este tercio de siglo la temperatura de las aguas superficiales del Mediterráneo occidental septentrional ha aumentado alrededor de 1 °C; el mayor aumento se ha dado hacia los 20 metros de profundidad (1,2 °C), e incluso las aguas situadas a 80 metros han visto subir la temperatura en unos 0,6 °C. Parece que solo un 42% de este aumento se debe a causas antropogénicas, mientras que el resto puede estar vinculado al fenómeno climático llamado «oscilación multidecenal del Atlántico». A la vista de la gran inercia térmica del mar, en especial en aguas profundas, el efecto del calentamiento es notable y puede tener impactos muy importantes, tanto por el aumento de volumen de la masa de agua y la disminución de la densidad del agua de mar (y su papel en la circulación geostrofica), como por la fisiología, fenología, ecología y distribución de los organismos marinos.

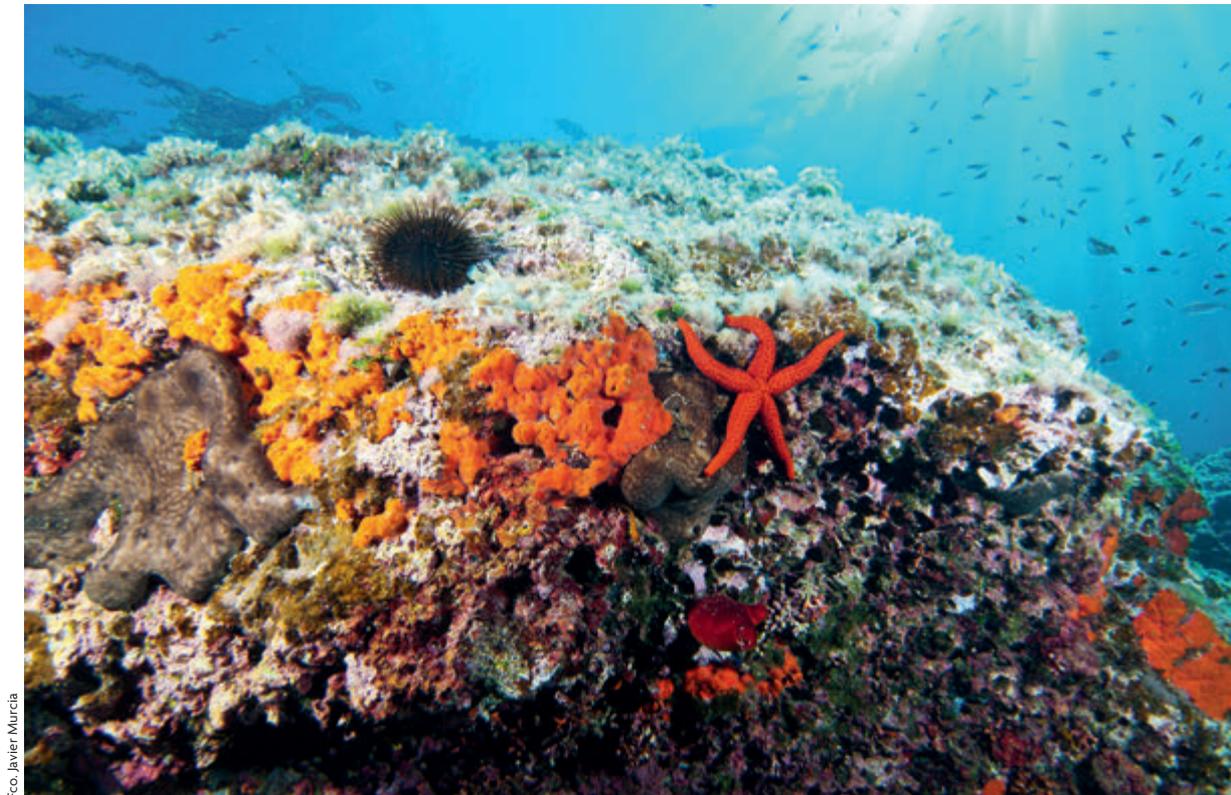
El agua de mar es ligeramente alcalina, con un pH bastante constante, entre 8 y 8,3, y solo hay desviaciones de este rango en función de la variación de la concentración de dióxido de carbono y de oxígeno: en aguas superficiales bien iluminadas, con poco CO₂ (porque lo usan las algas como materia prima para la fotosíntesis) y mucho O₂ (producido por estas plantas), el pH puede subir ligeramente, hasta 9, y alcalinizar el agua de mar. En aguas profundas, donde la materia or-



Fco. Javier Murcia

En un mar más cálido, las especies mediterráneas termófilas han ampliado su distribución. Es el caso del pez verde (*Thalassoma pavo*).

«HAY POCAS ESPECIES TAN FÁCILMENTE OBSERVABLES Y TAN CONOCIDAS COMO LOS PECES: ALGUNAS ESPECIES MEDITERRÁNEAS DE AFINIDADES TROPICALES O TERMÓFILAS HAN AMPLIADO SU DISTRIBUCIÓN»



Fco. Javier Murcia

La acidificación del agua de mar, provocada por el aumento del CO_2 , pone en peligro a los organismos que calcifican, como las algas calcáreas que construyen la comunidad del coralígeno o los equinodermos, como el erizo de mar (a la izquierda) y la estrella de mar (a la derecha). En la imagen, fondo marino de la Azohía (Murcia).

gánica producida en superficie se va descomponiendo y consumiendo oxígeno, el pH puede bajar hasta 7,6. Este rango de variación no es tan extenso como en las aguas continentales.

El pH depende de la cantidad de dióxido de carbono en el agua, en equilibrio con el de la atmósfera. Como consecuencia del incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera por causas antrópicas, también ha aumentado la entrada de este gas al mar, donde se disuelve (con una concentración mil veces mayor en el agua que en la atmósfera), forma ácido carbónico, que se disocia rápidamente en ion bicarbonato y, si las condiciones son alcalinas, en carbonato. Este, en condiciones más ácidas, vuelve a bicarbonato; es el sistema carbónico-carbonatos, responsable del equilibrio dinámico del carbono disuelto. Si la cantidad de CO_2 aumenta en el agua, también lo hace la acidez, e inmediatamente hay paso de carbonato a bicarbonato, y de este a ácido carbónico. Si la cantidad de dióxido de carbono disminuye, el sistema lo compensa descomponiendo bicarbonato a carbonato más hidrogeniones y manteniendo el equilibrio.

La alcalinidad o acidez de las aguas naturales tiene importancia porque de ella depende el equilibrio entre precipitación y disolución de algunos compuestos,

y la capacidad tampón del agua. Cuando el carbonato de calcio precipitado (en forma de calcita o aragonito) en el caparazón de un molusco o de un crustáceo, o en el esqueleto de una madrepora coralina, pasa a bicarbonato, la estructura se disuelve. La capacidad de mantener en las aguas estructuras esqueléticas a base de carbonato depende, pues, del pH. En condiciones naturales de aguas frías (polares o profundas), es difícil formar caparazones o esqueletos calcáreos: no hay corales polares o abisales, los moluscos no tienen concha o si la tienen es delgada (o blanda), etc.

El agua de mar se ha empezado a acidificar, entre 0,1 y 0,3 de pH. Si no se hace nada por reducir la entrada de CO_2 en los océanos, el pH del agua de mar se puede reducir en 0,5 unidades al acabar el siglo XXI. Esta acidificación puede representar un trastorno enorme para muchos organismos de importancia ecológica y económica. Entre los planctónicos, las cocolitoforales, los foraminíferos y los pterópodos (uno de los alimentos preferidos de las ballenas). Muchos organismos bentónicos, moluscos, crustáceos y equinodermos, entre otros, poseen esqueletos calcáreos. Pero quizá los más afectados serán los corales formadores de arrecifes, en especial los de aguas superficiales y cálidas. Sus esqueletos, que las algas simbióticas que tienen ayudan a

construir, tendrán dificultades para mantenerse intactos en aguas más ácidas, y la gran biodiversidad que hospedan los arrecifes coralinos saldría también bastante malparada. No se cree, sin embargo, que la capacidad tampón del océano se pueda ver alterada a medio plazo.

Algunos de estos efectos ya se han empezado a notar en alta mar, y tanto experimentos de laboratorio como el estudio de fuertes gradientes naturales de pH indican un impacto evidente sobre algas calcáreas, madreporarios y equinodermos, entre otros. Determinadas comunidades mediterráneas constituidas por organismos calcificados (el *trottoir* mediolitoral de *Lithophyllum byssoides*, o lasajas, y muy especialmente, la comunidad circalitoral del coralígeno) pueden resultar muy afectadas.

El cambio climático no tiene por qué implicar por sí mismo variaciones en la cantidad de nutrientes en el mar y el litoral, pero algunos procesos generados por este cambio pueden causar modificaciones en el régimen habitual de aportación de nutrientes y, por tanto, en la producción primaria; el propio descenso del pH puede movilizar determinadas formas iónicas raras en la alcalinidad normal del océano. En los escenarios de aumento del nivel del mar bastantes comunidades litorales, tanto sumergidas (praderas de fanerógamas) como emergidas (vegetación de marismas) sufrirán una reducción de la radiación incidente (en el límite inferior de las primeras) o inmersión continuada (las segundas), lo cual favorecerá la muerte de las plantas constituyentes y la descomposición de la materia orgánica, con la consiguiente liberación de nutrientes.

El ritmo al que eso suceda, sin embargo, será lo bastante lento como para que no represente ningún impacto notable, y lo mismo puede decirse de los episodios de lluvias torrenciales, que pueden implicar avenidas más frecuentes y aportación de sedimentos y nutrientes al litoral. Un aspecto aún poco estudiado es el papel que pueden representar los organismos fijadores de nitrógeno atmosférico en un océano más rico en dióxido de carbono; las primeras indicaciones apuntan a un aumento de la entrada de nitrógeno al mar. Para el bacterioplancton y el fitoplancton marinos el aumento de temperatura implica un consumo mayor de dióxido de carbono y de oxígeno, así que no está claro que la producción primaria total de los océanos y del Mediterráneo en concreto se pueda beneficiar de este incremento de CO₂ y de nitrógeno fijado.

Se ha sugerido que uno de los cambios asociados al cambio climático global será el aumento de episodios catastróficos de circulación atmosférica, desde los ciclones y



Fco. Javier Murcia

**«EL CAMBIO TÉRMICO
NO SOLO AFECTA
A LA DISTRIBUCIÓN:
ALGUNAS ESPECIES VEN
ALTERADAS PAUTAS
BIOLÓGICAS Y ECOLÓGICAS
DE TODO TIPO»**

huracanes tropicales hasta los vientos regionales asociados al tiempo meteorológico. Aún hay muchas incertidumbres sobre este extremo, pero hay que recordar aquí por lo menos tres aspectos de la biología marina en los que los vientos representan un papel destacado.

En primer lugar, los afloramientos inducidos o reforzados por vientos litorales (como el del golfo de León) pueden resultar afectados en alguna medida por eventuales cambios en el régimen de vientos (y por el calentamiento del agua). En segundo lugar, y con independencia de cuál sea la causa de la sobreabundancia de medusas y sifonóforos que últimamente se registra cerca del litoral, los organismos del macroplankton y en especial del neuston son muy dependientes de las corrientes y de los vientos por sus movimientos pasivos.



El Mediterráneo es un mar con una gran diversidad, y es difícil evaluar los efectos que tendrá el cambio climático. Lo que es seguro es que este fenómeno implicará cambios, y algunos ya los estamos viendo. En la imagen, dos especímenes de raor (*Xyrichtys novacula*), un pez muy valorado gastronómicamente que ha ampliado su distribución gracias al aumento de temperatura del mar.

Debido a los vientos de levante, el litoral catalán recibe más de estos visitantes de alta mar que en otros regímenes de vientos, con los problemas asociados.

En tercer lugar, los vientos procedentes del norte de África aportan al Mediterráneo (y a otras áreas, como las islas Canarias) polvo sahariano, con una notable carga de materiales susceptibles de actuar como nutrientes de los productores planctónicos (fósforo, hierro) o, alternativamente, de gérmenes.

Más preocupante que el posible efecto sobre el régimen de vientos resulta el impacto del cambio climático sobre las corrientes marinas. Estas son más el resultado del equilibrio dinámico entre masas de agua en función de su densidad (circulación geostrofica) que del efecto

de los vientos sobre el océano, y está claro que el calentamiento global provoca que la densidad del agua de mar cambie regionalmente, reduciéndose en unas áreas por una mayor aportación de agua dulce (por fusión de los hielos terrestres) y aumentando en otras por una reducción de estas entradas (aumento de la evaporación y reducción de la precipitación). Eso ha hecho que el énfasis del impacto más notable del cambio climático sobre el mar se haya puesto en la posible disrupción del sistema de corrientes actual, con efectos bruscos y catastróficos.

El escenario que plantea el film *El día de mañana* (2004) de una alteración súbita del sistema de circulación superficial y profunda del Atlántico Norte, con efectos inmediatos sobre el clima regional y la desviación de corrientes (entre estas la del Golfo, que calienta Europa) no parece imposible, y más si se tiene en cuenta los episodios de cambios climáticos ocurridos en época histórica. Se pueden modelar estas y otras modificaciones (por ejemplo, de las corrientes del Mediterráneo), pero el margen de incertidumbre es grande. Muchas especies aprovechan las corrientes para sus movimientos migratorios, y estos pueden verse alterados en consecuencia.

Seguramente uno de los efectos más conocidos del cambio climático es la subida del nivel del mar como consecuencia, por lo menos, de dos efectos: la dilatación de la masa de agua por efecto del calentamiento y la aportación diferencial del agua continental por fusión incrementada del hielo de heleros, casquetes polares y hielo terrestre en general (la del hielo marino no hace variar el nivel del mar). Según las diferentes proyecciones y la revisión constante que se haga de ellas, en los escenarios más negativos la subida estimada del nivel del mar es del orden de uno a dos metros a lo largo del siglo XXI, superior al total de la que ha habido en las costas europeas y norteamericanas, allá donde los registros son fiables, durante los dos o tres últimos siglos. Últimamente, sin embargo, tasas de fusión más grandes, especialmente por los hielos de Groenlandia, hacen pensar que quizá habrá que rehacer estas proyecciones al alza.

■ LOS ORGANISMOS

Aunque este aumento pueda parecer moderado, muchas regiones de costas bajas (áreas deltaicas, estuáricas, islas oceánicas coralinas) se ven amenazadas, tanto las áreas urbanizadas como las comunidades naturales: el impacto más grande será seguramente ecológico. La subida del nivel del mar enterrará áreas naturales que en la actualidad (si bien malogradas en parte por las actividades humanas) proporcionan servicios ecosistémicos bastante notables: el filtrado de las aguas fluviales contaminadas por parte de las ciénagas; la producción primaria elevada de los poblamientos de macroalgas y de las praderas de fanerógamas marinas (especialmente, en



Fco. Javier Murcia



el Mediterráneo, de *Posidonia oceanica*); el papel de áreas de cría y alimentación para pájaros, peces e invertebrados de estas comunidades que, si son cubiertas por las aguas en ascenso, difícilmente podrán restablecerse en áreas ahora ya muy alteradas o urbanizadas.

En un mar más cálido, algunas especies podrán adaptarse más o menos bien a los cambios (básicamente, el aumento de la temperatura de las aguas) y mantendrán o expandirán su distribución geográfica y batimétrica actual, mientras que otras no lo harán, y reducirán esta distribución e incluso desaparecerán, a ritmos que se han podido establecer para muy pocas especies. Las especies monotípicas (con una o pocas variedades) y rígidamente adaptadas a condiciones térmicas concretas serán las más afectadas, mientras que las monotípicas con más facilidad de adaptación y, especialmente, las politípicas (divididas en diferentes poblaciones) adaptadas a regímenes térmicos también diferentes, serán las que con menos dificultades podrán adaptarse al calentamiento de su hábitat, gracias a la resistencia y expansión de sus poblaciones más termófilas en detrimento de las que lo son menos. Los sistemas de dispersión de huevos, larvas y propágulos en general, muy ligados al sistema oceánico de corrientes, se verán también afectados y con ello, la distribución de los organismos adultos.

Actualmente, algunas especies de amplia distribución que en mares más fríos (como los marginales del

océano Atlántico) son propias de aguas superficiales suelen encontrarse en el Mediterráneo en aguas profundas; al tener el Mediterráneo temperaturas más altas tanto a lo largo del ciclo anual como en profundidad (la temperatura profunda de este mar no baja nunca de los 12°C, en clara contraposición con las aguas oceánicas, que a partir de algunos cientos de metros ya alcanzan los 4°C), estas especies buscan su óptimo térmico. Es evidente que este «hundimiento» en busca de las temperaturas más convenientes no podrá darse mucho más allá si la masa de agua en general, y no solo las aguas superficiales, se calienta. Además, será necesario que las especies de las que dependen las que modifiquen su hábitat también lo hagan; en caso contrario, se pueden dar situaciones de falta parcial o total de correspondencia depredador-presa, o de otras relaciones que se pueden ver alteradas.

Asimismo, en el Mediterráneo ha habido históricamente un claro gradiente latitudinal: las especies más termófilas, tanto las pelágicas como las bentónicas, se encontraban limitadas a las costas norteafricanas y levantinas (Mediterráneo oriental), mientras que las más capaces de tolerar temperaturas bajas eran más propias de las costas europeas, en especial del Mediterráneo occidental. Se podían encontrar distribuidas adecuadamente según estos gradientes térmicos las especies que habían entrado al Mediterráneo, una vez reestablecida la conexión de este mar con el Atlántico hace unos 5



Foto: Javier Murcia

Las aguas más cálidas de las Baleares se están convirtiendo en el refugio de especies ajenas procedentes de la migración a través del canal de Suez o de otros orígenes. Es el caso de muchas especies de algas como *Caulerpa racemosa* (a la izquierda) y *Asparagopsis taxiformis* (arriba).

millones de años, en las épocas glaciales (especies de afinidades templadas y boreales, ahora propias de las aguas septentrionales y profundas del Mediterráneo), y las que habían entrado en épocas interglaciares (especies de afinidades tropicales y subtropicales, ahora propias de las aguas meridionales y superficiales del Mediterráneo).

Últimamente, algunas de estas especies mediterráneas de afinidades tropicales o termófilas han ampliado su distribución; por ejemplo, entre los peces el raor (*Xyrichtys novacula*), el pez verde (*Thalassoma pavo*), el pez azul o anjova (*Pomatomus saltatrix*) y el mero (*Epinephelus marginatus*) son ahora muy comunes en aguas de Cataluña, mientras que hace unas pocas décadas eran raros y se encontraban en abundancia solo en áreas más meridionales (por ejemplo, las islas Baleares). *Parablennius pilicornis* (moma), *Scorpaena maderensis* (poyo) y *Pomadasyus incisus* (roncador), entre otros, han sido citados recientemente en las costas catalanas y francesas, mucho más septentrionales que su área de distribución habitual. Es muy probable que esta situación sea más general, pero hay pocas especies tan fácilmente observables y tan conocidas como los peces.

«EL ESTRÉS FISIOLÓGICO DEBILITA UNAS ESPECIES, AUMENTANDO LA MORBILIDAD, Y LAS NUEVAS CONDICIONES FACILITAN LA PROLIFERACIÓN DE OTRAS QUE SON CAUSANTES DE ENFERMEDADES»

Asimismo, en las aguas más cálidas de las Baleares, en especial, han encontrado cobijo especies ajenas procedentes de la migración lessepsiana (a través del canal de Suez) o de otros orígenes. Eso es así para algunas especies de peces (como *Siganus rivulatus*) y para muchas especies de algas (*Asparagopsis taxiformis*, *Womersleyella setacea*, *Lophocladia lallemandii*, *Caulerpa racemosa*, *C. taxifolia*, *Acrothamnion preissii*), ausentes hace dos décadas y que hoy dominan el paisaje submarino en algunos lugares de las Baleares y que ya se han empezado a establecer en el litoral peninsular.

Diferentes estudios demuestran claramente el cambio en la distribución de especies de peces de interés comercial, como la alacha (*Sardinella aurita*); existe una correlación positiva entre las anomalías térmicas y las capturas de este pez pelágico termófilo: las abundancias de un año dependen de las temperaturas registradas en la época de maduración del año anterior. Al mismo tiempo, el límite septentrional de los huevos y las larvas de la alacha ha pasado de la latitud aproximada del delta del Ebro hace treinta años a la latitud de Blanes y la Costa Brava actualmente: el calentamiento

progresivo de las aguas superficiales ha permitido la extensión hacia el norte de la especie. Y no debe ser la única.

En cualquier caso, si las especies de afinidades tropicales podrán expandir su área de distribución en un escenario de calentamiento del Mediterráneo, ¿qué les pasará a las especies de afinidades boreales, constituyentes de las llamadas «faunas frías», muchas de ellas acantonadas en aguas profundas o localidades muy septentrionales de este mar, donde

forman poblaciones reducidas o relictas? No es difícil pronosticar que seguirá el ritmo de reducción de su área de distribución, proceso que seguramente empezó desde la propia introducción en aguas mediterráneas, ahora hace varios millones de años.

Eso es lo que parece que les pasa, entre otras especies, a los moluscos *Cyprina (Arctica) islandica* y *Buccinum undatum*, y a los peces *Platichthys flesus* y *Raia clavata*. Algunos descensos importantes en las poblaciones de determinadas especies (por ejemplo, de algas fucales) podrían estar producidos, entre otros impactos, por el calentamiento creciente de nuestras costas.

El cambio térmico no solo afecta a la distribución: algunas especies ven alteradas pautas biológicas y ecológicas de todo tipo, desde la variación en la disponibilidad de alimento a la proporción entre los sexos, muy



Fco. Javier Murcia

Diversos estudios muestran una correlación positiva entre las anomalías térmicas y las capturas de un pez de interés comercial como la alacha (*Sardinella aurita*). Además, el calentamiento progresivo de las aguas superficiales ha permitido la extensión hacia el norte de la especie: si el límite septentrional de los huevos y las larvas de esta especie era el delta del Ebro hace treinta años, actualmente lo podemos situar en la Costa Brava.

dependiente de la temperatura en los peces. El efecto demográfico de estos cambios puede ser bastante importante. Asimismo, como ya está bien establecido en los ecosistemas terrestres, en los marinos se puede dar un decalaje en las épocas de freza y reproducción o en la fenología en general en las especies en las que la dependencia de la temperatura es fuerte, en vez de seguir una pauta más ligada al tiempo calendario.

Uno de los cambios más espectaculares es el que corresponde a la parada nupcial y la freza del mero (*Epinephelus marginatus*), observada por primera vez en aguas catalanas (de las islas Medas) hace dos décadas. La reproducción de esta especie termófila no se había registrado nunca a una latitud tan alta, donde tan solo llegaban juveniles eclosionados en aguas meridionales del Mediterráneo. Seguro que no es este el único caso.

Los organismos no responden como máquinas de todo o nada al cambio climático: las nuevas condiciones pueden representar modificaciones en la fisiología, desde una menor cantidad de oxígeno disponible para las actividades normales hasta una menor capacidad competitiva en relación a las otras especies en las nuevas condiciones, que se añaden a las limitaciones en las disponibilidades alimentarias ya mencionadas. Mientras que a menudo nos referimos a los organismos adultos, no olvidemos que esporas, propágulos, huevos, estados larvarios, juveniles, etc. viven también en el mar, y su sensibilidad a los cambios ambientales suele ser mayor. Por ejemplo, se ha constatado una notable reducción en las tasas de desarrollo de larvas de animales marinos sometidas a pH más ácidos. La adaptación a las nuevas condiciones, pues, generará estrés



Foto: Javier Murcia

Otra especie que ha variado su distribución es la moma *Parablennius pilicornis*, que recientemente ha sido citada en zonas mucho más septentrionales que su área de distribución habitual.

fisiológico y ocasionará cambios notables en la biología de las especies y en la ecología de las comunidades.

Algunos de estos cambios caen dentro del apartado de enfermedades: el estrés fisiológico debilita unas especies, aumentando la morbilidad, y las nuevas condiciones facilitan la proliferación de otras que son causantes de enfermedades. La mayor parte de casos de enfermedades y mortandades en masa (véase más adelante) están ligados a altas temperaturas episódicas o duraderas. Hay que interpretar «enfermedades» de forma muy amplia, desde la proliferación de gérmenes (a causa del aumento de la temperatura o a otros efectos sinérgicos, por ejemplo el aumento de nutrientes) hasta la sobreabundancia de especies tóxicas, básicamente dinoflagelados y otras algas causantes de proliferaciones nocivas (mareas rojas). Las características ambientales que facilitan esta proliferación (aguas tranquilas, cálidas y ricas en nutrientes) parecen ser cada vez más frecuentes en áreas abrigadas del litoral mediterráneo.

De todos los efectos negativos asociados al cambio climático, el que hasta ahora parece mejor establecido y ha producido unos resultados espectaculares y catastróficos (por su alcance) es la serie de condiciones oceanográficas y otras que provocan episodios de mortandad en masa a gran escala. Estos episodios, que no eran desconocidos en el medio marino, últimamente han proliferado como consecuencia de las fuertes presiones sobre las especies sésiles, tanto en los fondos mediterráneos como en los arrecifes de coral (muy

amenazados en todo el mundo, en buena medida como consecuencia del aumento de la temperatura del agua) y otros ecosistemas oceánicos, no obstante, no se habían documentado tan bien como a lo largo de las dos últimas décadas en el Mediterráneo noroccidental.

A finales del verano de 1999 se observó un episodio de mortandad en masa, sin precedentes, a lo largo de cientos de kilómetros de las costas de Provenza y Liguria. Las especies afectadas fueron sobre todo invertebrados sésiles y suspensívoros de la comunidad coralígena, situados entre los 10 y los 40 metros de profundidad: esponjas (*Hippospongia communis*, *Spongia officinalis*), cnidarios (especialmente los antozoos *Corallium rubrum*, *Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolinii*, *E. singularis* y *Cladocora caespitosa*), moluscos bivalvos, briozoos y ascidias. El resultado fue una pérdida de biomasa estimada en el 50% de la que es propia de esta comunidad, debida a necrosis de los tejidos de las colonias, con posterior desprendimiento u ocupación de estas por especies epibiontes.

En 2003 se repitió el episodio, con una notable extensión hacia el sur de las áreas afectadas: casi toda la costa italiana del Tirreno hasta el golfo de Nápoles, Córcega, el estrecho de Bonifacio, Cataluña, Menorca y las Columbretes. En 2006, de nuevo, se dio un episodio de mortandad en masa de suspensívoros, aparentemente con un impacto menor al de tres años atrás. El episodio de 1999 se pudo detectar y evaluar porque en algunas áreas protegidas de la zona se desarrollaban estudios de seguimiento de las comunidades, y en los años posteriores se hizo el seguimiento del impacto y de la eventual recuperación de las poblaciones de las especies de suspensívoros afectadas. Al repetirse las mortandades en años sucesivos se ha puesto en marcha un programa internacional de detección temprana, evaluación y, eventualmente, identificación de las causas (Medchange).

El impacto de estos episodios ha sido enorme, tanto por el alcance geográfico como por el número de especies afectadas, por la incidencia en las poblaciones, por la dificultad de recuperación (algunas de estas especies son de biología parsimoniosa: la gorgonia *Paramuricea clavata*, por ejemplo, crece del orden de 1 centímetro anual, así que recuperar la complejidad estructural de las comunidades del coralígeno afectadas, aunque sea solo parcialmente, puede costar décadas), por el impacto sobre la biodiversidad asociada a los «bosques» de suspensívoros afectados, etc.

«LOS EPISODIOS DE MORTANDAD EN MASA A GRAN ESCALA HAN PROLIFERADO COMO CONSECUENCIA DE LAS FUERTES PRESIONES SOBRE LAS ESPECIES SÉSILES, TANTO EN LOS FONDOS MEDITERRÁNEOS COMO EN LOS ARRECIFES DE CORAL»

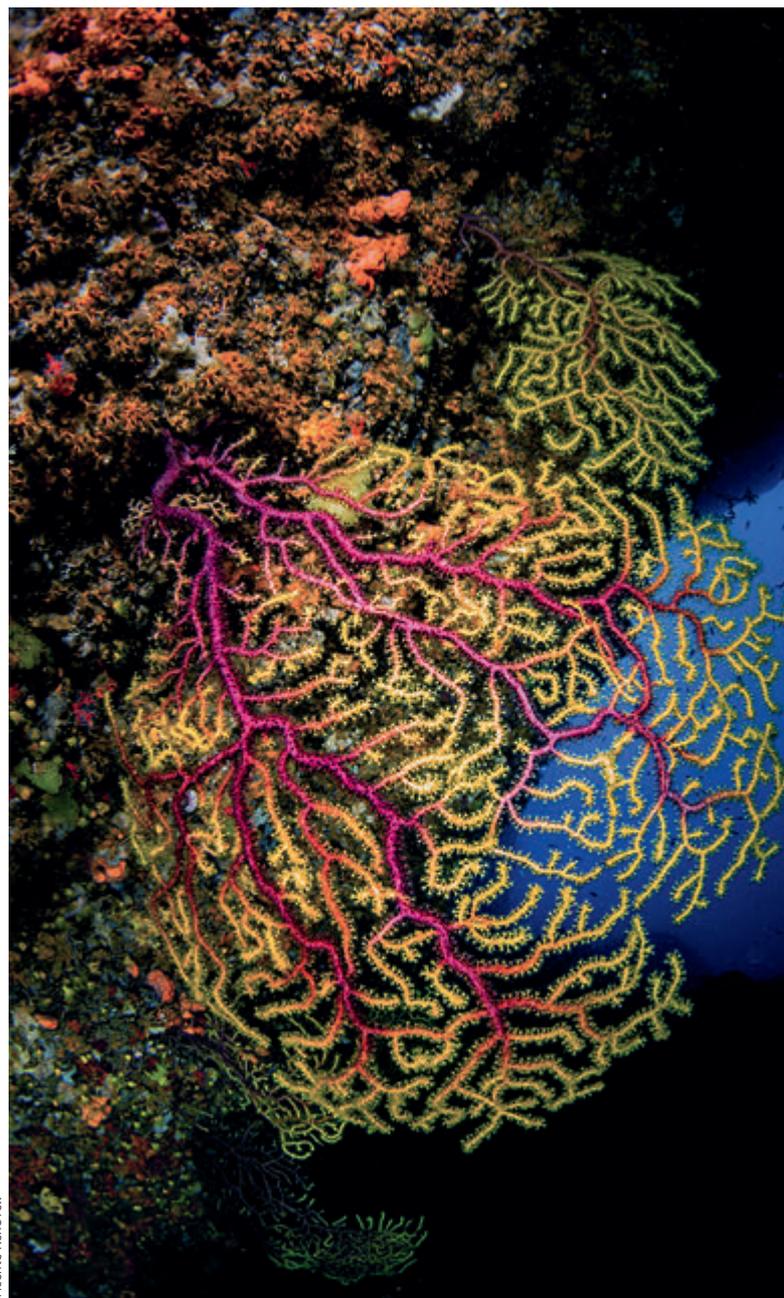
El efecto no ha sido el mismo en todas las áreas geográficas ni en todas las poblaciones, ni en los diferentes años en los que se ha detectado el fenómeno. La causa principal de estas mortandades ha sido una sinergia de diferentes efectos: la prolongación, más allá de lo que es habitual (un mes más), del período de mantenimiento de la termoclina estival, que separa las aguas cálidas superficiales de las frías profundas; la baja disponibilidad de plancton en las capas superficiales del mar, debido a esta falta de mezcla de las masas de agua a finales de verano-inicios de otoño: los suspensívoros murieron, literalmente, de inanición; la posible presencia de gérmenes patógenos en las aguas, y aún quizá de otros.

El resultado de estos episodios de mortandad en masa es innegable y catastrófico. Como los diferentes escenarios de cambio climático plantean un aumento de la temperatura a lo largo del siglo XXI, los episodios de calentamiento de las aguas superficiales del Mediterráneo pueden dejar de ser excepcionales y convertirse en habituales, con las implicaciones de pérdida regional de biodiversidad que se puede suponer.

Hay otras situaciones en las que el calentamiento global propicia y magnifica otros impactos; mencionaremos un par de ellos. Las áreas litorales cerradas (puertos, lagunas), con aguas más cálidas, son reservorios de especies exóticas, entre ellas las de afinidades tropicales, aportadas en el pasado o actualmente mediante el transporte en el agua de lastre de los barcos o en las incrustaciones vivas de las carenas de estos. El aumento de la temperatura de las aguas del Mediterráneo puede representar la «liberación» de algunas de estas especies, acantonadas hasta ahora en las mencionadas áreas restrictas, que podrán ocupar áreas más extensas. Eso es lo que ha pasado recientemente con el coral *Oculina patagonica*, hasta hace poco restricto al puerto de Alicante y ahora extendido en los fondos superficiales de muchas localidades del Mediterráneo occidental.

Ya se ha mencionado la entrada al Mediterráneo y posterior expansión de especies exóticas lessepsianas (a través del canal de Suez) o de otros orígenes, expansión que el aumento de temperatura está favoreciendo y puede hacerlo aún más en el futuro inmediato. Hay que hacer referencia también a la situación de erosión de la biodiversidad, de agotamiento de las reservas pesqueras, de alteración de las aguas y los fondos por la contaminación y otras actividades de origen antrópico, que se añaden sinérgicamente a los impactos derivados del cambio climático. El resultado es una afectación muy importante a los hábitats y a las especies.

Todos estos impactos, y muchos otros, se traducen en una pérdida notable de biodiversidad, si bien algunos fenómenos (como la incorporación de especies



Vicente Renove

Un efecto negativo asociado al cambio climático son los episodios de mortandad en masa a gran escala, documentados a lo largo de los últimos años en el Mediterráneo noroccidental. Estos episodios tienen un gran impacto, ya que afectan a comunidades de coralígeno muy frágiles. Una de las especies afectadas ha sido la gorgonia *Paramuricea clavata*, que forma «bosques» submarinos y estructura el espacio. El crecimiento parsimonioso de la especie (1 cm al año) hace difícil la recuperación de estas comunidades. En la imagen, ejemplares de esta especie en las islas Medes (Girona).

**«LA BIODIVERSIDAD MARINA
DEL MEDITERRÁNEO EXPERIMENTA
ÚLTIMAMENTE CAMBIOS IMPORTANTES
COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO
CLIMÁTICO Y OTRAS ACTIVIDADES
ANTRÓPICAS»**



Fco. Javier Murcia

Mientras que las especies de afinidades tropicales extienden su área de distribución por el calentamiento del Mediterráneo, las especies de afinidades boreales, arrinconadas en aguas profundas o zonas muy septentrionales de este mar, están sufriendo el proceso contrario. Es el caso de la raya de clavos (*Raia clavata*), un pez cartilaginoso que habita en fondos arenosos.

alóctonas) podrían hacer pensar lo contrario. La biodiversidad marina del mar Mediterráneo, que es notable, experimenta últimamente cambios importantes como consecuencia del cambio climático y otras actividades antrópicas, algunos de un alcance y a un ritmo conmensurados, otros de alcance regional y muy rápidos.

Estos cambios tienen dos características comunes. Por una parte, la eliminación masiva de las especies más frágiles y longevas, de biología parsimoniosa y más adaptadas, muchas de ellas endémicas o relictas, y la persistencia y expansión de especies banales, pioneras, en buena medida alóctonas. Y en segundo lugar, la «tropicalización» de la biota: no solo las especies autóctonas favorecidas son las más termófilas, sino que tanto las que entran de manera natural vía Gibraltar como las migradoras lessepsianas y buena parte de las que penetran favorecidas por el transporte humano son de afinidad subtropical o tropical.

Es difícil evaluar cuáles pueden ser los efectos de estos cambios en la biodiversidad en la escala de todo el Mediterráneo, que es un mar muy diverso. Pero es seguro que el empobrecimiento de unos actores y la expansión de otros, mediante impactos directos o inducidos, a través de efectos en cascada que reverberan por todo el ecosistema, y de cambios de sentido en los equilibrios poblacionales y ecosistémicos «naturales» (hasta donde sea posible esta denominación), provocarán alteraciones importantes en la biodiversidad y en la ecodiversidad (las relaciones entre las especies que constituyen la biodiversidad). A una escala temporal mucho más larga (de milenios) quizá los resultados

sean favorables para la biodiversidad, como parece haber ocurrido en los ecosistemas del pasado, pero a una escala temporal corta la reducción de la biodiversidad es segura. Eso ya está pasando en otros mares regionales, con un resultado muy claro.

Quizá el mar Mediterráneo no dejará de ser oligotrófico ni biodiverso; quizá no acabará «tropicalizándose»; quizá las algas frondosas no serán sustituidas por los corales, pero es casi seguro que será muy diferente de aquel que describieron los investigadores marinos de los siglos XIX y XX y los poetas de todos los tiempos. ☺

REFERENCIAS

- Ben Haj, S., & Limam, A. (Eds.). 2010. *Impact of climate change on marine and coastal biodiversity in the Mediterranean Sea: Current state of knowledge*. Túnez: RAC/SPA EdUNEP-MAP-RAC/SPA.
- Calvo, E., Simó, R., Coma, R., Ribes, M., Pascual, J., Sabatés, A., ... Pelejero, C. (2011). Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems: The case of the Catalan Sea. *Climate Research*, 50, 1–29. doi: 10.3354/cr01040
- Duarte, C. M. (2014). Global change and the future ocean: A grand challenge for marine sciences. *Frontiers in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2014.00063
- Kersting, D. K. (Ed.). (2015). *Cambio climático en el medio marino español: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Lazzari, P., Mattia, G., Solidoro, C., Salon, S., Crise, A., Zavatarelli, M., ... Vichi, M. (2014). The impacts of climate change and environmental management policies on the trophic regimes in the Mediterranean Sea: Scenario analyses. *Journal of Marine Systems*, 135, 137–149. doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.005
- Lejeune, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., & Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(4), 250–260. doi: 10.1016/j.tree.2009.10.009
- Marbà, N., Jordà, G., Agustí, S., Girard, C., & Duarte, C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, 2, 56. doi:10.3389/fmars.2015.00056
- Pairaud, I. L., Bensoussan, N., Garreau, P., Faure, V., & Garrabou, J. (2014). Impacts of climate change on coastal benthic ecosystems: Assessing the current risk of mortality outbreaks associated with thermal stress in NW Mediterranean coastal areas. *Ocean Dynamics*, 64(1), 103–115. doi: 10.1007/s10236-013-0661-x
- Pelejero, C., Ros, J. D., & Simó, R. (2016). Ecosistemes marins i costaners. En J. Martín-Vide (Ed.), *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (pp. 259–286). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, Generalitat de Catalunya.
- Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., ... Richardson, A. J. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3, 919–925. doi:10.1038/nclimate1958
- Ros, J. D. (2009). El mar i les costes catalanes ja noten l'efecte del canvi climàtic. En N. Prat., & A. Munné (Eds.), *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya* (pp. 259–277). Barcelona: Agència Catalana de l'Aigua - Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.
- Simó, R., Calvo, M., Pelejero, C., Ribes, M., & Pascual, J. (2010). Ecosistemes marins. En Llebot, J. E. (Ed.), *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (pp. 469–502). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, Generalitat de Catalunya.
- Vargas-Yáñez, M., Moya, F., García-Martínez, M. C., Tel, E., Zunino, P., Plaza, F., ... Serra, M. (2010). Climate change in the Western Mediterranean Sea 1900–2008. *Journal of Marine System*, 82, 171–176. doi: 10.1016/j.jmarsys.2010.04.013

Joandomènec Ros. Catedrático de Ecología de la Universidad de Barcelona y presidente del Institut d'Estudis Catalans (Barcelona).