

Fig. 1 — Aspecto de un sector de la playa de San Antonio de Calonge durante la "marea roja". — (Fotografía de Joaquín Pla Bartina obtenida desde una altura de 20 metros)



MAREA ROJA en la COSTA BRAVA

por JOSE M.^a PLA DALMAU

Martes de Pascua, 13 de abril de 1971. El Mediterráneo, ese mar azul que recorta nuestra incomparable costa, iba a obsequiarnos con un fenómeno biológico extraordinario: una hematotalasia, (*) o sea una «marea roja».

Por un azar intrascendente, en la tarde de dicho día llegué a la playa de San Antonio de Calonge y, al enfocar el magnífico Paseo marítimo (Paseo Mundet), me sorprendió ver parte de la superficie de las aguas de la bahía de Palamós como teñida de un intenso color rojo-anaranjado (color que recordaba al del minio). La masa de agua coloreada quedaba próxima a la playa y, en ciertos lugares, tenía una anchura de casi cincuenta metros; en el centro de la bahía, se divisaban largas franjas rojizas que el Garbí impelía hacia la playa.

El fenómeno había comenzado a apreciarse en la costa sur de Cataluña el día 9 de abril y creemos que en el momento que lo contemplamos en San Antonio de Calonge, alcanzaba, en la bahía de Palamós, su punto máximo. No pocas personas, desde aquel hermoso paseo, estaban

contemplando el vivo color rojizo de las aguas y surgían las más caprichosas interpretaciones; alguien había introducido sus manos en el agua rojiza y apreció se trataba de una materia oleosa o gelatinosa. La hipótesis de tratarse de una dispersión de la pintura llamada patente, que se emplea para pintar los cascos de las embarcaciones, se desechó rápidamente, a pesar de que no pocos recordaban la similitud de colorido de aquellas aguas con las que escurren del varadero de San Feliu de Guíxols cuando pintan los pantoques de las embarcaciones.

Rápidamente nos dimos cuenta de que se trataba de un fenómeno biológico de tipo hematotalásico (del tipo «purga de mar»).

Un hombre de cierta edad y que llevaba mucha experiencia en pesca, aludió al «llapó» que, en varias ocasiones, ha aparecido en nuestra costa produciendo, en las aguas marinas, manchas rojas y fenómenos de luminiscencia; el «llapó», no obstante, corresponde a los tunicados taliáceos denominados **Salpa democrática**, especie que ultra ofrecer gran interés por su peculiar luminiscencia, produce una curiosa generación alternante.

Recordamos haber leído cierta información del ilustre hombre de ciencia Dr. Ramón Marga-

(*) De **hemo**, sangre, y **talasia**, marino.

lef sobre la «purga o ardor de mar» (*) que describía fenómenos análogos ocasionados por la presencia de seres del Género **Goniaulax** (G. poliedra). Estos fenómenos se registran, en verano, en las rías bajas de Galicia. Nuestra primera impresión fue, pues, que era algo análogo a los fenómenos debidos a los Goniaulax. Llenamos una botellita de aquella agua roja y llegados a Gerona, la examinamos al microscopio; no tardamos en identificar que se trataba de una concentración de **Noctiluca miliaris**, pues en la gran mayoría de libros de Biología aparece el inconfundible grabado de este protozoo mastigóforo cistoflagelado.

Mientras, ya había aparecido en la prensa, con una rapidez elogiada pero no siempre con acertado enfoque, referencia concreta sobre el fenómeno. Y, seguidamente, leímos con suma satisfacción una nota del Laboratorio del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Gerona («Los Sitios» de 17-04-71), a base de identificación realizada por el competente analista de Palafrugell Dr. Federico Suñer, precisando que la «marea roja» era debida a una extraordinaria concentración de Noctilucas y que no ofrecía peligro de toxicidad.

La información de prensa que leímos y que, a nuestro modesto juicio, tuvo más «densidad», fue la publicada por Rafael Espinós en la edición de El Correo Catalán del día 18, basada en aclaraciones formuladas por los Dres. Juan J. López y Pedro Arté, investigadores del Instituto de Investigaciones Pesqueras, de Barcelona, los cuales, el día anterior, 17, habían emitido un «Informe preliminar sobre la marea roja del Mediterráneo occidental» que tiene el alto valor que le otorga la calidad científica de ambos investigadores, el primero perteneciente al Instituto de Investigaciones Pesqueras de Barcelona y autor de uno de los más apasionantes libros sobre migraciones de peces (**) y, el segundo, director del Acuario de Barcelona.

El aludido informe de los Dres. López y Arté, después de considerar que la «marea roja» registrada se debió a la entrada de gran cantidad (mucho mayor que la normal) de aguas atlánticas por el Estrecho de Gibraltar, dice:

«La actual «marea roja» se debe a una proliferación masiva de un organismo unicelular perteneciente al grupo de los dinoflagelados o peridíneas, denominado **Noctiluca miliaris** (N. scintillans), de forma esférica y de un milímetro de diámetro aproximadamente, con un surco profundo en el fondo del cual se abre la boca. Posee numerosas gotas de grasa que, al oxidarse, provocan una intensa fosforescencia. Se trata de un

ser depredador, que se alimenta de otros organismos del plancton capaces de utilizar los fosfatos y nitratos, lo cual presupone que, antes de su aparición, ha habido una producción masiva de estos, que constituyeron su alimento indispensable. Todo ello fue posible gracias a la rápida elevación de la temperatura debida a la fuerte insolación y a la mar en calma.

La denominación de «llapó» por parte de los pescadores es lógica, dado que se trata de seres de consistencia gelatinosa. No obstante, el «llapó» está constituido por un animal de constitución muy superior (Salpa democrática) cuya aparición viene condicionada también por la abundancia previa del plancton que constituye su alimento.

No se tienen noticias de que con anterioridad la Noctiluca haya producido mareas rojas en el Mediterráneo, lo cual hace comprensible la alarma cundida y el celo desplegado por las autoridades de marina para conocer la naturaleza del fenómeno y las causas que lo motivaron. La estrecha colaboración mantenida entre dichas autoridades y el Instituto de Investigaciones Pesqueras, ha hecho posible el estudio de una extensa zona del litoral habiendo encontrado temperaturas superiores a 17°, salinidades de más de 38 ‰ y, en algunas zonas, concentraciones de Oxígeno inferiores a las normales.

Las «mareas rojas», en general, son peligrosas por la toxicidad que los organismos que las producen confieren a los mariscos que las ingieren, pero, en este caso, dado que las Noctilucas ordinariamente carecen de ella y que por haber cambiado ya las condiciones favorables, el fenómeno desaparece rápidamente, consideramos que la normalidad se restablecerá en unos días. Barcelona, 17 de abril de 1971.»

Tratándose pues de un fenómeno tan excepcional en nuestra costa, pues bien se dice en el transcrito informe que «no se tienen noticias de que, con anterioridad, se haya producido en el Mediterráneo» y disponiendo del modesto material gráfico, creemos oportuno dejar constancia del mismo en esta REVISTA DE GERONA y en el número que precisamente corresponde al segundo semestre de 1971 (la «marea roja» se produjo en la segunda decena de este trimestre).

Además, tal vez resulte de interés para los lectores que completemos la información contestando a las siguientes cinco preguntas:

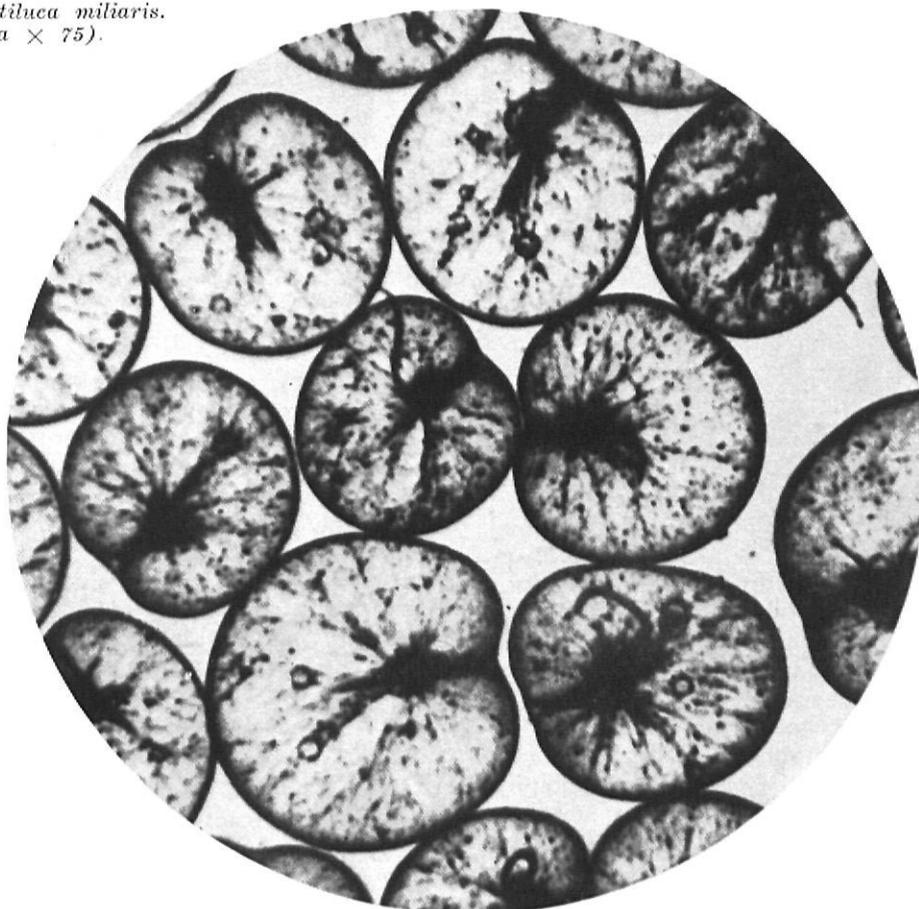
- 1.ª ¿Cómo son las Noctilucas?
- 2.ª ¿A qué se debe su coloración roja?
- 3.ª ¿Qué causas determinan el fenómeno?
- 4.ª ¿Por qué estos seres se conocen con el nombre de Noctilucas?, y
- 5.ª ¿Puede ofrecer toxicidad una marea roja?

* * *

(*) Rev. Investigación Pesquera, tomo V, julio 1956.

(**) Dr. Juan J. López - Peces emigrantes - Ediciones Garriga, Barcelona.

Fig. 2. — *Noctiluca miliaris*.
(Microfotografía $\times 75$).



1.º Ya hemos dicho que las Noctilucas (especie **miliaris** o **scintilans** (1), que es la única que existe en el Mediterráneo), eran seres protozoarios mastigóforos cistoflagelados.

Su forma es casi esférica; pueden compararse, en cuanto a su forma, a la de los melocotones. Su diámetro oscila entre 0,4 y 0,7 milímetros. Tienen el cuerpo blando, transparente, de consistencia gelatinosa; la transparencia es una característica muy extendida entre los seres pelágicos, condición que hace difícil distinguirlos en el agua donde flotan; el índice de refracción de su cuerpo es análogo al del agua, de manera que se hace difícil apreciar sus contornos a excepción de teñirlos o de examinarlos en el campo del microscopio con el condensador muy bajo. Tal transparencia es debida, en parte, a que en su protoplasma se almacena gran cantidad de agua para nivelar su densidad y esta acumulación de agua resulta idónea para pasar inadvertidas y eludir la voracidad de sus perseguidores. La densidad de estos seres es próxima a la del agua de mar (1,014) y su flotabilidad depende muchas veces de que posean gotitas de sustancias aceitosas de menor densidad que la del agua marina. La aludida viscosidad contribuye a evitar que los seres planctónicos caigan hacia el fondo del

medio hídrico; la viscosidad se acentúa al disminuir la temperatura ambiente, razón por la cual es mayor en los seres que habitan en mares fríos que en los que viven en aguas tropicales. También su flotabilidad o lo contrario, caída hacia el fondo, dependen de la salinidad de las aguas; en aguas de mayor salinidad la viscosidad suele aumentar.

El cuerpo de las Noctilucas se halla aparentemente dividido en dos partes merced a un surco (o dos); en el fondo del surco longitudinal existe una hendidura de la cual emergen dos flagelos, uno que se dirige a lo largo del surco transversal y otro en dirección al surco longitudinal, si éste existe. El primer flagelo es grueso y tan largo como el diámetro del protozoario; el otro es corto (cilo); en el fondo del surco transversal se halla la hendidura bucal.

La cutícula que envuelve su protoplasma es gruesa y parece compuesta de placas poligonales que químicamente ofrecen las reacciones de la celulosa; estas placas poseen relieves y poros; las formas invernales ofrecen una cutícula más resistente.

El protoplasma se halla concentrado en la proximidad del citostoma; del citostoma parten filamentos protoplasmáticos ramificados (anastomosados) que forman una complicada red en toda la masa protoplásmica, la cual se rellena de un líquido hialino. Entre las mallas de esta red

(1) **N. scintilans**, Macartney y Swezy. — **N. miliaris**, Lamarck y Suriray.

se observan vacuolas, granos de almidón, cromoplastos y otras inclusiones. Es de notar que cuando el protoplasma impregna mucha agua, los pigmentos prácticamente desaparecen.

El núcleo se halla inserto en la parte de acumulación protoplásmica.

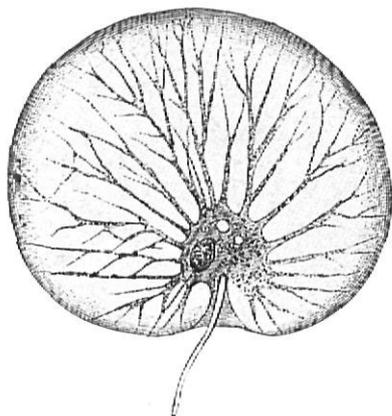


Fig. 3. — *Noctiluca miliaris*. Esquema de Cienkowski (Claus). ($\times 100$)

La alimentación de las Noctilucas es holofítica, análoga a la de las algas inferiores; se nutren también a base de peridíneas, diatomeas y pequeños crustáceos planctónicos; son seres bastante voraces y engloban los alimentos en vacuolas digestivas y, después de la digestión, expulsan los residuos por la misma boca.

En cuanto a su desplazamiento, como es norma general en los seres pelágicos, son susceptibles de trasladarse horizontal y verticalmente bajo la influencia de la temperatura, salinidad, corrientes de agua, tropismos, sensibilidad diferencial o estados de desarrollo; tan sólo variaciones ambientales, que pueden registrarse en el transcurso de un día, motivan desplazamientos en sentido vertical. Las Noctilucas emplean su flagelo tentacular (en forma de látigo), como de remo y, merced a él, pueden moverse en todas direcciones, si bien el movimiento resulta lento. En las formas invernales los flagelos son más cortos; el movimiento del flagelo coopera en facilitar la captura de alimentos. Se ha observado que las Noctilucas huyen de las aguas agitadas para buscar sosiego en las más quietas.

La reproducción de las Noctilucas se verifica por dos sistemas: por división longitudinal, según el plano meridiano que pasa por la depresión bucal, y por esporulación (gérmenes de retoño-zoosporos) que viene precedida por una conjugación.

Para la formación de esporas, las Noctilucas se convierten en una especie de esfera lisa; el núcleo entonces desaparece y el contenido sarcódico se fracciona en dos o más masas, deslindadas entre sí, pero de no fácil apreciación, y a las cuales corresponden otras tantas expansiones

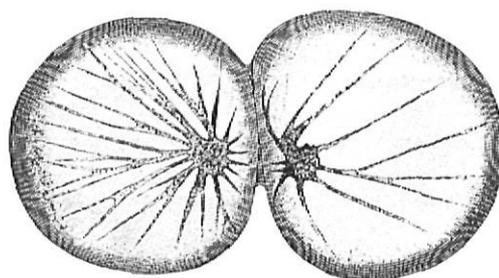


Fig. 4. — Conjugación de dos individuos de la especie *Noctiluca miliaris* (Claus) ($\times 75$)

aladas (1); sobre ellas — informa Claus — se forman numerosas esferas y elevaciones verrugosas; los esbozos de zoosporos, por estrangulación, se separan de la membrana en tanto que la Noctiluca toma entonces la forma de disco. Las esferas y verrugas se producen a expensas del contenido protoplasmático del disco, el cual va disminuyendo de tamaño a medida que avanza la formación de las esporas. Estas, una vez formadas, son algo ovoideas y aparecen coronadas con un casco que se prolonga en un apéndice largo dirigido hacia abajo; de la base del casco surge un flagelo locomotor bastante largo.

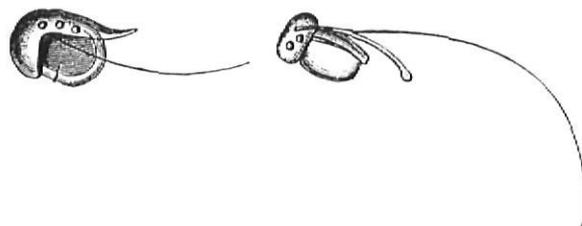


Fig 5 - 6. — Dos zoosporos de *Noctiluca miliaris*.

Las Noctilucas, como la gran mayoría de los animales pelágicos (Noctilucas y Dinoflagelados son elementos casi constantes en el plancton marino), se reproducen con extraordinaria profusión y rapidez. Ello es causa de que a veces grandes extensiones de agua se hallen cubiertas por individuos de una misma especie; el nombre de *miliaris* que precisa esta especie de Noctilucas mediterráneas alude a que pueden hallarse «a millares» (en las observaciones realizadas en Cambrils los investigadores hallaron alrededor de 40.000 Noctilucas por litro); los bancos de estos seres sufren, en cada estación, variaciones de gran amplitud. Su período de reproducción acostumbra a corresponder a una determinada época del año, y como la temperatura del agua — observa Joubin — varía según las Estaciones, este dato, como más adelante veremos, debe considerarse como uno de los factores importantes para la presencia masiva de un tipo de seres planctó-

(1) Journal of Phycology (vol. VI - núm. 2 - Junio, 1970) ha publicado un magnífico trabajo sobre esta «Sexual reproduction».

Fig. 7. — Una de las franjas hematotalásicas visibles en la bahía de Palamós en la tarde del día 13-04-71. — (Foto J. P. B.).



nicos en las aguas marinas. Muchos de ellos — prosigue informando el oceanógrafo galo — desaparecen durante el mal tiempo, sea porque emigran a climas más propicios o porque mueren cuando el agua se enfría, quedando entonces con vida, únicamente, los seres más resistentes, los cuales estarán encargados de la repoblación cuando las condiciones ecológicas sean favorables.

Como veremos, la presencia masiva de estos seres, así como de Salpas, ctenóforos, sifonóforos (medusas), etc., resulta poco frecuente pues sólo se produce cuando coinciden distintas y variadas condiciones, tanto físicas como biológicas, las cuales influyen notablemente en su desarrollo y multiplicación.

* * *

2.º Ya hemos dicho que, de corriente, las Noctilucas son transparentes. De día, cuando son muy numerosas, a veces comunican a las aguas un aspecto blanco-lechoso. Cabe la posibilidad de que, con esteroides y ácidos grasos se produzcan ésteres de lípidos simples que resultan sustancias de color blanco, insolubles en el agua.

Pero, en otras ocasiones, como en la **Red tide** que comentamos, las Noctilucas se colorean de un fuerte color rojo-minio; ello es debido a que entonces poseen abundancia de pigmentos de naturaleza carotenoides (amarillos, anaranjados o rojos). Estos pigmentos abundan en el reino vegetal; el licopeno, que determina el color rojo subido de los tomates, es un isómero de la carotina. En el reino animal también los hallamos: por ejemplo, integran el pigmento amarillo que caracteriza el cuerpo lúteo de los ovarios.

Los carotenoides son insolubles en el agua, pero resultan liposolubles; como consecuencia de su insolubilidad en el agua, no se hallan disueltos en el protoplasma, sino que, por lo general, están incluidos en materias lipoides.

Desde el punto de vista químico, los carotenoides son tetraterpenos de 40 átomos de Car-

bono, dispuestos éstos en 8 radicales isoprénicos. Tales radicales se hallan enlazados entre sí formando una estructura característica en la que los 22 átomos de Carbono de la porción central de la molécula están dispuestos según un esquema común a todos los carotenoides; la diferencia entre unos y otros depende de la disposición de los 9 átomos de Carbono situados a cada uno de los lados de la porción central.

Los poliprenos pueden formarse por síntesis a partir del isopropeno (metil-iso-butadieno). Santos Ruiz precisa que los hidrocarburos de este tipo tienden a condensarse consigo mismos para formar moléculas más estables. Ruzicka fue quien penetró en la génesis de estos derivados y determinó la llamada «regla isopropénica» referente a «la filiación posible de todas las arquitecturas carbonadas de estos compuestos por condensación de restos de isopropeno»; esta hipótesis ha permitido que se avanzase en este género de investigaciones, aspecto interesantísimo, pues surgen moléculas pro-vitamínicas (Carotenos α , β y γ) y otras de excepcional interés en fisiología, como es la colesterina. Del β caroteno, por desdoblamiento, se obtiene la Vitamina A.

Los isoprenos, a su vez, pueden derivarse de glúcidos (Aschan), del metabolismo lipídico — un término intermedio sería la reducción del ácido isovaleriánico, constituyente inmediato de animales y plantas (Santos Ruiz) —, de prótidos (del aminoácido leucina por desaminación reductora y descarboxilación), e incluso de otras sustancias, como de terpenoides (ácido abietínico, etc.).

Los fenómenos de oxidación alteran profundamente las moléculas de carotenoides; incluso la carotina se considera auto-oxidable. Y los cambios que se registran en estos procesos repercuten en las coloraciones; por ejemplo, la fucoxantina, el pigmento típico de las algas feofíceas, es un carotenoide con tres átomos de Oxígeno (epóxido); la β carotina, con ácidos fuertes, produce intenso color azul. No es extra-

ño, pues, que las Noctilucas tengan muy efímera su esporádica coloración roja intensa; si colocamos agua hematotalásica (con Noctilucas) en una botella, queda sedimentado un poso blanquecino y también un poso parduzco.

Como es lógico, la intensidad de coloración de las aguas de marea roja resulta más intensa como mayor sea la proporción de gérmenes existentes.

En consecuencia, podemos explicarnos la naturaleza química de esas excepcionales coloraciones, pero ¿cuál es la causa o motivo que provoca tales cambios de coloración? Debe tratarse de acciones bioquímicas derivadas de las relaciones animal-medio, o sea que corresponden a estadios especiales en la fisiología del ser determinados por las condiciones ecológicas y el metabolismo del protozoario. Parece que en diversos seres — y entre ellos las Noctilucas — ante unos estímulos (entre los cuales tal vez no falte el luminoso), las corrientes protoplasmáticas se activan y los gránulos cromáticos, arrastrados por ellas, dan al ser esas coloraciones especiales e intensas.

* * *

3.ª ¿Qué causas pueden determinar el fenómeno?

Péres y Devèze fijan dos tipos de causas que consideran fundamentales: a) La presencia de seres que, hallándose en el plancton a modo de siembra inicial y, a través de una rigurosa «selección», producen una proliferación masiva; y, b) Que converjan las condiciones ambientales (elementos nutricios y factores físicos) en forma idónea. No se considera, pues, que se trate de una sola causa, sino que se supone es necesaria la convergencia o conjunción de diversos factores.

En cuanto a la presencia de seres determinantes de mareas rojas, es interesante constatar que en las aguas se experimentan ciclos en los cuales el aumento de aquellos coincide con una disminución de diatomeas, y a la inversa. No es extraño que ello ocurra pues las diatomeas son manjar predilecto de los seres causantes de estas mareas. La selección y el consiguiente predominio de una especie en el seno de las comunidades planctónicas es un hecho biológico que obedece a una especie de ley (de factores limitantes), la cual precisa que la abundancia de un tipo de microorganismos es inversamente proporcional al número de especies existentes, aspecto que no puede dejar de considerarse al hacer referencia a una masiva concentración de Noctilucas; refieren Péres y Devèze que la proporción de Noctilucas en una marea roja llega a alcanzar el 95 % de los polulantes en el agua, quedando reducida a un 5 % la presencia de crustáceos copépodos, diatomeas, dinoflagelados, etc.

La selección y preponderancia de una especie con detrimento de la presencia de otras puede provenir de varias causas; por ejemplo, de que las sustancias eliminadas por los organismos dominantes actúen como factores inhibidores (causas antagónicas) del desarrollo de las otras especies; es posible que, entre estas, se observe incremento de ácido sulfhídrico, el cual, indudablemente, puede enrarecer el medio. También puede considerarse como corolario de que la aglomeración de los seres causantes del fenómeno — Noctilucas en este caso — acapare y acabe por minimizar el contenido de Oxígeno del medio hídrico, y ello ahuyente al necton habitual. Los Dres. López y Arté hallaron en las aguas superficiales de Palamós, al cesar la «marea», que el contenido de Oxígeno era de 34 % cuando, a 5 metros de profundidad, era de 85 %.

En lo concerniente a las condiciones ambientales, es posible que existan algunos factores que determinen condiciones óptimas para la producción del fenómeno; estos factores podrían influir en que se produjera en el medio marino un enriquecimiento local y momentáneo de elementos nutricios utilizables y, entre ellos, cabe considerar la subida vertical de aguas profundas (movimientos ascensionales) y drenajes terrestres merced a las lluvias.

Los movimientos ascensionales aludidos debidos a la intervención de factores de orden meteorológico u oceanográfico, favorecen la riqueza en diatomeas y en sales nutricias (nitratos y fosfatos) procedentes de los fondos marinos. Se ha comprobado, por ejemplo, en el Mar Indico, que, cuando cesan los monzones y se registran en su seno movimientos ascensionales de las aguas, aparecen «mareas rojas». Pero tal vez sea aún un factor más influyente, para favorecer el fenómeno, que el mar se halle en extraordinaria calma. Es interesante comentar que, entre los factores meteorológicos, puede considerarse a los vientos dominantes que soplan en dirección mar-tierra empujando las aguas hacia la costa. Sobre las corrientes superficiales que tales vientos provocan se establecen deflexiones que motivan movimientos en sentido abajo-arriba, en dirección opuesta a la dirección del viento, y vice-versa, en las zonas próximas a la costa. Resultante de estos movimientos es que los seres se acumulen y sean retenidos siguiendo líneas paralelas a las orillas, donde las aguas esbozan su movimiento de descenso (teoría de los convertimientos de convexión).

Para determinadas especies causantes de «marea roja», parece ser que la iluminación solar tiene cierta influencia en las emigraciones verticales; cuando la «marea» es provocada por *Gymnodinium sanguineum*, la concentración se agudiza y resulta más coloreada al finalizar la tarde cuando se reduce la luminosidad. Hasle experimentó, por el contrario, emigraciones verticales diurnas de este tipo en *Gonyaulax polyedra* y *Prorocentrum micans*, con tendencia a

aparecer en la superficie durante el día y buscar capas más profundas durante la noche. Cada especie reacciona pues, a su manera, y en lo referente a las Noctilucas (como a las *Gymnodinium brevis*) no parece que tal causa fototrópica influya en manera alguna, pues se mantienen en la superficie tanto de día como de noche.

En resumen, los organismos causantes de «mareas rojas», originariamente dispersos en la masa de agua marina, son concentrados en la superficie y allí, multiplicados vertiginosamente, se mantienen en bandas paralelas separadas por franjas de agua no poblada, y todo ello acontece merced a ese juego de circulación de agua bajo la influencia del viento.

Parece ser que puede considerarse cierto que la concentración de sales, merced a la incorporación al mar de las aguas procedentes de lluvia, sea algo ambiental de carácter positivo. Tal vez el mayor valor que aporten las aguas de lluvia no sean sales, sino sustancias orgánicas complejas que pueden constituir eficaces factores de crecimiento y de evolución de los seres causantes.

No siempre la lluvia determina aumento de salinidad; la directa agua de lluvia que pueda recibir el mar en una zona local, producirá una masa de agua mezclada cuya salinidad será baja; esta masa, en sus zonas periféricas o limítrofes, poseerá una reducida velocidad de mezcla con la gran masa hídrico-marina. Los autores citados precisan que, en numerosos casos, se ha podido apreciar significativas diferencias de salinidad entre las zonas de «agua roja» y las que la rodean; en ocasiones, la zona de «marea roja» tiene menor salinidad que la habitual en plena mar.

Según la teoría del «medio cerrado» de Sloboodkin, lo que favorece la concentración de seres causantes de «marea roja» es la existencia de masas de agua que difieren, por sus características físico-químicas, del agua de mar normal, y que los factores de difusión de estas aguas quedan reducidísimos. Las condiciones que favorecen la proliferación masiva de estos organismos parecen ser idénticas a aquellas que disminuyen el valor del coeficiente de difusión; se considera que la difusión queda muy aminorada en las zonas de contacto de aguas que poseen distintas densidades y que es proporcional a la rapidez de las corrientes.

Como ya se ha indicado, otro factor ambiental importante es la temperatura, a pesar de que las Noctilucas resisten oscilaciones de $+ 5^{\circ}\text{C}$ a $+ 30^{\circ}\text{C}$, y aún temperaturas superiores; las mareas rojas suelen aparecer en el transcurso de los meses de verano y, a menudo (como ocurrió en abril en nuestra costa), después de un período de calor inhabitual. La temperatura debe considerarse, pues, como un factor muy importante, aunque no suficiente o exclusivo.

Ryther, estudiando todas estas causas, da importancia a procesos dinámicos que reúnen localmente a numerosos individuos de una misma

especie, y considera que, entre los factores determinantes de dicha concentración, además de los de índole meteorológico, oceanográfico y de la concentración en superficie, se halla la flotabilidad de los seres en cuestión; todo ello determina su concentración en áreas localizadas y en capas superficiales de poco grosor (generalmente no superiores a 50 cm.). A los 7 metros de profundidad, sólo se hallan Noctilucas en vía de descomposición y, a 25 metros, se aprecia la existencia de un cieno negro de Noctilucas y foraminíferos muertos. Así como los investigadores del I. de I. Pesqueras, en plena «marea», hallaron más de 40.000 Noctilucas por litro, en las aguas superficiales de Cambrils y a un metro de profundidad, ya sólo había 2.000.

La hipótesis de flotación masiva ha sido preconizada por Harvey y Ketchum tomando como base el comportamiento de las masas de Noctilucas; la fundamentan en la débil densidad de estos protozoarios, lo cual les permite flotar tranquilamente en la superficie de las aguas. Parece que, además del contenido líquido (que puede ser rico en lípidos poco densos), la acumulación de iones amónicos en el seno de su masa celular, en un cierto estadio vital, contribuye a reducir el peso específico. Pratje ha indicado que, en período senil, cuando las Noctilucas pierden el poder de reproducción, también pierden densidad y, por lo tanto, aumentan su flotabilidad. Es también posible que tal densidad se mantenga debido a una osmo-regulación protoplasmática.

Concretando con referencia al fenómeno en el cual nos ocupamos, podemos decir que en la «marea» de Noctilucas registrada en abril de 1971 en la costa catalana, se dieron las siguientes circunstancias favorables al fenómeno: lluvias anteriores; una calma extraordinaria en las aguas marinas (cuentan los oficiales que realizan diariamente la travesía Barcelona-Mallorca que difícilmente puede hallarse un mar cuya superficie se asemeje tanto a la de las aguas de un plácido lago, como en estos días se mostró el mar latino); se experimentó fuerte insolación; la temperatura de las aguas (según datos que nos ha facilitado el Dr. López) era de $17,2^{\circ}\text{C}$. en la superficie en el momento cumbre de la «marea roja» —observación realizada en Cambrils— (a 5 metros de profundidad la temperatura de las aguas era de $15,6^{\circ}\text{C}$); en Palamós, al desvanecerse la «marea», la temperatura de las aguas superficiales era de $15,8^{\circ}\text{C}$ y, a 5 metros, de $14,9^{\circ}\text{C}$; la salinidad fue de 38,11 y 38,2 en Cambrils y, en Palamós, al cesar el fenómeno, de 37,19 y 38,21, respectivamente, en superficie y a 5 metros de profundidad; cuando la marea se halló en su fase cumbre, soplabla Garbí débil, pero suficiente para ir acercando las franjas rojas hacia la playa (al intensificarse el viento y descender la temperatura, las aguas recobraron su habitual color azul).

* * *

4.^a El protozoo que provoca la «marea roja» a que venimos refiriéndonos recibe el nombre de Noctiluca debido a que otra de sus peculiares manifestaciones es la de producir «luz en la noche». En efecto, estos seres, en noches de mar tranquila, llana, y en época cálida, emanan un resplandor cerúleo con matices verdosos; cada protozoo (cada Noctiluca) contiene en su protoplasma una serie de puntos luminosos centelleantes que conjuntamente, y cuando se halla en el mar gran concentración de estos seres, hacen que la luminiscencia sea fácilmente perceptible.

Tal luminiscencia no es de tipo fosforescente (no se halla Fósforo en el protoplasma de las Noctilucas); se trata de luz fría, sin que se acompañe de desprendimiento de calor, como la que presentan diversos insectos, lombrices, ciertos hongos y algunos seres pelágicos (Tomopteris, Gonyaulax, etc.). Es pues un fenómeno distinto a la acción de las bacterias fosforescentes (enfermedad luminosa) derivada de la simbiosis que experimentan algunos cefalópodos y seres abisales.

Se ha comprobado que los cromatóforos, según el grado de excitación que sufren, emiten luz de distinta longitud de onda y, por lo tanto, de distinta coloración. El espectro de estas radiaciones es corto pero continuo.

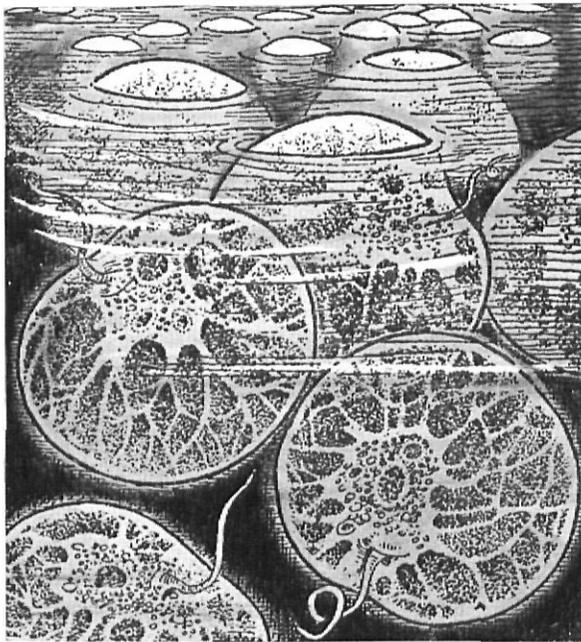


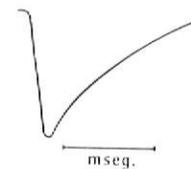
Fig 8. — Las Noctilucas, de noche, en época cálida y en las zonas donde se concentran, producen una luminiscencia cerúlea. La luminiscencia que emana de los seres que quedan sumergidos y de la parte inferior de las Noctilucas que se hallan en la superficie de las aguas, se hace visible a través del medio líquido. La parte de estos seres que emerge de las aguas forma como microscópicos farolillos centelleantes que aumentan la intensidad del efecto luminiscente. — (Adaptación de un dibujo de R. H. Francé)

Radziszewski consideró el fenómeno como resultado de una oxidación molecular; se apreciaba que sólo se producía luminiscencia en contacto con suficiente Oxígeno, extinguiéndose la luminosidad cuando el Oxígeno se agota y reapareciendo al volver a quedar en contacto de nuevo Oxígeno. Pero pronto se vio que la realidad era más compleja: a partir de Dubois (que estudió la fosforescencia de los Pholas) se admite que la causa radica en un fenómeno enzimático de quimio-luminiscencia, el cual se desarrolla a expensas de una materia fermentescible y enzimas. La aludida materia fermentescible (de naturaleza no proteínica) es la **luciferina** que se halla diseminada en el protoplasma y se disuelve en el agua que rodea los seres en cuestión, y el enzima es la oxidasa denominada **luciferasa**, que segregan glándulas o elementos fotógenos (en las Noctilucas son los puntos que escintilan). Cuando se ha segregado luciferasa y ésta queda en contacto con el medio (solución de luciferina y contando con suficiente Oxígeno), se produce la luminiscencia.

Dubois, estudiando órganos y organismos fotógenos, obtuvo una solución alcohólica de materia segregada por los seres que producen luminiscencia; esta solución no emite luz alguna; otra solución en agua cloroformada, también resultó inactiva en cuanto a emisión de luz; pero mezclando una parte de la primera solución con tres partes de la segunda se produce contacto entre substancia fermentescible y enzima, con lo cual aparece luminiscencia.

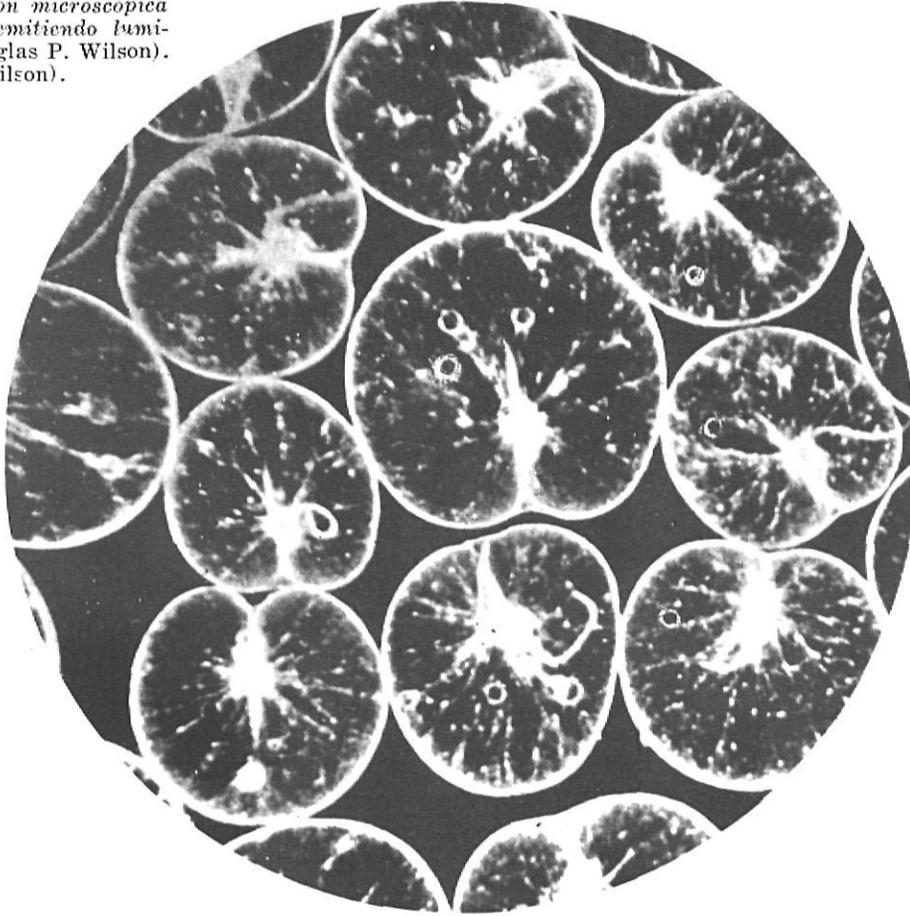
Si llenamos una botella de agua de «marea roja» (con Noctilucas), difícilmente se aprecia luminiscencia; ahora bien, si agitamos el contenido de la botella, aparece extraordinaria luminosidad, pues ambas substancias se ponen en contacto y tal vez el fenómeno quede favorecido por la intervención de Oxígeno que llevaba incorporada el agua.

Hemos indicado que la luz que emiten las noctilucas es centelleante; la emisión luminosa (quantum) que parte de un punto fotógeno corresponde (según Kay), a la siguiente gráfica:



Estas referencias explican el porque cuando el mar está en condiciones idóneas, con su riqueza de Noctilucas, la luminiscencia que se produce resulta débil; pero si las aguas experimentan alguna agitación, como cuando se introducen los remos en el agua o al ser esta removida por los saltos de los delfines, la luminiscencia se poten-

Fig. 9. — *Visión microscópica de Noctiluca emitiendo luminiscencia.*—(Douglas P. Wilson).
P. Wilson).



cia extraordinariamente; el espectáculo resulta maravilloso y es frecuente en los mares templados y en época estival; las «explosiones» de luminiscencia son tan bellas que han sido calificadas de «fuegos de artificio encendidos por las sirenas» y se ha comparado un mar con Noctilucas en momento de luminiscencia a una masa líquida de ácido fosfórico, con salpicaduras comparables a partículas de plata fundida. «Nada hay tan bello — nos dice un autor — como ver un tropel de delfines navegando por la noche, a flor de agua, hendiendo, desparramando y pulverizando agua luminosa, fosforescentes ellos mismos por el mágico baño... Otro autor relata el efecto que produce ver navegar, también por la noche y en un mar repleto de Noctilucas, un barco de ruedas de paletas; cada rueda produce como una cascada de luz, y la proa, al cortar el agua, trenza un rizo de bellísima luminiscencia.

Pero tal vez la descripción más poetizada sea la que escribió Víctor Hugo, en su obra «Los trabajadores del mar»: «...El mar ofrecía un extraordinario espectáculo. Parecía como si un incendio corriese por el agua, hasta el más lejano punto al que llegaba la vista, toda la superficie del mar resplandecía... Una mitad del remo es de ébano; la otra, sumergida en el agua, es de plata. Y al caer, desde el remo a las olas, las gotas de agua cubren de estrellas el mar... Si se sumerge la mano en el agua, se retira enguantada en llamas...».

* * *

5.ª Consideremos finalmente las consecuencias sanitarias que pudo haber tenido, para nosotros, la «marea roja» de abril pasado.

La hematotalasia es un fenómeno que sorprende muchísimo más que la luminiscencia, tal vez porque en muchos otros procesos biológicos se observa emisión de luminosidad. No es extraño que los egipcios creyeran que, «cuando el mar se convierte en sangre», se avecinan adversidades. Además, como para confirmar los temores, después del fenómeno suele notarse acentuada fetidez por descomposición y putrefacción de materia orgánica, a consecuencia de la cual aparecen muchísimas moscas, siempre molestas y peligrosas. El explorador español Alvaro Núñez Cabeza de Vaca, que en 1530 observó una «marea roja» en aguas de Florida, explica en su «Libro de los naufragos» que, por registrarse periódicamente tal fenómeno, los indios lo tomaban como referencia cronológica, y por producirse después la muerte de muchos peces, los referidos aborígenes referían tal fecha como «el tiempo en que muere el pescado»; y como a la coloración de las aguas y muerte de peces se sucedía la luminiscencia nocturna, no es extraño que consideraran todo ello como algo sobrenatural.

Hace más de un siglo que diversos Institutos de Biología marina vienen estudiando las «mareas rojas» en los mares antillanos, de la India y del Japón. Se ha observado que la marea ahuyenta a los peces, los cuales tardan dos o tres sema-

nas en regresar a las zonas donde se registró la marea después que ésta desapareciera por completo. Este éxodo se aprecia perfectamente en peces de fácil y masivo desplazamiento, como caballas, sardinas y anchoas. Por lo corriente, cuando se produce una «marea roja», los peces se alejan de la costa, pero si aprecian dificultades o peligro en su retirada, entonces se dirigen a capas profundas.

Es comprensible que, después del referido éxodo de los peces, cuando se han normalizado las condiciones de la masa de agua que experimentó la marea, tal masa hídrica se enriquezca de plancton; a este enriquecimiento se debe que después acudan a esta zona muchos peces en busca de fácil y mejor alimentación. En este fenómeno debían fundar sus esperanzas los pescadores de Puerto de la Selva que consideran una «marea roja» como augurio de buenas capturas pesqueras.

La presencia de «marea roja» puede afectar al plancton por dos factores: por la falta de Oxígeno y por la viscosidad.

La falta de Oxígeno crea un ambiente anaerobio que determina la asfixia de los peces, y la viscosidad, esa viscosidad que puede llegar a ser tan acentuada que incluso dificulte la marcha de embarcaciones, también puede provocar asfixia pues las branquias quedan tapizadas de materia gelatinosa y no pueden efectuar su función biológica peculiar; la viscosidad también puede dificultar la marcha de las funciones digestivas de los peces y moluscos.

Creemos fueron Bhimachar y sus colaboradores los primeros en experimentar que los peces no podían vivir en filtrado de «mareas rojas»; acababan por morir. Nishikawa, Hirasaca y col., por el contrario, creyeron que las aguas rojas carecían de toxicidad, e incluso apreciaron que las ostras perlíferas aprovechaban, como alimento, los gérmenes causantes de «marea roja». Debe pensarse que las Red tides pueden provenir de la masividad de diversas especies de seres y que unos pueden resultar tóxicos y otros, como las Noctilucas, tal como indica el Informe de los Dres. López y Arté, no lo son; ello no quiere decir que las mareas por Noctilucas no pueden producir la muerte de peces por las citadas causas de falta de Oxígeno y de viscosidad.

No obstante, parece ser que cuando las «mareas rojas» no tóxicas pierden el color rojo característico, la masa líquida presenta a veces algunas manchas de tonalidad blanco-lechosa; se recordará que antes nos atrevimos a suponer que la tonalidad blanco-lechosa podía ser debida a la formación de ésteres de lípidos; teóricamente no es imposible que se produzcan sustancias de tipo saponina que, como ciertos jabones, digitoxinas y otras moléculas, pueden resultar letales (fuertemente hemolíticas, pues si bien las esterinas pueden impedir tal acción hemolítica,

no deja de efectuarse hemolisis cuando las esterinas se hallan combinadas formando, por ejemplo, ésteres con los ácidos).

Es posible, además, que si por causas no tóxicas se registra la muerte de peces, la putrefacción que experimentarán sus cuerpos pueda contaminar las aguas con derivados proteínicos tóxicos de tipo cadaverina, putrescina, etc.

Investigaciones posteriores a las de Bhimachar parecen, en muchos casos, dar la razón a este científico, y de manera especial cuando se trata de fenómenos debidos a los *Gonyaulax*.

En una «marea roja» registrada en 1917 y que determinó gran mortalidad de peces, cuando el viento mar-tierra incidía sobre la costa, los habitantes de las zonas ribereñas sufrieron escorzo de garganta y mucosa nasal, e incluso irritación bronquial bastante intensa; se comprobó que el agua del mar, al chocar contra la costa, producía unos microglóbulos de agua que equivalían a un aerosol irritante.

Woodcock, en experiencias sobre «mareas rojas» debido a *Gymnodinium*, filtró agua y observó que el filtrado continuaba produciendo efectos irritantes. No sabemos se haya descubierto la naturaleza química de esta ponzoña, pero sí se ha observado que resiste temperaturas de hasta unos 90° C y que, in vitro, conserva sus propiedades durante varias semanas. Esta ponzoña, no obstante, no resulta letal; es benigna.

Huller ha investigado en moluscos lamelibranquios (tipo mejillón, ostra, vieira, etc.) los efectos de vivir en aguas con cantidad de *Gonyaulax castarella*; dada la gran cantidad de agua que circula por el cuerpo de los lamelibranquios merced a la corriente inhalante, es fácil comprender cómo acumula toxina; esta toxina, en ratas, resulta diez veces más enérgica que la estrignina.

Con referencia a posibles consecuencias de la «marea roja» registrada en nuestra costa el pasado abril, parece ser que se produjo la muerte de algún crustáceo o molusco. (En un pequeño vivero del Puerto de Palamós, que contenía 9 sepias, se hallaron 7 de muertas; también en Palamós murieron algunos crustáceos; en Blanes, igualmente, aparecieron sepias muertas). Pero no ofreció para la bromatología humana inconveniente alguno. A pesar de ello, es recomendable que, ante cualquier «marea roja», se tomen ciertas precauciones (especialmente no comer marisco) y esperar a que las autoridades pesqueras y sanitarias precisen respecto la causa del fenómeno e informen sobre si ofrece o no peligro de toxicidad. En nuestra Provincia, los servicios del Instituto de Investigaciones Pesqueras (Dres. López y Arté) y el Laboratorio del Colegio de Farmacéuticos (por las investigaciones del Dr. F. Suñer), cumplieron magníficamente su misión. Nos complace hacerlo patente y felicitarles.