



INFORME DE ASESORAMIENTO TÉCNICO DEL ÁREA DE MEDIO MARINO DEL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO)

ASUNTO	Informe sobre el estado actual del Mar Menor
Organismo solicitante	Subdirección General para la Protección del Mar. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. Ministerio para la Transición Ecológica
Fecha de solicitud	22 de octubre de 2019

SÍNTESIS DEL ESTADO ACTUAL DEL MAR MENOR Y SUS CAUSAS

Concepto de eutrofización

Se entiende por **eutrofización** el proceso de enriquecimiento natural o antrópico con nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo), más allá del nivel crítico de la capacidad autoreguladora de un sistema determinado con un flujo y ciclo de nutrientes equilibrado (Schramm & Nienhuis 1996). La **hipertrofia** hace referencia a aquella situación en la que el exceso de nutrientes causa cambios irreversibles en las comunidades acuáticas mientras que los aportes de nutrientes no sean reducidos.

Se consideran **efectos primarios** de la eutrofización los siguientes:

- Incremento de los niveles de nutrientes
- Aparición de floraciones (*blooms*) *fitoplanctónicas*
- Declive o pérdida de comunidades de plantas marinas perennes y reemplazo por algas de crecimiento rápido
- Reducción de la diversidad de la flora y fauna asociada
- Blooms de algas de vida corta que llegan a causar perjuicios a la pesca u otra actividad (p.e. turismo)
- Cambios en la profundidad de distribución de algas bentónicas por reducción de la luz

Se consideran **efectos secundarios** de la eutrofización los siguientes:

- El incremento de la biomasa vegetal da lugar a aumento del material orgánico particulado y disuelto
- Incremento de la abundancia de especies bentónicas filtradoras y detritívoras
- Intensificación de los procesos que consumen oxígeno que dan lugar al agotamiento del oxígeno y la producción de sulfuros
- Declive en la diversidad de zooplancton y peces.



Al contrario de un sistema eutrófico, los sistemas **oligotróficos** son pobres en nutrientes debido a que los aportes de los mismos son escasos, bien porque hay pocos aportes desde tierra, como ocurre en zonas costeras mediterráneas áridas y semiáridas (como es el caso del SE peninsular), o bien porque hay pocos aportes de origen antrópico. En estos sistemas el crecimiento del fitoplancton está limitado y las aguas son transparentes, permitiendo el desarrollo de comunidades vegetales bentónicas permanentes. Esta era la situación en que se encontraba el Mar Menor en los años 1950, antes del desarrollo urbanístico y agrícola.

Evolución reciente del ecosistema marino lagunar

Durante décadas, los aportes de nutrientes (fundamentalmente nitratos, aunque también fosfato y amonio) y materia orgánica al Mar Menor han forzado al sistema originalmente oligotrófico, a un estado **eutrófico**. La **clorofila a** se considera un macrodescriptor del grado de desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas y, por tanto, del grado de oligotrofia-eutrofia. En términos generales, y salvo excepciones, un mayor contenido en clorofila a es normalmente consecuencia de una mayor presencia de nutrientes en el medio. La siguiente gráfica muestra la evolución de la clorofila a desde finales de la década de 1990 hasta 2017 en el agua del Mar Menor (línea azul, figura 1):

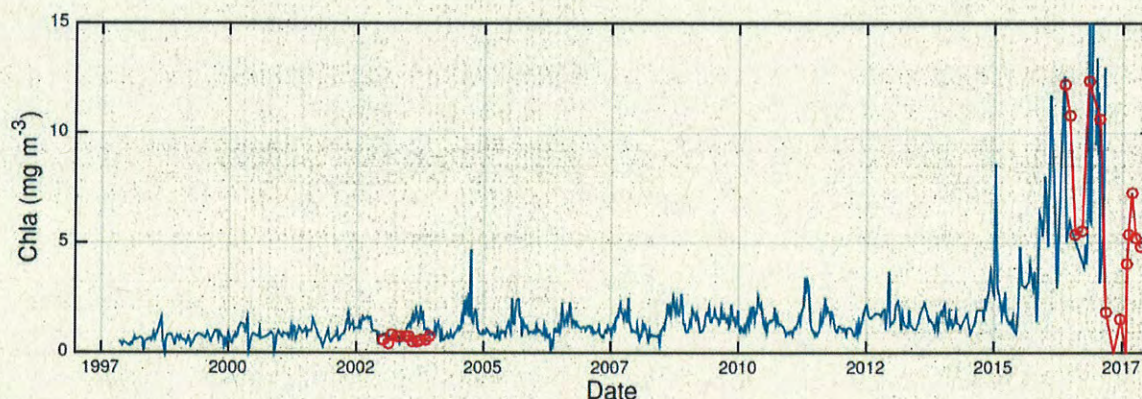


Figura 1. La línea azul es la clorofila obtenida a partir de análisis espectral de imágenes de satélite y los puntos y líneas rojos son valores de clorofila obtenidos directamente a partir de muestras de agua y determinados espectrofotométricamente (IEO, proyecto MMEM). Fuente: elaborado por Eugenio Fraile Nuez (IEO) a partir de imágenes de satélite para Belando et al (2019).



Como se puede apreciar, antes de 2015 los valores de *clorofila a* eran muy bajos, propios de un sistema oligotrófico. En la figura 2 se muestran los valores medios de clorofila a obtenidos por el IEO en diferentes proyectos de diferentes épocas. En este periodo muy rara vez se superaban valores de $1,5 \text{ mg m}^{-3}$, siendo el valor medio de $0,6 \pm 0,82 \text{ mg m}^{-3}$.

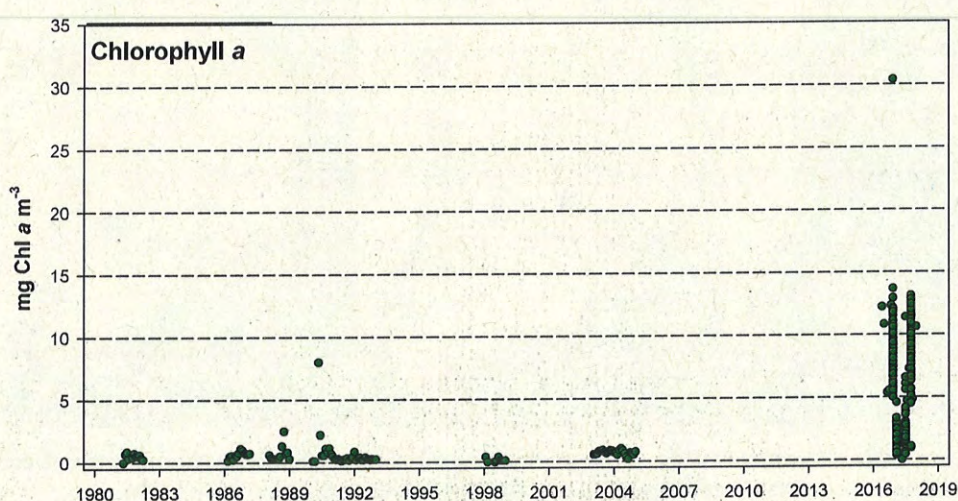


Figura 2. Valores medios de clorofila a obtenidos a partir de muestras de agua por determinación espectrofotométrica entre 1981 y 2018. Fuente: elaborado por Jesús Mercado, C-O. Málaga (IEO), a partir de diversas fuentes.

En la década de 2000 ya se observaban variaciones de la *clorofila a* que alertaban del riesgo de eutrofización, pero fue en verano de 2015 cuando se dispara bruscamente el nivel de clorofila por el crecimiento fitoplanctónico y las aguas se vuelven turbias y de color verde (es la que se ha llamado crisis eutrónica de 2016 en el Mar Menor). La luz deja de llegar al fondo durante un largo periodo (más de 9 meses; Belando et al 2019) y como consecuencia el 85% de la vegetación del Mar Menor (10.843 hectáreas) desaparece, como se muestra en la figura 3.

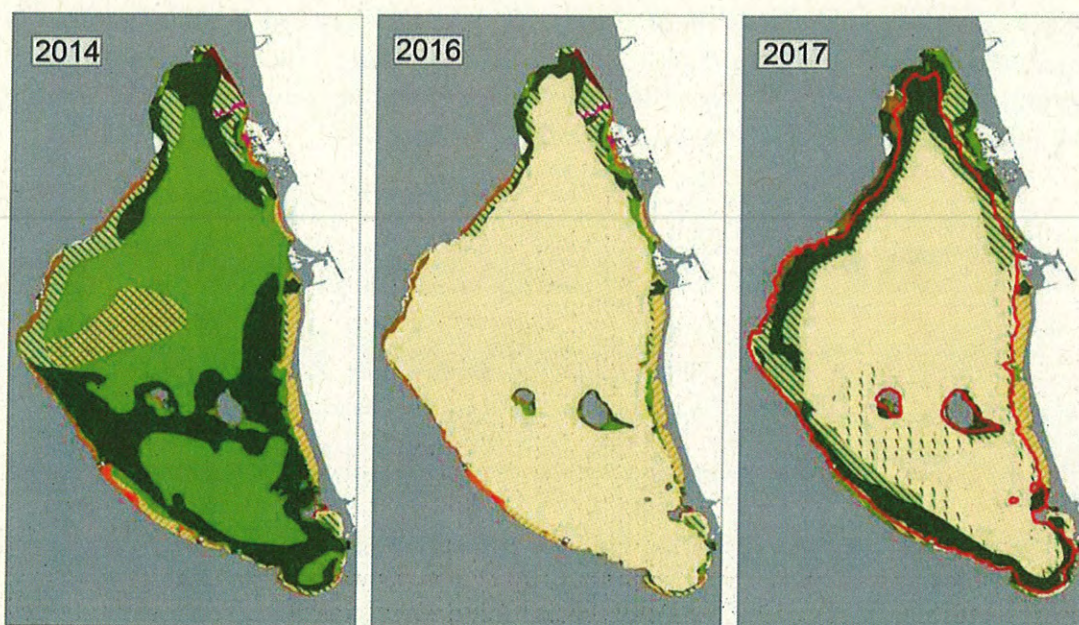


Figura 3. Cartografía de alta precisión de las comunidades de macrófitos bentónicos del Mar Menor realizada antes (2014) y después de la crisis eutrófica (2016 y 2017). Fuente: Belando et al (2019), IEO.

En la Figura 4 se muestra cómo estaba el fondo en 2014, antes del evento de crecimiento fitoplanctónico masivo, totalmente colonizado por vegetación, y como quedó tras el episodio en 2016 tras la muerte de la vegetación de los fondos. Ambas imágenes mostradas en la figura 4 fueron tomadas en el mismo sitio



Figura 4. Comunidad de *Cymodocea nodosa* y *Caulerpa prolifera* a 5 m de profundidad en 2014 (izquierda) y aspecto del mismo sitio durante el muestreo de 2016. Fuente: Belando et al (2019), IEO.

Este episodio supuso la muerte y descomposición de enormes cantidades de biomasa vegetal (del orden de 20.000 toneladas), que a su vez contenían una importante cantidad de nitrógeno y fósforo que pasan de nuevo al medio. Por otra parte, al desaparecer la vegetación los sedimentos quedan desprotegidos y se facilita la liberación a la columna de agua de los nutrientes almacenados en el sedimento, que representan uno de los reservorios de nutrientes y materia orgánica del ecosistema lagunar, como recientemente ha demostrado un estudio realizado por Álvarez Rogel et al. (2019).

A partir de 2017, los episodios de aguas turbias se alternan con episodios de aguas transparentes (Figura 5), circunstancia que aprovecha el clorófito *Caulerpa prolifera* para recuperar parte de la superficie perdida en 2016 (38,9%; Figura 3).

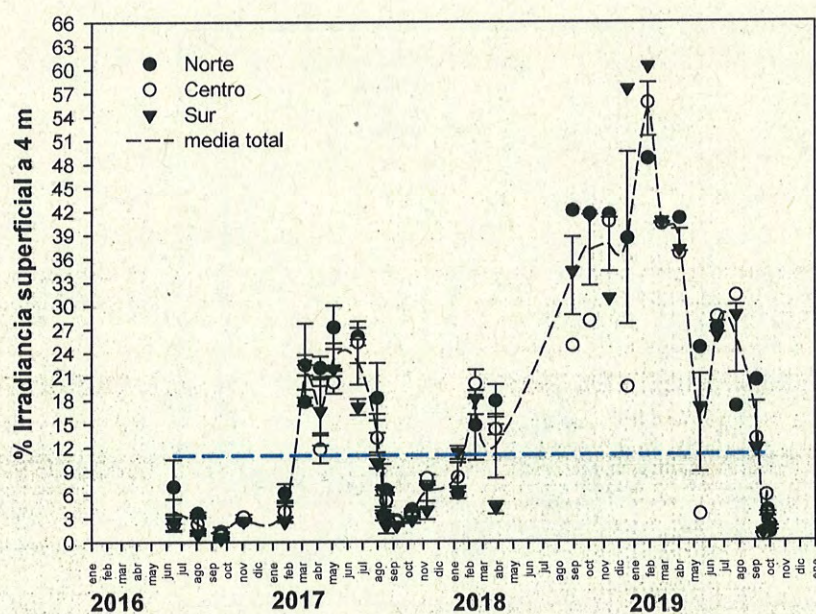


Figura 5. Proporción de la luz que alcanza una profundidad de 4 metros respecto a lo que hay a nivel de superficie. Entre enero y agosto de 2017, y la mayoría de 2018, los niveles de luz se recuperaron por encima de los niveles críticos para el crecimiento de la vegetación bentónica (línea azul discontinua). Desde principios de 2019, las aguas muestran una tendencia casi constante a enturbiarse y los niveles de luz en el fondo disminuyen hasta caer muy por debajo de dichos niveles críticos a partir de verano de 2019. Fuente: proyecto MMEM, IEO.

En 2018 la transparencia del Mar Menor se recuperó a niveles previos al evento de 2016 (Figura 5), lo que desde ciertos ámbitos se interpretó como una recuperación del estado ecológico del Mar Menor. Sin embargo, una parte de la comunidad científica en la que se incluyen investigadores del IEO, la UMU, UA, CEBAS-CSIC y UPCT, entre otras instituciones, consideramos que **la evidencia científica y las circunstancias reales no apoyaban un diagnóstico de recuperación**. De hecho, en 2019 la concentración de clorofila en la columna de agua **aumentó progresivamente hasta alcanzar niveles que estaban dentro de los rangos observados en el periodo 2015-2016**. Esto se hacía evidente a finales de agosto de 2019, justo antes de la DANA, como se muestra en la figura 6.

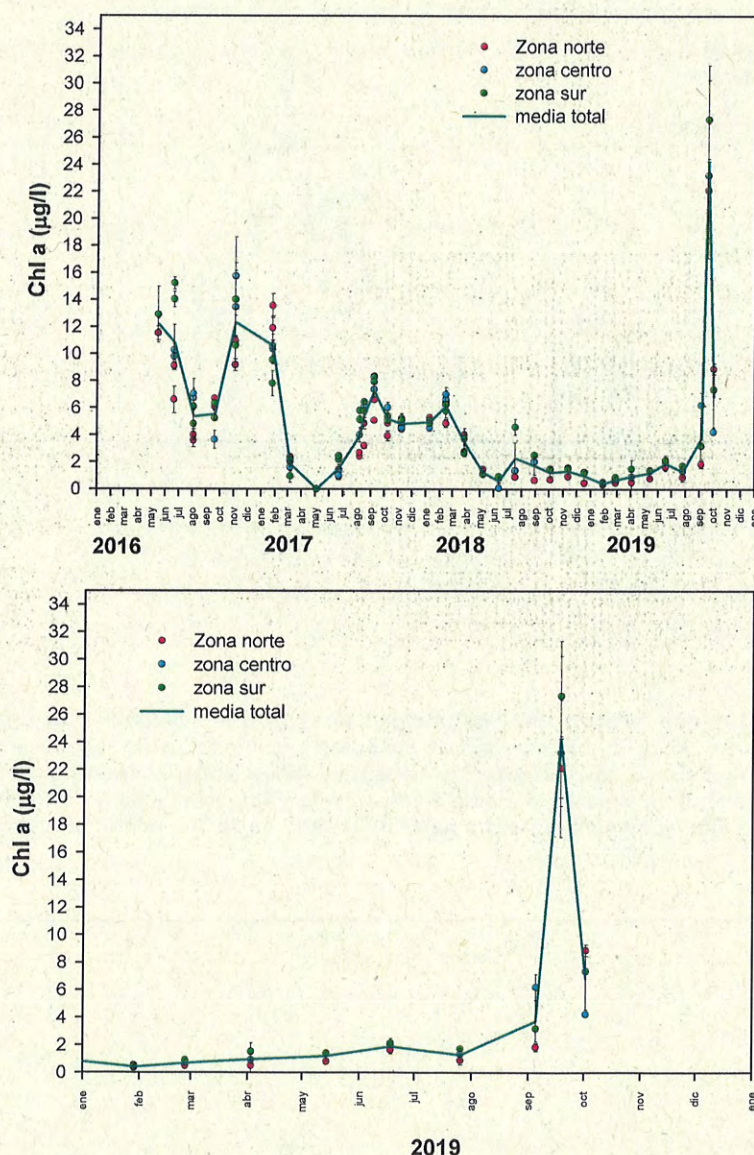


Figura 6. Evolución de la clorofila a en el periodo 2016-2019 (arriba) y detalle de la evolución de dicha variable en 2019 (abajo). Fuente: proyecto DMMEM, IEO.



Tras la DANA los niveles de clorofila aumentaron de forma muy brusca hasta niveles superiores a los máximos de 2016, lo que se ha atribuido a la entrada masiva de nitrógeno y fósforo asociada a la entrada de agua y sedimentos terrígenos procedentes de los terrenos de cultivo del Campo de Cartagena. La clorofila disminuyó pocos días después y ahora ha vuelto a aumentar hasta alcanzar los rangos medidos en 2016.

A consecuencia del agua dulce aportada por la DANA, la columna de agua se estratificó formando una capa superficial menos salina, reduciendo la transferencia de oxígeno atmosférico hacia partes más profundas de la columna de agua. En paralelo, la elevada turbidez del agua reduce drásticamente la luz que alcanza el fondo de la laguna (Figura 5) impidiendo la producción de oxígeno por parte de la actividad fotosintética de la vegetación bentónica. Todo esto favorece la creación de una capa de agua profunda a partir de 3 m de profundidad en la que el oxígeno se ha agotado en su casi totalidad, causando la muerte de la vida asociada al fondo lagunar y la huida masiva de organismos de todas las especies hacia las zonas menos profundas de la laguna. Este episodio se encuentra descrito en el documento anexo: **Informe parcial de resultados sobre la evolución de los efectos de la DANA en el Mar Menor.**

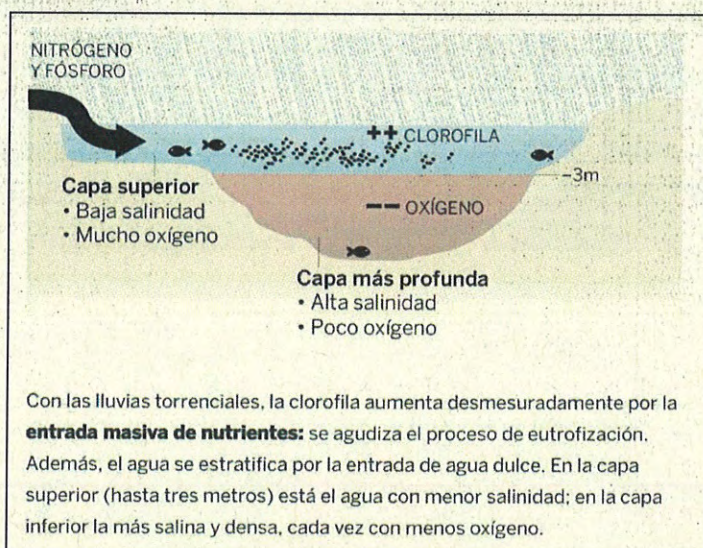
El sábado 12 de octubre, y a consecuencia de los vientos de levante, parte de **esta capa anóxica profunda afloró** en la plataforma del extremo norte de la laguna causando anoxia extrema y liberación de productos del metabolismo anaerobio acumulados en las aguas profundas, como sulfuros disueltos y emanación de gas sulfhídrico, tóxicos para muchos animales y plantas. Tanto la falta de oxígeno como los sulfuros formados durante los procesos de respiración anaerobia debieron contribuir a la muerte de toda la fauna presente en una extensa área al norte de la laguna.

De acuerdo con los datos disponibles, la capa anóxica del fondo ha reducido considerablemente su espesor y se observa una recuperación de los niveles de oxígeno en la mayor parte de la columna de agua, sobre todo en la parte central y sur de la cubeta. Es en la zona norte donde todavía queda una capa residual de agua anóxica.

En el siguiente esquema se resume de forma didáctica el proceso descrito a partir de agosto de 2019, en base a los datos recabados por el IEO y otras instituciones a partir de agosto de 2019 (Fuente: infografía El País, adaptado de información proporcionada por JM Ruiz-IEO):

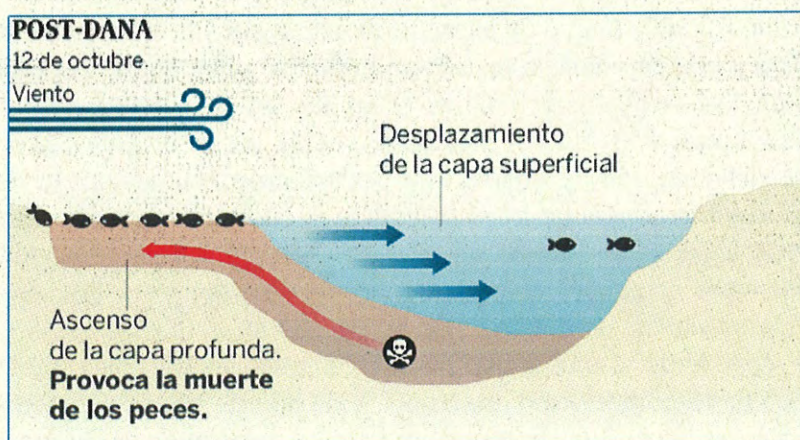
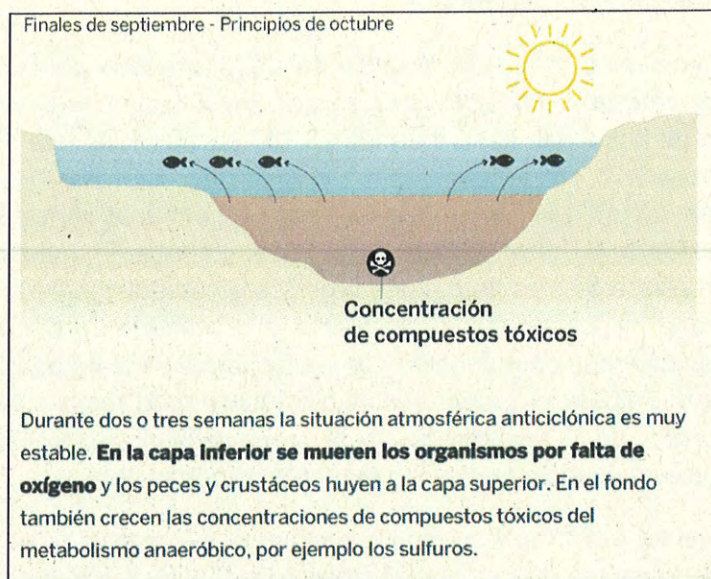


DANA. Del 9 al 14 de septiembre:





Post DANA:



El viento desplaza el agua de la orilla hacia el centro de la laguna, lo que permite que **ascienda la capa anóxica** que ha permanecido en el fondo. Esa capa de agua sin oxígeno y con sulfuros es la que **mata a todos los peces y crustáceos** que se encuentra y que estaban refugiados en la capa superior.



Causas de la crisis ecológica del Mar Menor

El Mar Menor viene recibiendo desde la década de 1980 grandes cantidades de **nutrientes procedentes mayoritariamente de la actividad agraria del Campo de Cartagena**, donde entre 1988 y 2009 el regadío de la cuenca pasó de unas 25.150 hectáreas a más de 55.000 hectáreas, de acuerdo con los estudios de teledetección disponibles. Desde 2009 ha continuado la transformación a regadío. La entrada continuada de estos nutrientes se consideran un factor crucial para que se desencadenara la crisis eutrófica de 2016. La muerte masiva de la vegetación bentónica constituye un aporte masivo de materia orgánica y nutrientes para el fondo de la laguna, lo que dispara la actividad microbiana en el sedimento y lo vuelve mayoritariamente anóxico. De esta forma, a los aportes externos de nutrientes que recibe la columna de agua **procedentes de la cuenca**, se suman los que libera el propio sedimento (sobre todo fósforo y amonio) debido los procesos de mineralización de la materia orgánica acumulada. Este problema se agrava con episodios agudos de entrada, especialmente con la DANA de septiembre.

La profunda degradación del Mar Menor ha sido causada por el proceso de eutrofización debido al exceso de nutrientes, degradación que ya existía antes de la DANA a lo que se añade lo arrastrado por la DANA: estimaciones preliminares basadas en muestras recogidas durante el evento cuantifican los nutrientes que han entrado, entre 35 y 60 toneladas de nitratos, 25 a 45 de amonio y más de 100 de fosfato. Por tanto, el problema no sólo puede atribuirse a la entrada en sí de agua dulce (favoreciendo la anoxificación del fondo y explicando el último episodio de mortalidad masiva de organismos marinos), sino a lo que ha introducido este agua a la laguna, que es el “combustible” del proceso eutrófico y que se añade a la materia orgánica y nutrientes que han sido acumulados durante décadas en los sedimentos marinos y en las aguas subterráneas. De hecho, como recuerda AMETSE (Asociación Meteorológica del Sureste), los datos pluviométricos muestran que la avenida de noviembre de 1987 presentó una precipitación acumulada un tercio mayor que la DANA de este año, pese a lo cual no hubo episodios de mortandad masiva en la laguna, al igual que en otros muchos episodios históricos de avenida. Testimonios de pescadores locales afirman que la turbidez del agua causada por la riada de 1987 se recuperó aproximadamente en una semana. La DANA y los vientos de Levante han hecho aflorar en la zona Norte parte de esta masa de agua profunda, originando la mortandad masiva de múltiples especies, probablemente por los productos tóxicos de la descomposición anaerobia. Este tipo de episodios agudos pueden volver a ocurrir. **La eutrofización ha supuesto una degradación profunda del Mar Menor, que se está cronificando y además lo ha hecho críticamente vulnerable a múltiples factores**, que pueden ir variando (la DANA sería un ejemplo, pero no el único) y que **en cualquier momento pueden volver a desencadenar episodios agudos de mortandad**.



La recuperación del Mar Menor será un proceso ***largo y muy complejo*** porque, incluso si no entraran más nutrientes de la cuenca, la liberación de nutrientes desde compartimentos internos (p.e. sedimentos, aguas subterráneas), podrá continuar durante bastante tiempo, desconociendo la escala temporal de la reversión de los niveles de nutrientes incluso si cesaran todos los vertidos existentes en la actualidad (años, décadas).

Por tanto, el primer paso para la recuperación del ecosistema es atajar la entrada de nutrientes con medidas de ***prevención en origen*** y consiguiendo que la propia cuenca sea capaz de retener y eliminar los nutrientes a través de distintas ***medidas basadas en la naturaleza***, incluyendo la recuperación de las ***superficies naturales de humedales*** periféricos a la laguna y la construcción de humedales artificiales u otros sistemas capaces de retener y depurar las aguas de escorrentía y efluentes generados en la zona. Los humedales son además los ***únicos sistemas capaces de retener y eliminar buena parte de los nutrientes acumulados en caso de avenidas***, las cuales serán cada vez más frecuentes debido al cambio climático. Deberían revisarse en este sentido las medidas priorizadas en el Proyecto Vertido Cero, cuyas actuaciones centrales se sitúan en una línea diferente.

Madrid, 28 de octubre de 2019

Instituto Español de Oceanografía

ANEXO

Informe parcial de resultados sobre la evolución de los efectos de la DANA en el Mar Menor.

Se resumen los resultados obtenidos en una serie de muestreos realizados los días 25 y 27 de septiembre y el 2 y 16 de octubre para evaluar los efectos de los aportes de agua dulce al Mar Menor tras la DANA. Se han determinado los valores medios de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, clorofila *a*, irradiancia PAR, turbidez y material particulado (total, orgánico e inorgánico; no mostrados en este informe, se aportarán en breve) en las estaciones de seguimiento mensual del IEO en la laguna, que son las que se indican en la siguiente figura:

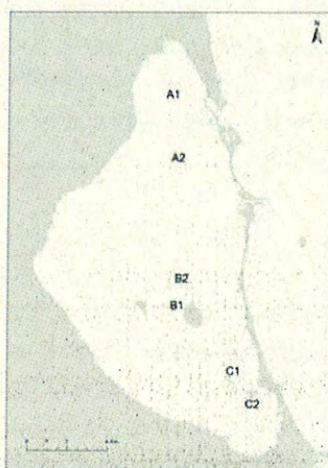


Figura 1. Localización de las estaciones de seguimiento del IEO en zona norte (A), zona centro (B) y zona sur (C).

Estratificación de la columna de agua y anoxia

En las siguientes figuras se muestran los valores medios de temperatura, salinidad, pH y oxígeno a lo largo del gradiente batimétrico.

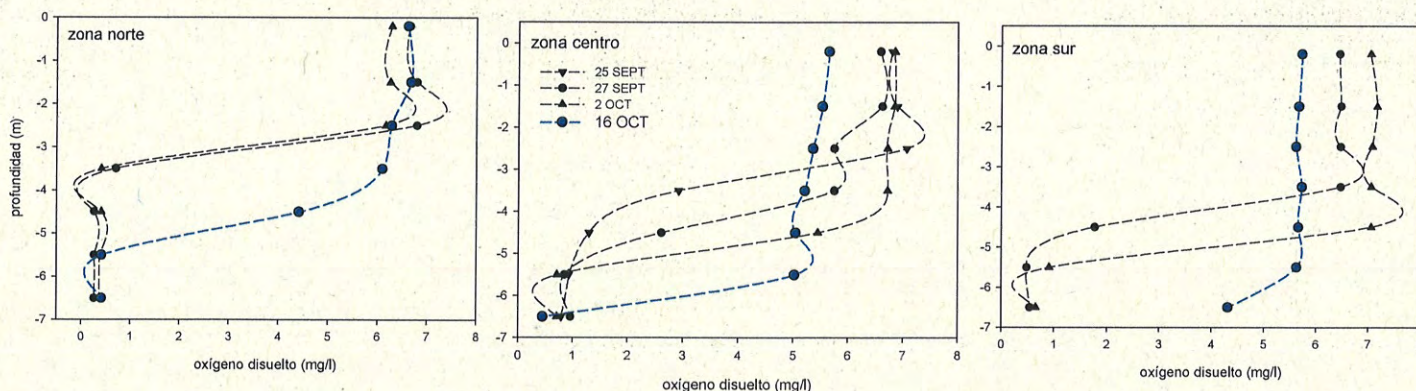


Figura 2. Perfil vertical de oxígeno disuelto el 25 de septiembre (triángulos invertidos), 27 de septiembre (círculos), 2 de octubre (triángulos) y 16 de octubre (círculos azules).

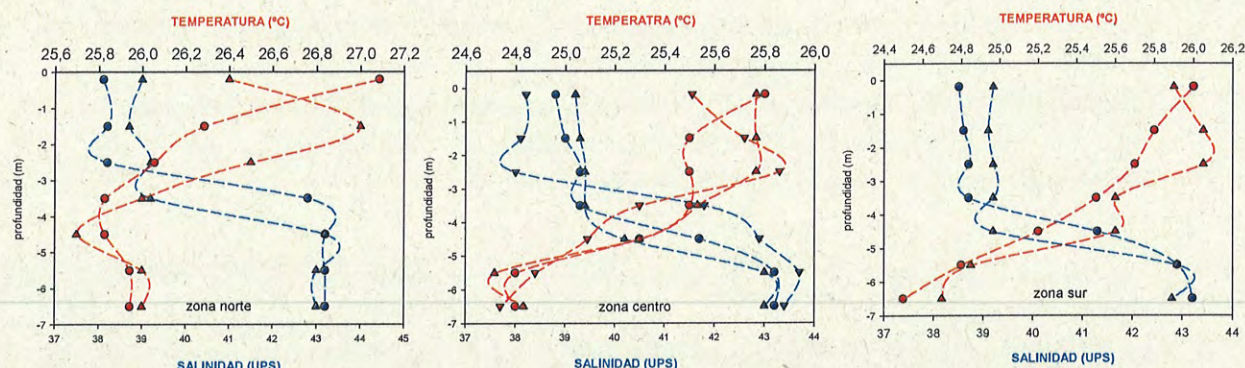


Figura 3. Perfil vertical de temperatura y salinidad el 25 de septiembre (triángulos invertidos), 27 de septiembre (círculos) y 2 de octubre (triángulos).

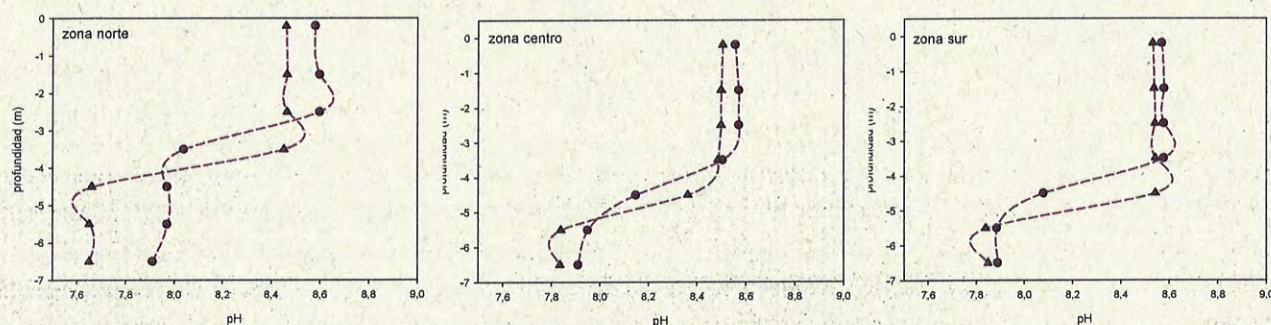


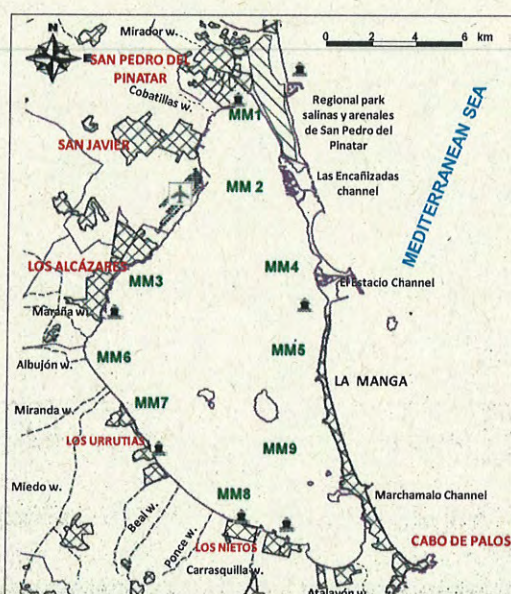
Figura 4. Perfil vertical de pH el 25 de septiembre (triángulos invertidos), 27 de septiembre (círculos) y 2 de octubre (triángulos).

Como ya se ha constatado con éstos y otros datos (Servicio de Pesca y Acuicultura CARM) se observa una clara estratificación vertical, diferenciándose en su inicio (25 de septiembre) una capa superficial (0-3 m) de menor salinidad (38-39 ups) y 1,2 grados más cálida y otra capa a continuación (3-6,5 m) claramente más salina, en torno a 43 ups. Obviamente la primera corresponde a la mezcla de agua continental con la superficial del Mar Menor y la segunda a la masa de agua con salinidad anterior a la riada que apenas se ha mezclado. Lo más significativo es que esta capa profunda es la **anoxia** especialmente severa, con valores medios a inferiores a 2 mg/l que es el umbral crítico a partir del cual se observan efectos subletales y letales en la mayoría de las especies bentónicas y demersales marinas. Se observa una reducción de 7 décimas de pH en el agua del fondo respecto a la superficial, que implica una mayor acidificación en el fondo.

Las condiciones atmosféricas del periodo que abarca este muestreo y la escasa dinámica de intercambio con el Mediterráneo han propiciado la estabilidad de esta estratificación de la columna de agua y, en consecuencia los efectos prolongados de la anoxia sobre el fondo de la laguna a partir de los 3 m de profundidad. No obstante, a medida que avanza el periodo de observación se diferencia una reducción del espesor de la capa de agua profunda anóxica a favor de la capa superficial, particularmente en las zonas centro y sur. El 16 de octubre se

confirma esta tendencia de disolución de la capa anóxica profunda y una recuperación de los niveles de oxígeno en la parte superior (Figura 2).

Un muestreo realizado por el equipo de Contaminación del IEO de Murcia los días 17 y 18 de octubre, en una red de estaciones más amplias del proyecto PLAS-MED (Figura 4), confirma la situación comentada anteriormente. Los datos aportados por este muestreo ponen en evidencia además los bajos potenciales redox de los sedimentos, indicando una severa anoxia de los mismos. Estos niveles de anoxia son significativamente más bajos que los obtenidos en un muestreo anterior, previo a la DANA (en torno a -200 mV).



Estacion	Oxígeno disuelto (mg/L)		Eh sedimento mV
	superficie	fondo	
MM1	6,7	6,7	-422
MM2	7,01	4,24	-419
MM3	4,75	4,28	-356
MM4	3,82	3,58	-417
MM5	3,56	3,67	-426
MM6	8,15	7,28	-131
MM7	6,38	6,42	-135
MM8	7,53	7,33	-303
MM9	6,19	5,72	-422

Figura 4. Distribución de las estaciones de muestreo del proyecto PLAS-MED. Tabla de valores medios de oxígeno disuelto en columna de agua y potencial redox del sedimento los días 17 y 18 de octubre de 2019. Fuente: Grupo de Contaminación y Efectos Biológicos IEO, CO de Murcia.

Clorofila a

En las Figuras 5 y 6 se muestra la serie temporal de esta variable desde 2016

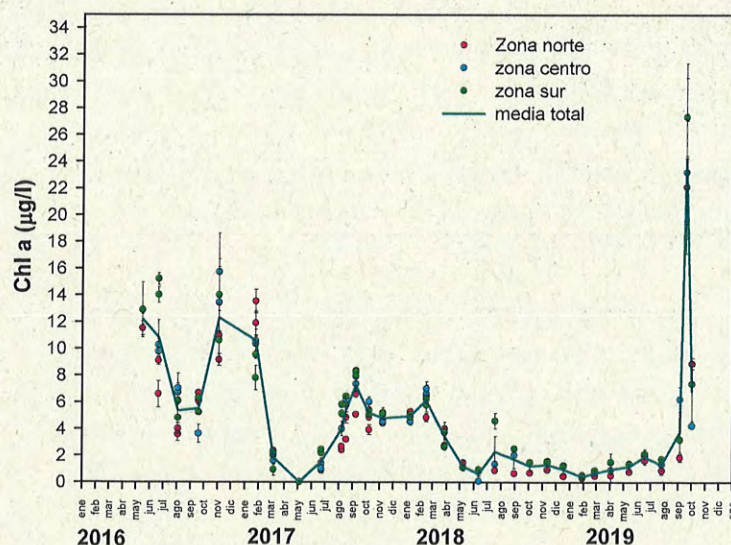


Figura 5. Evolución de la clorofila a en el Mar Menor desde 2016. Método espectrofotométrico.

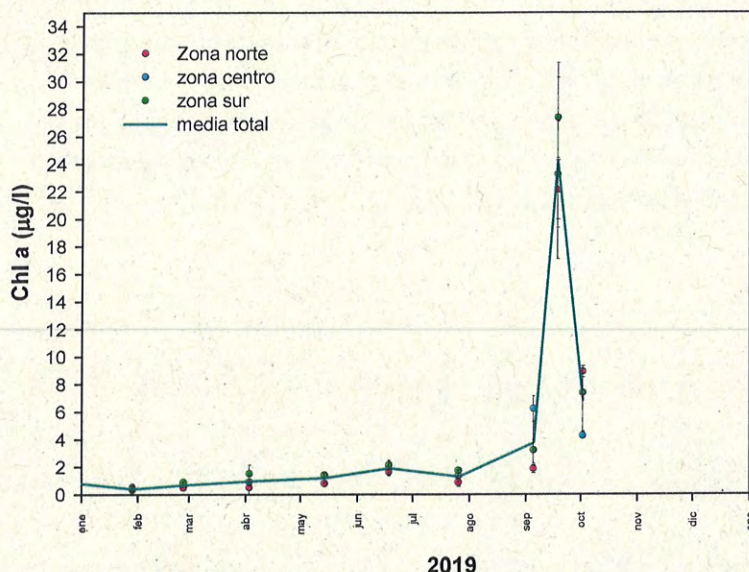


Figura 6. Detalle de la evolución de la clorofila a en el Mar Menor en 2019.

Los niveles alcanzados tras la DANA variaron en promedio entre 22 y 27 $\mu\text{g/l}$ de Chl a, visiblemente superiores a los valores medios alcanzados en otoño de 2016 (8-20 $\mu\text{g/l}$ de Chl a) (Fig. 6). De acuerdo con los datos del Servicio de Pesca estos valores cayeron considerablemente a los pocos días y, de acuerdo con nuestros datos, hasta el 2 de octubre se encontraban en valores medios entre 4 y 8 $\mu\text{g/l}$ de Chl a, correspondiendo los valores máximos a las zonas norte y sur (Fig. 7). Estos valores son muy parecidos a los que ya se registraban en el Mar Menor antes de la DANA (Fig. 7) como continuación de una tendencia progresiva y casi constante desde el mes de febrero. Los valores obtenidos en un muestreo del 16 de octubre sitúan estos valores entre 10 y 30 $\mu\text{g/l}$ de Chl a.

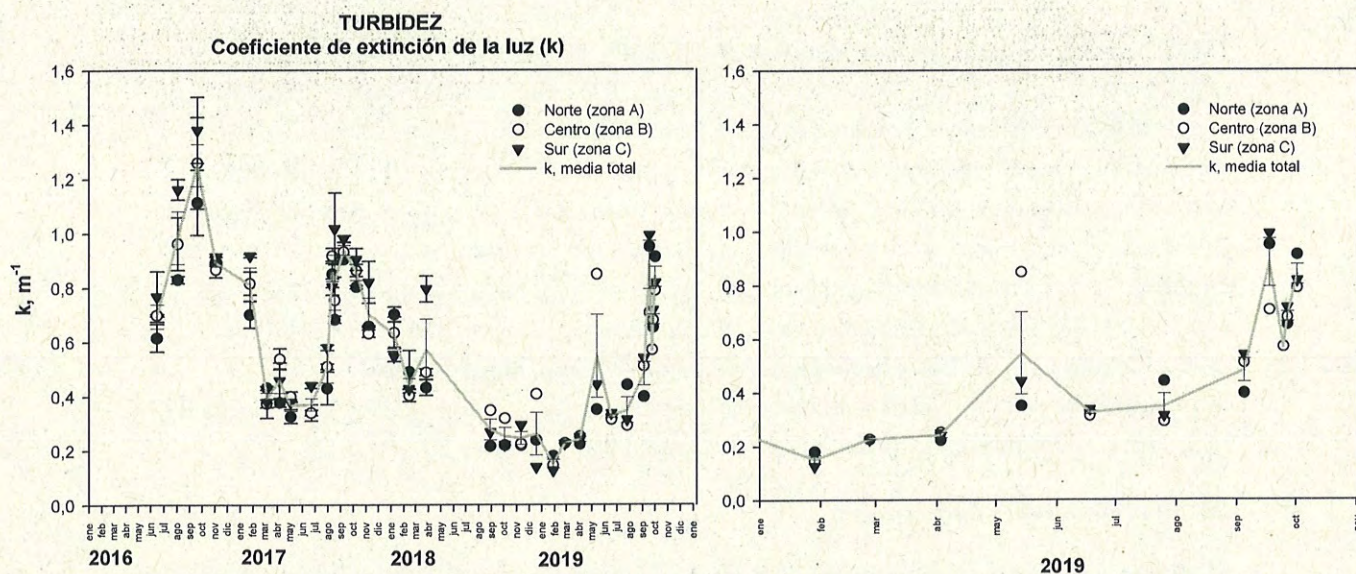


Figura 7. Evolución del coeficiente de extinción de la luz desde 2016 (izda.) y e 2019 (dcha.)

Irradiancia PAR y turbidez

En la Figura 7 se muestra la evolución de los valores medios del coeficiente de atenuación de la luz (k , m^{-1}), o turbidez, obtenido a partir de perfiles verticales de irradiancia PAR obtenidos mediante medición con sensor sumergible de luz LiCor LI192. En la Figura 8 se muestran los valores medios de la irradiancia PAR que llega al fondo (4 m) expresada en porcentaje respecto al total de luz que atraviesa la superficie del agua ($\%I_0$).

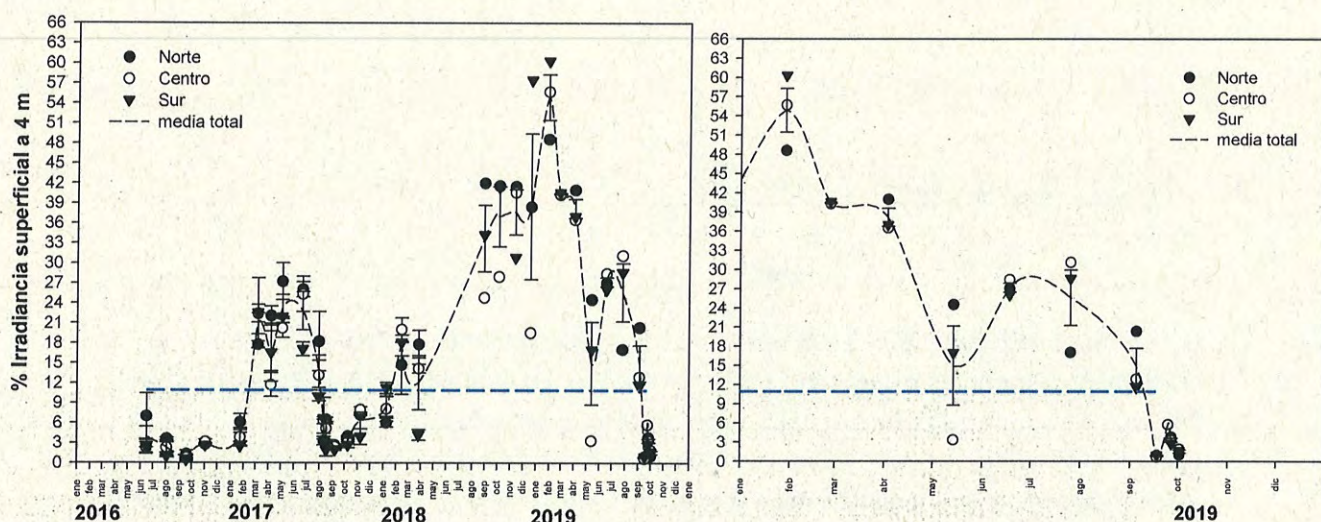


Figura 8. Evolución de la proporción de irradiancia PAR que llega al fondo respecto a la medida en superficie desde 2016 (izda.) y en 2019 (dcha.). La línea discontinua azul indica el $10\%I_0$, que es el nivel crítico para los macrófitos bentónicos.

Tras la DANA la turbidez del Mar Menor se elevó significativamente a valores medios comprendidos entre $0,7$ y $0,99 m^{-1}$, valores inferiores a los que se registraron en 2016 durante el episodio de eutrofización extrema (hasta $1,37 m^{-1}$). Aunque con cierta variación, estos valores se han mantenido hasta el 2 de octubre, siendo algo superiores a los registrados en el Mar Menor antes de la DANA. Al igual que lo observado para la clorofila, el periodo previo a la DANA esta variable mostraba una tendencia creciente casi constante desde febrero de 2019. En términos de irradiancia PAR esta tendencia es mucho más clara y se aproxima a valores críticos para la vegetación bentónica ya en el mes de mayo. Tras la DANA estos valores se precipitan a valores medios extremadamente bajos ($1-2\% I_0$), muy por debajo de los requerimientos de la actividad y supervivencia de los vegetales marinos, y muy similares a los registrados en los episodios de desarrollo fitoplanctónico de 2016 y 2017.

Observaciones sobre flora y fauna

Mediante inmersiones con escafandra autónoma realizadas a partir del 25 de septiembre en las estaciones de muestreo y otras zonas del Mar Menor, se constató la mortalidad masiva de la mayoría de especies y poblaciones de los fondos de la laguna superiores a 3-4



m, según la zona de la laguna. Si se observa la batimetría de la laguna se comprueba que esto representa un área y un volumen del orden del 80% de la laguna.

En la mayoría de las zonas *Caulerpa prolifera* estaba muerta o moribunda (las medidas de fotosíntesis por fluorescencia lo confirman) y las holoturias muertas y evisceradas. Se observaron todavía vivos y activos numerosos ejemplares de gasterópodos del género *Hexaplex*. En un principio, los bivalvos parecían debilitados, pero en las siguientes inmersiones todos habían muerto y se encontraban abiertos mostrando el cuerpo muerto pero todavía sin descomponer; algunos góbidos también estaban vivos en las primeras inmersiones, entre ellos *Pomatichistus*, pero en las últimas visitas ya no se observaba ninguno vivo, llegando a observar los cadáveres de los mismos; anémonas y poliquetos tubícolas aparentemente vivos en un principio, se encontraron todos muertos a los pocos días.

En las zonas más someras se han observado concentraciones masivas de quisquillas y peces (sobre todo góbidos y blénidos, pero también juveniles de *Symphodus*, *Sygnátidos* y otros), no solo en zonas adyacentes a la línea de costa, sino también en zonas alejadas en mitad de la laguna nadaban errática y lentamente en los primeros dos metros de agua, algo totalmente inusual y fuera de lugar.

Todas estas observaciones están recogidas en vídeos georeferenciados que pueden ser solicitados y consultados por quien lo requiera.

De acuerdo con la literatura especializada, tanto el aturdimiento como la desorientación son síntomas de estrés típicamente causados por la falta de oxígeno, que mueve a los organismos que pueden escapar a buscar zonas oxigenadas. Los que no escapan en un tiempo determinado acaban muriendo, sobre todo a concentraciones inferiores a 2 mg/l, y dependiendo de la especie. Por tanto, la anoxia severa descrita anteriormente se puede considerar una de las causas principales de los efectos letales y subletales descritos y observados por científicos y ciudadanos en numerosas partes de la laguna.

Evento de mortalidad masiva del 12 de octubre de 2019

En la madrugada del 12 de octubre, las aguas de la parte norte del Mar Menor amanecieron con un aspecto grisáceo y lechoso y un fuerte olor a podrido. Medidas realizadas durante los días 12 y 13 por el IEO confirmaron que estas aguas eran completamente anóxicas (valores inferiores a 1 mg/L) y con potenciales redox negativos (-200 a -400 mV). Estas características, y otros datos obtenidos en la zona en estos mismos días por otros organismos (Universidad Politécnica de Cartagena y Servicio de Pesca y Acuicultura) indicaban que se trataba de aguas fuertemente anóxicas y con elevadas concentraciones de sulfuros, es decir altamente tóxicas para los organismos marinos.

De hecho, las playas de la zona amanecieron con miles de animales muertos de todas las especies y de todos los tamaños, suceso que no tiene precedentes en el Mar Menor.

Todos los datos apuntaban a una ascensión de aguas de la capa anóxica profunda en la zona norte del Mar Menor, probablemente forzado por la incidencia de vientos de componente NE desde el día anterior. Por las características del agua y la gran extensión de la masa de agua anóxica y grisácea (diferenciable a simple vista) se descartó cualquier posibilidad de que fuera



un vertido local, aspecto confirmado por los datos proporcionados por los técnicos de las administraciones locales y regionales.

Conclusiones preliminares

- La estratificación de la columna de agua fue bastante estable durante unas cuatro semanas, propiciando el agotamiento casi total de oxígeno en las zonas más profundas del Mar Menor, a partir de la isobata de 3-4 m, lo que implica que el fenómeno afectó a una extensión (y volumen) muy importante, del orden del 80%.
- Este episodio de anoxia extremadamente severa y prolongada es la principal causa de la muerte casi total de las comunidades bentónicas a partir de los 3-4 m de profundidad y de migraciones masivas de algunas especies demersales, cuya expresión más extrema y severa se observó el 12 de octubre, a consecuencia de la ascensión de las aguas profundas hacia las zonas superficiales del extremo norte de la laguna.
- Se observa una clara tendencia de adelgazamiento de la capa profunda anóxica, quedando ahora relegada a una extensión de la zona norte. En la actualidad los valores de oxígeno en la laguna se han restablecido, aunque la biomasa fitoplanctónica está en pleno desarrollo como indican datos recientes (hasta el 16 de octubre).
- Los efectos del desarrollo fitoplanctónico y la turbidez sobre la disponibilidad de luz para las comunidades de macrófitos son críticos y de mantenerse podrían volver a hacer retroceder la superficie ocupada por los macrófitos.
- La DANA ha agravado notablemente el estado ecológico del Mar Menor, y es responsable del episodio de mortalidad masiva de organismos marinos, pero antes de este episodio ya se había registrado una tendencia muy clara hacia un nuevo episodio de eutrofización, que es la verdadera causa de deterioro del Mar Menor.



Referencias

Aguilar Escribano, J., Gimenez-Casaldueiro, F., Mas Hernández, J., & Ramos-Esplá, A. A. (2016). Evaluación del estado y composición de la Comunidad Fitoplanctónica de las aguas del Mar Menor, Murcia (mayo de 2016).

Álvarez-Rogel, J. (coordinador). 2019. *Informe final de la Asistencia Técnica Estudio biogeoquímico de los fondos del Mar Menor (Murcia) – Caracterización geoquímica de sedimentos*. Ref. Tec0004881. Grupos de Investigación Edafología Ambiental, Química y Tecnología Agrícola (ETSIA-Universidad Politécnica de Cartagena)-Seagrass Ecology Group-IEO (Centro Oceanográfico de Murcia)- Cartografía de suelos y paisaje, físico-química, degradación y recuperación de suelos y aguas (Universidad de Santiago de Compostela). TRAGSA-CARM-FEDER.

Belando-Torrente MD, García-Muñoz R, Ramos Segura A, Bernardeau-Esteller J, Giménez-Casero J, Marín-Guirao L, García-Moreno P, Franco-Navarro I, Fraile Nuez E, Mercado-Carmona J, Ruiz JM. 2019. *Collapse of macrophytic communities in a eutrophicated coastal lagoon*. XXth Simposio de Estudios del Bentos Marino. Braga (Portugal). Septiembre 2019.

Carreño, M.F. 2015. *Seguimiento de los Cambios de Usos y su Influencia en las Comunidades y Hábitats Naturales en la Cuenca del Mar Menor, 1988-2009, con el Uso de SIG y Teledetección*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

García-Pintado, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 2007. Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *The Science of the Total Environment* 373, 220–239.

IEO. 2019. *Informe parcial de resultados sobre la evolución de los efectos de la DANA en el Mar Menor*. Seagrass Ecology Group-IEO, Centro Oceanográfico de Murcia.

MAGRAMA. 2015. *Caracterización de las fuentes de contaminación de aguas subterráneas mediante técnicas multisotópicas*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.