

25 años

La Jornada

207
agosto-
septiembre
2016

ecológica

Directora general:
Carmen Lira Saade
Director fundador:
Carlos Payán Vélver
Director: *Iván Restrepo*
Editora: *Laura Angulo*

Florecimientos algales nocivos

Números anteriores

Correos electrónicos: ivres@prodigy.net.mx • estelag@correoprodigy.com

Presentación

Christine J. Band Schmidt

IPN-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Correo-e: cjband@yahoo.com

Aramis Olivos Ortiz

Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas,
Universidad de Colima

Correo-e: aolivos@uclm.mx

En esta ocasión, *La Jornada Ecológica* aborda por primera vez un tema poco divulgado pero no por ello menos importante para nuestro país: los florecimientos algales nocivos (FAN). Se trata de eventos naturales donde se concentra un alto número de algas microscópicas (más pequeñas que un grano de arena) en la columna de agua, conocido como fitoplancton. Estos eventos pueden ocurrir en el mar, lagos, embalses o ríos. Desde la antigüedad se conocen como mareas rojas, pero ni son mareas, ni son necesariamente rojas. La alta abundancia de estos organismos en la columna de agua puede cambiar el color de la superficie del agua en rojizo, amarillo, marrón o verde debido a los pigmentos fotosintéticos que contienen. No está de más recalcar que finalmente son microplantas suspendidas en el agua, pero en ocasiones no causan coloración alguna pasando inadvertidas a la vista del hombre.

La importancia del fitoplancton radica en que son los productores primarios acuáticos (primer eslabón de cadena alimenticia), responsables de la mitad de la producción de carbono del planeta (como grandes bosques) y una de las fuentes principales de alimento para moluscos, peces filtradores entre otros organismos acuáticos. Hay especies de fitoplancton que producen metabolitos tóxicos que pueden afectar o incluso causar la muerte a organismos superiores que se alimentan de ellos. O a otros de niveles tróficos superiores, como invertebrados, peces, aves, tortugas, delfines, ballenas. En ocasiones también al ser humano por contacto o al ingerir organismos que

acumularon estos compuestos (bioacumulación).

En el medio marino de nuestro país, las especies tóxicas del fitoplancton más representativas se encuentran en la costa del Pacífico: *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* y *Pseudo-nitzschia australis*, productoras de toxinas paralizantes y ácido domoico. En el Golfo de México, *Karenia brevis* productora de brevetoxinas. En el Caribe, *Gambierdiscus toxicus* productora de ciguatoxinas. Y en aguas interiores del país (lagunas, embalses) *Microcystis aeruginosa* que se encuentra entre las especies productoras de microcistinas.

La forma más frecuente de que las personas sufran de una intoxicación alimentaria con toxinas fitoplanctónicas es a través del consumo de moluscos bivalvos (de doble concha) filtradores que pueden bioacumular altas cantidades de estas toxinas. Por ejemplo, almejas, callo de hacha, mejillones y ostiones. En el caso de la intoxicación denominada ciguatera, se origina por el consumo de peces que habitan en los arrecifes coralinos. La vía de transferencia más común es a través del consumo de la barracuda y otros peces carnívoros.

Aún no conocemos todos los mecanismos que favorecen la producción de estos florecimientos algales nocivos, FAN. Cada especie prolifera bajo condiciones ambientales particulares: temperaturas frías o cálidas, aguas con altas concentraciones de nutrientes, en ocasiones las lluvias favorecen su crecimiento, vientos que pueden resuspender células enquistadas desde el sedimento, eventos oceanográficos como *El Niño* o surgencias costeras.

FAN del dinoflagelado *Noctiluca scintillans* observado en la Bahía de Manzanillo el 16 de abril de 2011

Foto cortesía de María Rivera y Sonia Quijano



En la actualidad, debido a que los FAN han sido más investigados y divulgados por los medios de comunicación, se conocen sus efectos por intoxicaciones, las vedas a consumo de pescados y mariscos, la afectación a otras especies por asfixia o el cierre de playas recreativas por el mal aspecto u olor de las aguas, lo que ha generado grandes pérdidas económicas en distintas zonas del país.

Para generar conocimiento que ayude a comprender las causas y efectos de los FAN, así como plantear propuestas en beneficio de la sociedad y sus actividades productivas, se formó la Red Temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (RedFAN), contando para ello con el patrocinio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt. Los integrantes de la citada red realizan un trabajo de equipo entre científicos y estudiantes, y se planea integrar a empresarios y sector gubernamental con el objeto de establecer políticas públicas que atiendan adecuadamente los problemas asociados a estos eventos.

En los siguientes trabajos, el lector podrá informarse so-

bre temas relacionados con los FAN, algunos estudiados por miembros de la RedFAN en nuestro país. El interés fundamental es divulgarlos con el objeto de exponer un problema mundial que día a día tiene mayores impactos en nuestro entorno. Para conocer las diferentes actividades, cursos, talleres, publicaciones y reuniones de la RedFAN, consulte su página en internet <http://redfan.cicese.mx/> y síganos por *facebook* en el grupo "Red de Investigación sobre Florecimientos Algales Nocivos".

Queremos agradecer a *La Jornada* la oportunidad de llevar a sus miles de lectores el conocimiento de uno de los eventos naturales más importantes que tienen lugar en el planeta. Darlo a conocer es fundamental no solamente para la existencia y desarrollo de la fauna acuática (que a la vez es parte del sistema ecológico del planeta), sino para entender y atender los problemas asociados a este fenómeno por parte de quienes obtienen productos o servicios vinculados con el tema aquí expuesto por un grupo de especialistas mexicanos.

Mary Carmen Ruiz de la Torre
Facultad de Ciencias Marinas, Universidad
Autónoma de Baja California
Correo-e: mary.ruiz@uabc.edu.mx

Christine J. Band Schmidt
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas,
Instituto Politécnico Nacional
Correo-e: cjband@yahoo.com

Ecología de especies formadoras de florecimientos algales nocivos

En los ambientes terrestres, las plantas y los árboles son la base de la cadena alimenticia debido a que transforman la energía del sol a energía química (fotosíntesis) para sustentar otras formas de vida en el planeta. En los ambientes acuáticos, la base de las redes tróficas son las macroalgas y el fitoplancton. Este último se en-

cuentran a merced de los movimientos del agua.

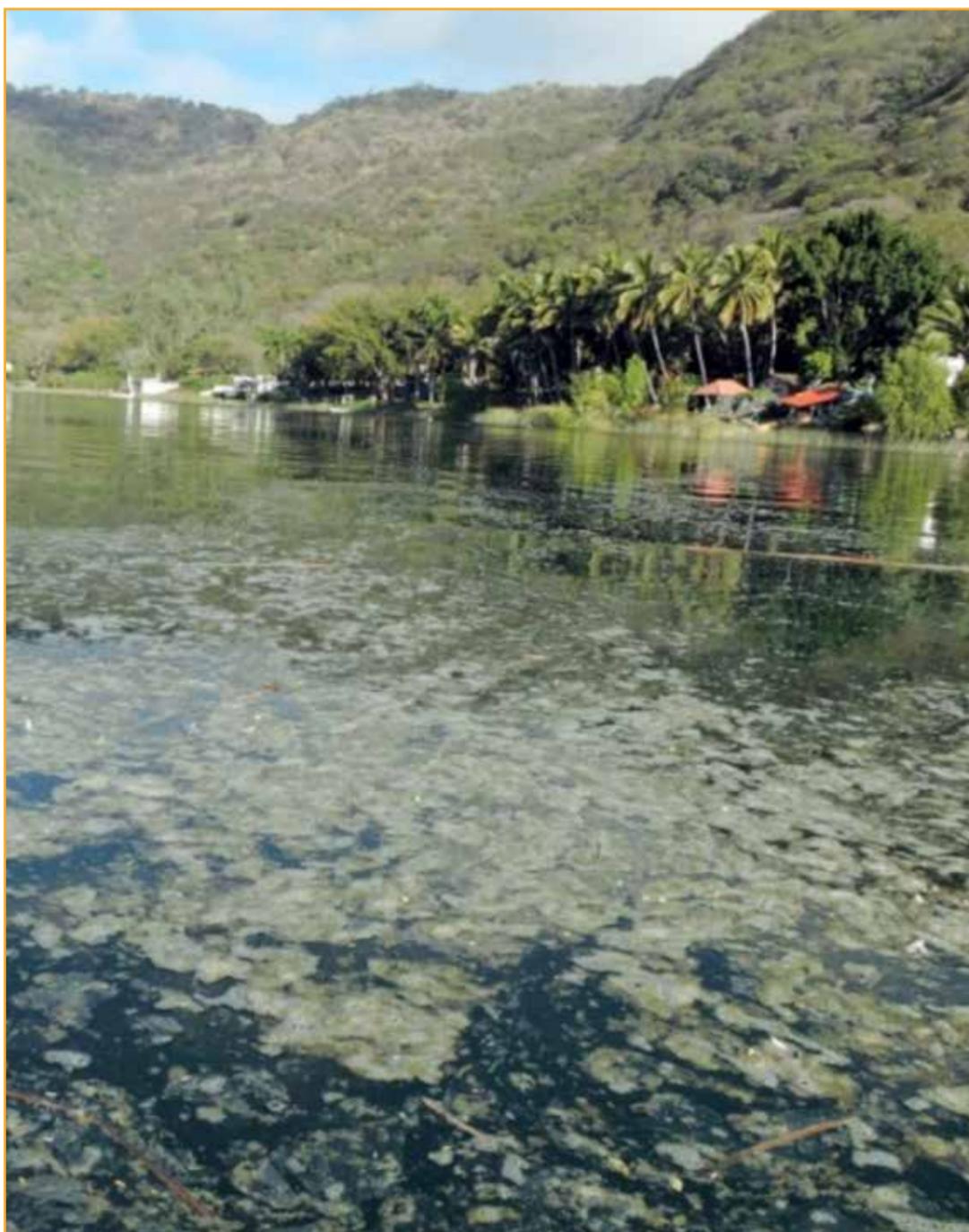
Dentro de los diferentes grupos de fitoplancton, las cianobacterias, las rafdofíceas, las diatomeas y los dinoflagelados pueden formar florecimientos algales nocivos (FAN) al concentrarse un alto número de ellos en el agua. Los FAN pueden abarcar grandes ex-

Florecimiento de cianobacterias en lago-cráter de Nayarit en febrero 2015
Foto cortesía de Y. A. Palomino Hermosillo

tensiones (metros-kilómetros) y mantenerse por periodos de tiempo prolongados (días-meses). La clave para que estos fenómenos se mantengan son las interacciones que existen entre los procesos físicos del ambiente (corrientes y calentamiento superficial de agua) y las características o rasgos biológicos particulares de cada grupo (ta-

maño, crecimiento, alimentación y movimiento).

Los procesos físicos pueden favorecer a los FAN debido a su capacidad de retener al fitoplancton en zonas óptimas para reproducirse y/o transportarlo hacia la costa, en donde tiene mayores posibilidades de mantenerse como FAN. Los procesos físi-



25 años de La Jornada Ecológica

Fue apenas ayer, en 1991, cuando Carlos Payán aceptó la propuesta que le hicimos de publicar un suplemento en el que los especialistas más reconocidos del país expusieran su opinión sobre el medio ambiente y los recursos naturales de México.

Inicialmente, el suplemento constaba de ocho páginas y apareció cada mes en forma impresa. Eran tiempos en que el internet todavía no era una herramienta fundamental de comunicación.

Por problemas de financiamiento y ya con el internet en pleno uso, propusimos a Carmen Lira, actual directora de *La Jornada*, que el suplemento apareciera únicamente en internet y cada dos meses. Y, como era costumbre, dedicar cada número a tratar un tema específico. La idea fue aceptada y permitió llegar a más lectores en México y en el exterior.

El suplemento es el único que sobre el medio ambiente publica la prensa de Mé-

xico, América Latina y España. En sus 207 entregas, los especialistas más reconocidos han expuesto los problemas más agudos que sobre el tema arrastra nuestro país. Además de tratar a nivel global otros de gran importancia, como el cambio climático, la explotación desmedida de hidrocarburos o los peligros que conlleva la utilización de los organismos genéticamente modificados, en especial en el caso de nuestra planta insignia: el maíz.

Al cumplir un cuarto de siglo, deseo agradecer el apoyo que siempre nos ha dado la dirección y el personal técnico de *La Jornada*. De igual forma, a doña Laura Angulo, nuestra eficiente y creativa editora, así como a doña Estela Guevara, responsable de la revisión tipográfica del suplemento. Y por supuesto, a los especialistas que con sus escritos han expuesto los problemas más importantes relacionados con el medio ambiente y los recursos naturales.

Iván Restrepo

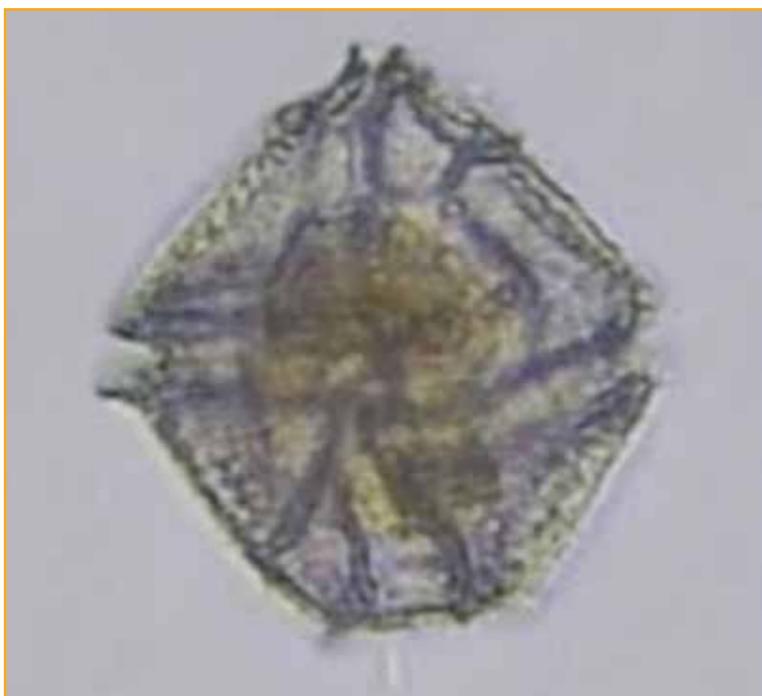
*Florecimiento algal del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* que duró ocho meses en la bahía Todos Santos, abril, 2005*
Foto: José Luis Ochoa de la Torre



cos pueden ser desfavorecidos cuando hay un ambiente inestable. Por ejemplo, cuando el movimiento del agua es tal que dispersa las células del fitoplancton evitando así que persistan como un FAN.

Dentro de la ecología de los FAN, destacan las característi-

cas biológicas que permiten a las células fitoplanctónicas aprovechar el ambiente cambiante al que se enfrentan día a día, incluso hora a hora. La tasa de crecimiento nos explica la velocidad a la que estos organismos se dividen de tal forma que en términos de días pue-



*Dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum**
Foto: Mary Carmen Ruiz de la Torre

den formar un FAN, siempre y cuando las condiciones ambientales (salinidad, temperatura, luz, viento) sean favorables.

Los grupos de fitoplancton como dinoflagelados tienen tasas de crecimiento bajas (<1), mientras que otros grupos, como las cianobacterias, alcanzan hasta una división por día. Aparentemente, el crecimiento de las poblaciones del fitoplancton puede parecer simple. Sin embargo, para crecer y dividirse, el fitoplancton requiere compensar factores de pérdida como la sedimentación de células al fondo del mar, el pastoreo (ser alimento de otros organismos) y la muerte celular.

La forma en la que obtiene nutrientes también es compleja. La mayoría utiliza la fotosíntesis como fuente de energía para generar su propio alimento (autotrofia). Otras especies utilizan rutas alternas para adquirir elementos como el carbono (C) mediante la ab-

sorción directa de moléculas orgánicas y la ingestión de una presa (heterotrofia). Existen, asimismo, especies que tienen ambas formas de adquisición de energía (mixotrofia).

A pesar de que el fitoplancton es pequeño y está a la "deriva", algunos grupos evolucionaron y desarrollaron estrategias para poder moverse en la columna de agua. Los dinoflagelados utilizan un flagelo para nadar durante el día hacia la superficie para obtener energía del sol, y durante la tarde-noche para nadar hacia parcelas de agua con nutrientes.

Las especies del fitoplancton formadoras de FAN tienen características específicas que van a variar entre los diferentes grupos. Por tal motivo es importante estudiar particularmente a cada grupo a fin de comprender su dinámica y su potencial para formar florecimientos algales nocivos en las diferentes regiones geográficas.

Sonia Quijano-Scheggia
Centro Universitario de Investigaciones
Oceanológicas
Universidad de Colima
Correo-e: Quijano@uclm.mx

José Antolín Aké-Castillo
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,
Universidad Veracruzana
Correo-e: aake@uv.mx
Miembros de la RedFAN

Especies formadoras de florecimientos algales nocivos en México

Los florecimientos algales nocivos (FAN) son eventos presentes en aguas costeras y oceánicas. Se definen como un incremento en la abundancia de células del fitoplancton por encima de valores considerados normales que pueden producir efectos nocivos apreciables sobre el ecosistema y la salud pública. Diferentes especies de microalgas son las causantes de los FAN, siendo los principales grupos algales los dinoflagelados y las diatomeas, aunque también están las cianofitas y las rafdofitas.

Los dinoflagelados son protistas predominantemente marinos, cuya organización estructural, diversidad morfológica y comportamiento se ha estudiado ampliamente.

Entre los dinoflagelados tóxicos en México destacan *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y *Karenia brevis*. Las diatomeas son organismos eucarióticos unicelulares o coloniales. Su característica principal es su pared celular llamada *frústula*, compuesta de dos valvas de silicio ornamentadas.

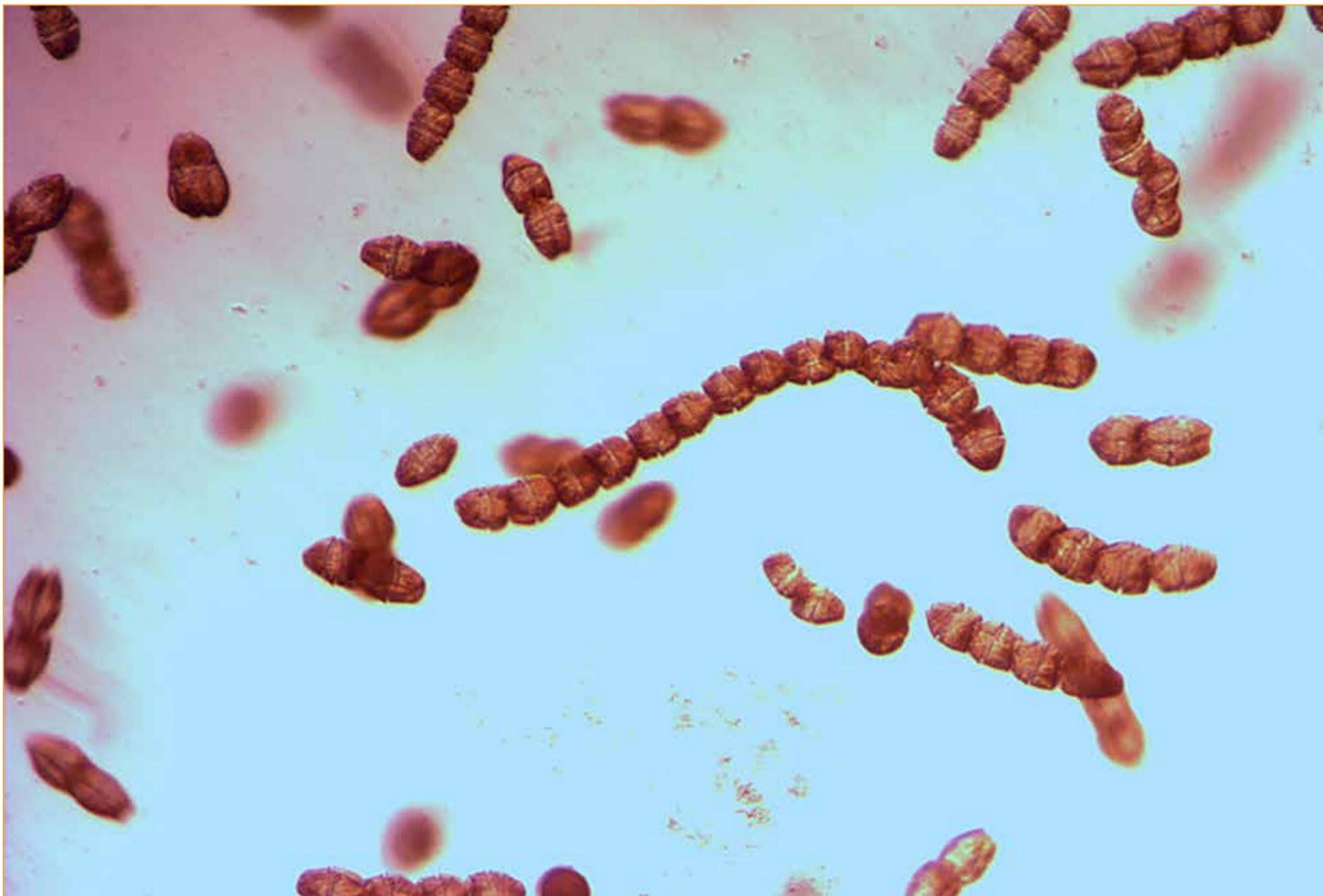
Los registros fósiles indican que aparecieron sobre la Tierra hace aproximadamente 250 millones de años, durante la era Mesozoica. Desde entonces han invadido casi todos los hábitats acuáticos y húmedos donde hay suficiente luz para realizar la fotosíntesis diversificándose en más de 100 mil especies. El grupo fitoplanctónico es el que cuenta con mayor número de especies.

Las diatomeas se dividen en dos grupos mayores: diatomeas céntricas y pennadas, reconocidos desde el siglo XIX

debido a observaciones al microscopio óptico. Las diatomeas céntricas tienen un patrón radial en las valvas y la forma es a menudo circular, raramente multipolar o bipolar.

La valva de las diatomeas pennadas es bipolar con forma de bote con estrías y poros que se extienden a partir de un patrón central, sternum como en las plumas de ave. Se subdividen en pennadas con rafe y pennadas sin rafe o arafideas. Dentro de este grupo se presentan especies de las diatomeas pennadas con rafe que





pueden ser tóxicas y pertenecen exclusivamente a los géneros *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia*.

La mayoría de las microalgas son especies que han sido descritas a partir únicamente en base a su morfología. Estudios recientes han demostrado la necesidad de reevaluar el concepto de especie usando una aproximación holística. Tres enfoques complementarios han permitido recabar información taxonómica relevante y son: su morfología, su sexualidad y la secuencia de genes.

Tomando estas tres características en conjunto y aplicadas a muestras lo suficientemente grandes, se puede revelar el límite entre especies y relaciones entre géneros descritos previamente a este enfoque. Son frecuentes las formas que son morfológicamente similares pero que constituyen especies diferentes. A éstas se les llama especies *crípticas*.

La importancia práctica en la diferenciación de estas especies radica en que como especies reaccionan de manera distinta en condiciones similares, además de la capacidad de algunas de ellas de producir toxinas. Por lo tanto, es necesaria la identificación precisa a la hora de emitir alertas a la población o de responder a las situaciones creadas por los florecimientos.

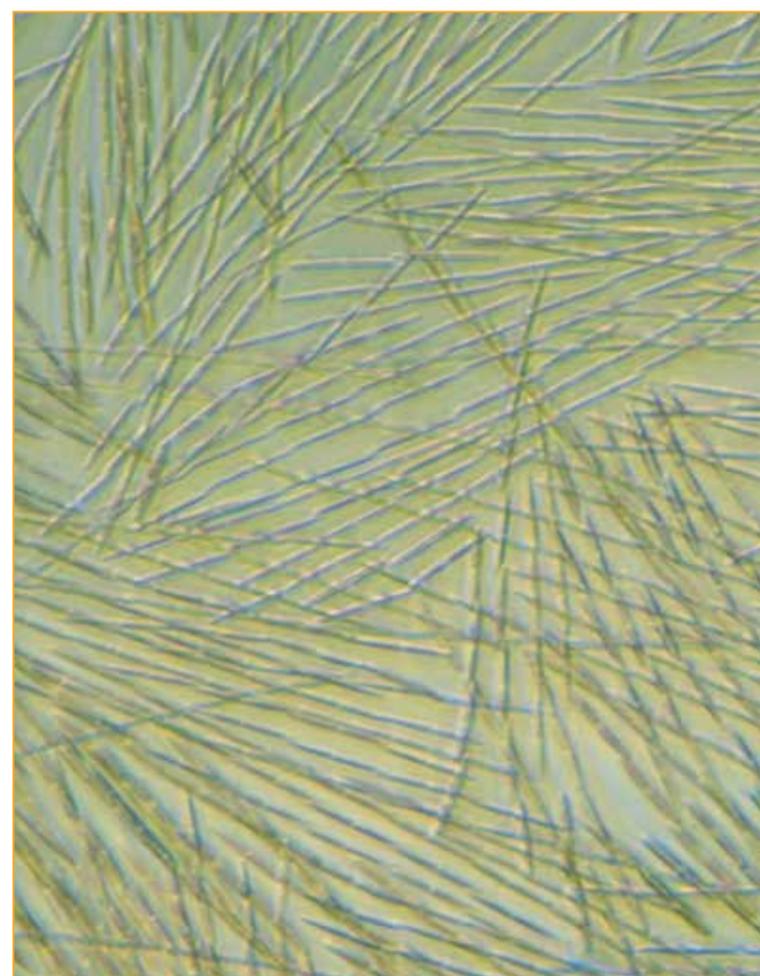
Hoy se trabaja en código de barras de ADN usando diferentes marcadores moleculares. Una de las justificaciones claves para su implementación es la posibilidad de una rápida identificación de especies formadoras de FAN permitiendo distinguir entre las especies tóxicas y las que no lo son. Actualmente, en México se aborda la identificación holística de especies de fitoplancton tóxico en diferentes instituciones de investigación. El resultado permitirá contribuir a la correcta y rápida identificación de estos organismos.

Arriba: Cultivo de *Pseudo-nitzschia* brasiliana, *diatomea pennada* productora de toxinas amnésicas que se encuentra en las costas de Pacífico mexicano

Foto cortesía de Sonia Quijano-Scheggia

Cultivo de *Gymnodinium catenatum*, *dinoflagelado* productor de toxinas paralizantes que se encuentra en las costas del Pacífico mexicano

Foto cortesía de Sonia Quijano-Scheggia



Antonio Almazán Becerril
Unidad de Ciencias del Agua, CICY, AC
Correo-e: almazan@cicy.mx

Ivonne Sandra Santiago Morales
Instituto de Industrias, Universidad del Mar
Correo-e: santiago@angel.umar.mx

Ernesto García Mendoza
Departamento de Oceanografía Biológica, CICESE
Correo-e: ergarcia@cicese.mx

Intoxicaciones producidas por ficotoxinas

Cuando se presentan florecimientos algales de especies productoras de ficotoxinas existe el riesgo de afectar a la salud humana. Los vectores principales de las ficotoxinas hacia los humanos son los moluscos bivalvos (almejas, ostiones, mejillones) con excepción de las ciguatoxinas, que son transmitidas por peces tropicales. La ingestión de alimento contaminado es la forma más común de sufrir el efecto de la ficotoxinas pero también se puede padecer su efecto por otras vías.

Por ejemplo, la brevetoxina, producida por el dinoflagelado *Karenia brevis*, es volátil y durante un florecimiento puede alcanzar la costa viajando con la brisa marina en forma de aerosoles y causar irritaciones en el sistema respiratorio. Otro ejemplo son las toxinas producidas por cianobacterias del género *Lyngbya*, que pueden estar presentes en el agua y generar irritaciones en la piel de los bañistas.

Debido a la diversidad en su naturaleza química, las ficotoxinas actúan de diferente manera en el organismo ya que tienen distintos blancos moleculares. Existen ficotoxinas que afectan el sistema nervioso provocando los síndromes conocidos como ciguatera (CFP), intoxicación neurotóxica (NSP), intoxicación paralizante (PSP) e intoxicación amnésica por consumo de mariscos (ASP).

El efecto neurotóxico en el caso de la CFP, NSP y PSP está asociado a la interacción de las toxinas con los canales de sodio, potasio y calcio. Estos canales están compuestos por proteínas que atraviesan la membrana celular y permiten, bajo ciertas condiciones, el in-

tercambio de iones entre el interior y el exterior de la célula controlando la transmisión del impulso nervioso entre neuronas.

El mecanismo de acción de las ficotoxinas consiste en unirse a estos canales aumentando o bloqueando el flujo de iones e inhibiendo su actividad reguladora afectando al sistema nervioso, circulatorio y respiratorio. En consecuencia, la

Extracción y purificación de toxinas de muestras de ostiones durante un curso de ficotoxinas realizado en las instalaciones del CICY-Cancún
Foto cortesía de Antonio Almazán Becerril

intoxicación por ficotoxinas neurotóxicas pueden provocar prurito (sarpullido), dolor de cabeza, parestesia (sensación de cosquilleo), diarrea, vómito, taquicardia y en casos extremos, por ejemplo en la intoxicación de toxinas tipo paralizante (PSP), parálisis respiratoria y muerte.

En el caso de la ASP, el ácido domóico no actúa sobre los canales iónicos sino que com-

te directamente con un neurotransmisor (ácido glutámico) provocando la entrada en exceso de calcio a las neuronas. La acción de este compuesto es tan potente que causa degeneración de estas células y particularmente las que forman parte del cerebelo, por lo que la sintomatología asociada a esta intoxicación incluye dolor de cabeza, desorientación, pérdida de memoria de



Cultivo de ostiones en bahía de San Quintín, una de las áreas certificadas para la acuicultura en Baja California

Foto cortesía del Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California (CESAIBC)



corto plazo, convulsiones y en casos graves la muerte.

Otros síndromes no relacionados con efectos neurotóxicos son la intoxicación diarrea por consumo de moluscos (DSP) y la intoxicación por azaspirácidos (AZP). La DSP es causada por el ácido okadáico y las dinophysistoxinas. Estas toxinas inhiben la actividad de las

enzimas fosfatasas que controlan la permeabilidad de solutos en el intestino. Por ello, el síntoma más frecuente de estas intoxicaciones es la diarrea, aunque también hay dolor gastrointestinal, náuseas y vómito. Además, se ha demostrado que la exposición crónica al ácido okadáico promueve la formación de tumores en ratones.

Finalmente, la intoxicación por azaspirácidos, de relativamente reciente detección, presenta una sintomatología similar al de las toxinas diarreas, aunque el modo acción todavía no se comprende del todo.

A pesar del riesgo a la salud que representan las ficotoxinas (por ejemplo, la saxitoxina es catalogada como arma

química por ser unos de los compuestos naturales más tóxicos), su naturaleza química y la especificidad en su modo de acción también representa una veta de investigación muy importante para producir sustancias terapéuticas para el tratamiento de diversas enfermedades crónicas y degenerativas.

Mary Carmen Ruiz de la Torre
Facultad de Ciencias Marinas, UABC
Correo-e: mary.ruiz@uabc.edu.mx

José Luis Peña Manjarrez
Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, núm. 11
Correo-e: jopema@cetmar11.edu.mx

Carlos A. Poot Delgado
Instituto Tecnológico Superior de Champotón
Correo-e: poot_delgado_carlos_antonio@hotmail.com

Impactos económicos de los FAN, caso Baja California

Los florecimientos algales nocivos (FAN) son eventos naturales recurrentes que pueden afectar grandes extensiones de costa y originarse en el mar abierto. En los últimos 15 años se han registrado eventos en México de gran magnitud por su duración (más de cinco meses), extensión (mayores a 2 mil km²), abundancia de las especies que lo producen, afectación del ecosistema marino y por su impacto económico.

La ocurrencia de los FAN implica pérdidas económicas importantes por las vedas sanitarias que establecen las autoridades de salud. Ello genera detrimentos económicos en las actividades asociadas a

la pesca y acuicultura; pérdida de ingresos en restaurantes, y afectación directa a los pescadores y sus familias, al verse impedidos de salir a pescar. Incluso se ha asociado al incremento en la delincuencia por falta de ingresos.

En Baja California, la presencia de FAN ha afectado la industria pesquera. Ejemplo de ello son los ranchos de atún aleta azul (*Thunnus orientalis*) que con inversiones importantes generan beneficios sociales y económicos. Entre los principales sobresalen alrededor de mil 100 empleos directos, una producción promedio de 5 mil toneladas anuales, que representan 82 millones de dólares.

Almeja generosa (Panoepa globosa) confiscada para su destrucción durante el florecimiento algal nocivo de Gymnodinium catenatum en San Felipe, BC
Foto cortesía de Jennifer Medina Elizalde

En septiembre de 2002, condiciones ambientales extraordinarias favorecieron el desarrollo del dinoflagelado *Ceratium furca* que alcanzó abundancias de hasta 4 millones de células por litro. Esto tomó por sorpresa a los productores que no tuvieron tiempo para mover los corrales de atún. El resultado: mortandad de 200 toneladas de atún por asfixia y pérdidas de más de 3.5 millones de dólares.

Otro recurso emblemático de Baja California es la langosta roja (*Panulirus interruptus*). En 2007 se presentó un FAN de dinoflagelados del género *Ceratium* con abundancias de hasta 7 millones células por li-

tro. Ello ocasionó una alta mortandad de organismos bentónicos, específicamente de langostas en periodo de reproducción. Lo anterior se reflejó en 2008 en una disminución de las capturas de 181 toneladas respecto al promedio del periodo 2008-2014. Esta baja en las capturas también alcanzaron ese mismo año al erizo rojo y al pepino de mar, con una disminución de 925 y 44 toneladas, respectivamente, con respecto al promedio para el mismo periodo.

En enero de 2015 se registró la mortandad de aves y mamíferos marinos en la franja costera de San Felipe-Puertecitos, en el Golfo de





Florecimiento algal nocivo (2007) en ranchos atuneros en la bahía Salsipuedes, Ensenada, BC
Foto cortesía de José Luis Peña Manjarrez

California: este evento se asoció a un FAN del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* productor de la toxina paralizante (PSP). Las autoridades sanitarias acordaron el cierre temporal para la extracción de almeja generosa (*Panopea globosa*), que representa cerca del 80 por ciento del producto comercializado en la región.

La veda aún se mantiene y constituye una amenaza para la pesquería de la zona. Las pérdidas económicas son cuantiosas y se destruyeron varias toneladas extraídas de este organismo. Los lugareños no pueden salir a pescar, los restaurantes desecharon el producto adquirido previamente y el índice de desempleo aumentó entre los pescadores.

Los impactos económicos en Baja California han sido importantes y no son exclusivos de la zona. En todo el país la presencia de FAN han ocasionado daños a la economía. Sin embargo, no hay indicadores precisos que informen de las pérdidas generadas en los diferentes sectores. Por ello, es imperativo establecer estrategias y mecanismos para obtener cifras que permitan una

valoración real de las pérdidas en la acuicultura y la pesca. Lo anterior facilitaría conjuntar esfuerzos para que los

Abajo: fauna de gran tamaño también es afectada por los FAN

programas de monitoreo sean más eficientes. Y no solo para proteger la salud pública sino también para que los produc-

tores y la sociedad en general tengan planes de prevención y mitigación ante la presencia de un FAN.



Los efectos de las toxinas marinas en la salud pública y animal de México

Erick J. Núñez-Vázquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Correo-e: enunez04@cibnor.mx

José Bustillos-Guzmán

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Correo-e: jose04@cibnor.mx

En México se han presentado florecimientos algales nocivos (FAN) y sus toxinas en prácticamente todas las costas: Golfo de México, mar Caribe, Pacífico y golfo de California. Algunas de ellas han causado serios problemas de salud pública y animal. En el caso de los animales silvestres ha habido mortandad masiva de peces, moluscos, aves, tortugas y mamíferos marinos, como se muestra en la figura 1. Igualmente en el cultivo de, por ejemplo, crustáceos, moluscos y peces, afectando principalmente a la camaricultura, acuicultura de moluscos bivalvos y engorda de atún. Estos fenómenos han ocasionado pérdidas millonarias debido a la prohibición, extracción y comercialización de productos marinos por vedas sanitarias que afectan el comercio de especies marinas dentro del país así como las dedicadas a la exportación.

En algunos casos ha habido mortandad masiva de organismos de cultivo. Además, en el efecto económico directo de los FAN se deben considerar los gastos de atención médica y/o hospitalaria de las personas intoxicadas. Indirectamente, los FAN afectan al turismo y otras actividades costeras.

Del año 1976 a la fecha, poco más de mil personas se han intoxicado y 42 han muerto debido al consumo de productos marinos con biotoxinas marinas (figura 2). Del total de registros de personas intoxicadas, 513 casos y 21 decesos corresponden a toxinas paralizantes por consumo de moluscos bivalvos en el Pacífico (Chiapas, Guerrero y Oaxaca) y golfo de California (Sinaloa y recientemente Baja

California). Otros 464 casos a la ciguatera por consumo de peces carnívoros con ciguatoxinas (Baja California Sur, Quintana Roo y Yucatán). 37 casos y 21 decesos, por el consumo de peces "botete" con tetrodotoxinas en los estados de Baja California Sur, Campeche, Sinaloa y Quintana Roo.

Pero además ha habido decenas de intoxicados vía respiratoria por aerosoles con brevetoxinas que llegan con la brisa del mar durante proliferaciones microalgales del dinoflagelado *Karenia brevis* en el Golfo de México, y muy especialmente en Tamaulipas y Veracruz.

Otras toxinas asociadas a las intoxicaciones de tipo diarreico por consumo de mariscos (ácido okadaico) y amnésico (ácido domoico); así como el síndrome conocido como "dermatitis severa del bañista" por el contacto con cianobacterias del género *Lyngbya* (lyngbyatoxinas y aplysiatoxinas) son también descritas por su riesgo potencial en la salud pública de nuestro país y por su efecto en la salud animal.

Las biotoxinas marinas están teniendo un impacto importante en el país sobre la salud de organismos silvestres y cultivados así como en la salud de la población, lo que hace necesario el monitoreo regular de los microorganismos productores en las zonas donde su presencia ha sido recurrente. Nos referimos especialmente a las principales poblaciones costeras, zonas turísticas, pesqueras y áreas de acuicultura, pero también en aquellas en donde comienzan a surgir.

De igual forma es necesaria, urgente, la detección (con



Fig. 1. Mortandad masiva de peces pelágicos. *Sardina bocona* (*Centregaulis mysticetus*) por FAN del dinoflagelado *P. bahamense* var. *compressum* en Chiapas, 2001
Foto cortesía de Casimiro Ramírez del INP; fotografía de R. Rojas

Laguna de La Salina En
Huatulco, Oaxaca
Foto: @camaradamarko



fines regulatorios así como en investigación) de las diversas biotoxinas en los diferentes productos marinos destinados al consumo humano, como la manera más adecuada de garantizar la inocuidad alimentaria.



Fig. 2. Mortandad de delfines asociada a un FAN de diatomeas Pseudo-nitzschia en el golfo de California
Foto cortesía de CEDO, AC

Antonio Almazán Becerril
Unidad de Ciencias del Agua, CICY, AC
Correo-e:almazan@cicy.mx

Ernesto García Mendoza
Departamento de Oceanografía Biológica, CICESE
Correo-e:ergarcia@cicese.mx

José Antolín Aké Castillo
Instituto de Ciencias Marinas y Pesqueras, UV
Correo-e:joseake@yahoo.com

Daños al ambiente provocados por los florecimientos algales nocivos

Los daños al medio ambiente y a la biota silvestre constituyen una de las facetas más perjudiciales de los florecimientos algales nocivos (FAN) y están asociados a las diferentes etapas de evolución de estos fenómenos. Los FAN se inician al existir una población semilla de especies potencialmente nocivas en un ambiente adecuado para su desarrollo. Durante la fase de desarrollo y mantenimiento del FAN, ocurre un incremento poblacional de tal magnitud que puede manifestarse como un cambio en la coloración del agua.

Al finalizar el florecimiento, la fase de decaimiento consiste en la desaparición del fenómeno, ya sea por un cambio de las condiciones ambientales, agotamiento de nutrientes, herbivoría, parasitismo o infecciones bacterianas y/o virales. Durante las fases de desarrollo y decaimiento es cuando pueden ocurrir impactos ecológicos importantes debido a la afectación directa a otros organismos o de manera indirecta a partir de la degradación del ambiente.

En la fase de desarrollo, las afectaciones directas a otros organismos se producen mecánicamente o por intoxicación. Al existir una alta densidad de células en el agua, éstas pueden llegar a obstruir las branquias de peces impidiendo su oxigenación. Asimismo, algunas microestructuras aplanadas o puntiagudas de las microalgas (Fig. 1) pueden causar heridas microscópicas provocando hemorragias o infecciones bacterianas causando la muerte de los peces.

Por otro lado, si las microalgas que forman los FAN son tóxicas, pueden desatar mortandades de organismos acuá-

uticos conocidos como epizootias. Las epizootias comienzan cuando las células tóxicas son consumidas por organismos filtradores: moluscos bivalvos, ascidias, esponjas y peces pequeños como sardinas, mareas y anchovetas. O bien, cuando estas células se encuentran viviendo sobre macroalgas, coral muerto, pastos que actúan como vectores de estas células hacia peces de mayor tamaño, aves, tortugas y mamíferos marinos.

En México se han producido varios eventos de este tipo. El ejemplo más reciente, y probablemente el de mayor magnitud, fue el que se presentó en el norte del golfo de California en enero de 2015. Un florecimiento del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* que produce toxinas de tipo paralizante que ocasionó la muerte de más de 10 mil aves marinas y cientos de mamíferos marinos (Fig. 2).

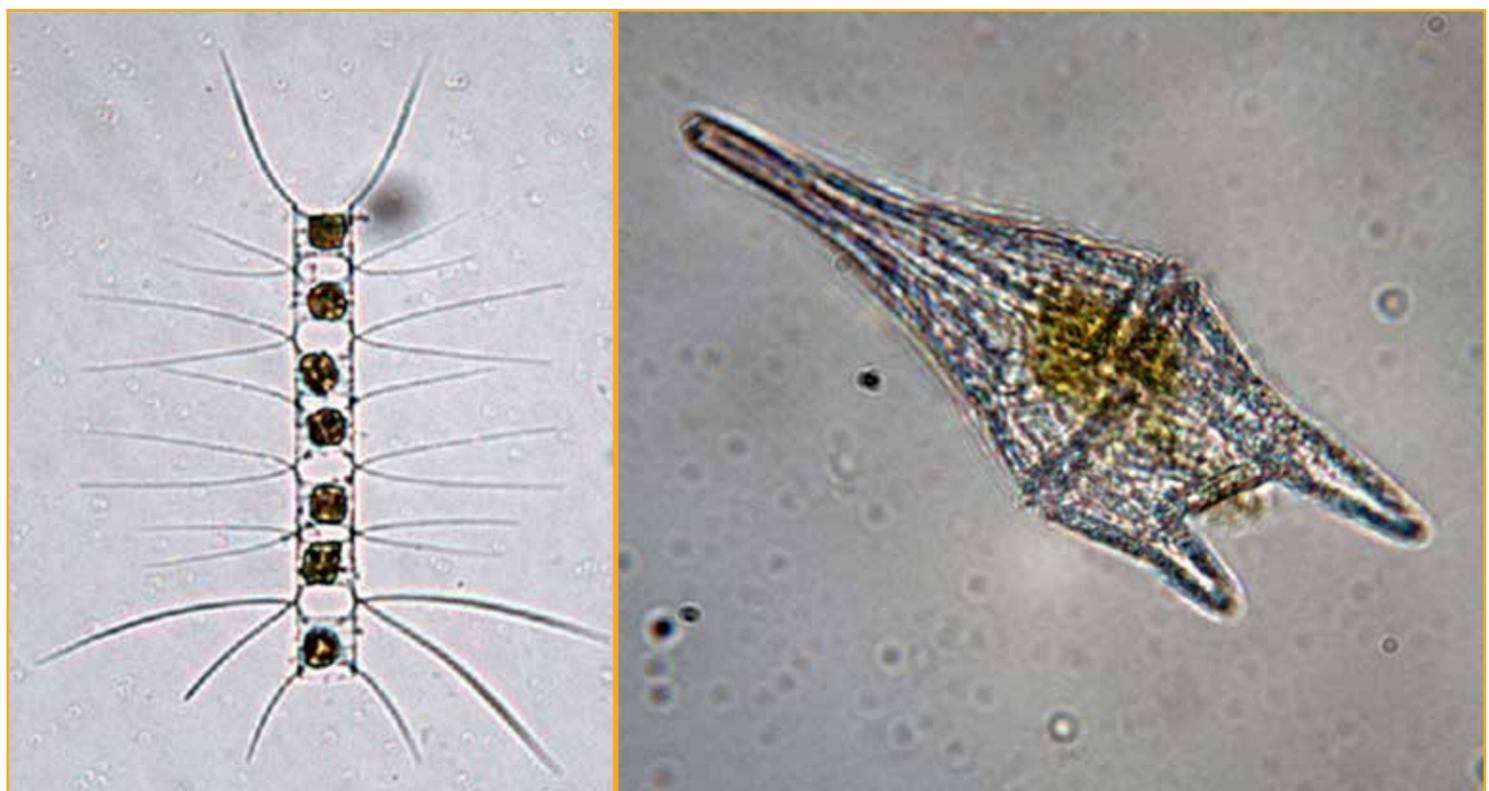
Fig. 1. Dos especies de microalgas que presentan estructuras puntiagudas que, en condiciones de florecimiento, pueden producir múltiples heridas en las branquias de los peces. Fotos cortesía de Antonio Almazán Becerril

Cabe señalar que la degradación de las condiciones ambientales se presenta generalmente durante la fase de decaimiento de los FAN. La muerte de las microalgas puede ocasionar una reducción drástica de la concentración del oxígeno disuelto en el agua. Las células muertas sufren un proceso de remineralización: transforman la materia orgánica a formas inorgánicas oxidadas más simples, como dióxido de carbono, agua y nitratos. Este proceso ocurre de forma aeróbica (en presencia de oxígeno) y lo realizan las bacterias marinas.

El consumo de oxígeno del medio dependerá de la magnitud del FAN pudiéndose generar zonas hipóxicas si la concentración de oxígeno disminuye por debajo de lo habitual. O en casos extremos, anóxicas, que se distinguen por la ausencia total de oxígeno. No está de más señalar

que el oxígeno es vital para los organismos acuáticos. Por eso, a las zonas anóxicas se les denomina zonas muertas. La presencia, formación y evolución de zonas muertas en el océano es una prioridad de monitoreo e investigación a nivel mundial.

Desde hace dos décadas se reconoce el incremento en la magnitud y frecuencia de los FAN en todo el mundo como resultado del enriquecimiento de nutrientes, la presencia de especies invasoras, y el calentamiento global. Algunas predicciones señalan que estos fenómenos se incrementarán. Dado que todavía no es posible controlar la formación de los FAN, o incluso predecirlos, es necesario estudiarlos en todos sus aspectos para adaptarnos a ellos y establecer políticas oficiales para mitigar sus efectos adversos en el medio ambiente marino y en los humanos expuestos.





*Fig. 2. Ejemplos de animales que murieron debido al FAN del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* ocurrido en el golfo de California. A la derecha, la M. en C. J. Medina del laboratorio Ficotox de CICESE practicando una necropsia a un ejemplar del ave "bobo patas azules" para coleccionar muestras de tejido para análisis patológicos, histológicos y toxicológicos*
Fotos cortesía de E. García Mendoza

Abajo: los efectos de la marea roja en Tamaulipas



Ernesto García Mendoza

Departamento de Oceanografía Biológica, CICESE

Correo-e: ergarcia@cicese.mx

Erick J. Núñez Vázquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz

Correo-e: enunez04@cibnor.mx

Antonio Almazán Becerril

Unidad de Ciencias del Agua, CICY, AC

Correo-e: almazan@cicy.mx

Legislación sanitaria asociada al control de ficotoxinas marinas en México

Las ficotoxinas marinas pueden acumularse en los moluscos bivalvos y en otros organismos que se alimentan de microalgas. Desde el surgimiento de las primeras intoxicaciones en humanos asociadas al consumo de productos del mar, las ficotoxinas son consideradas como un riesgo a la salud pública y se reconocen varios síndromes asociados a estos compuestos (ver artículos de este suplemento). Por lo tanto, su presencia se monitorea y se regula con base a un conjunto de leyes y normas sanitarias. Citemos las fundamentales.

En la Norma Oficial Mexicana (NOM-242-SSA1-2009) y la *Guía técnica* del Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB) de la Comisión Federal Contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), se establecen 20 mg/kg como la concentración máxima permitida de ácido domoico (toxina amnésica de moluscos), 800 µg eq. STX/kg para las toxinas de tipo paralizante (saxitoxina y análogos), 160 µg/kg para el ácido okadaico (toxina diarreica de moluscos), 20 UR/100 g para la brevetoxina (toxina neurotóxica de moluscos) y 2.5 UR para la ciguatera en peces (UR = unidad ratón: cantidad suficiente de toxinas para matar un ratón de 20 g).

La guía técnica considera otros dos tipos de toxinas al establecer que el límite máximo permitido (LMP) para yessotoxinas es de 1 mg/kg y 160 µg/kg para azaspirácidos en moluscos. Esta guía también contiene las instrucciones y lineamientos para el muestreo de ficotoxinas y fitoplancton y además, describe las instrucciones de control sanitario cuando estas toxinas rebasan los LMP.

El esquema de control de ficotoxinas está resumido en el *Plan de contingencia para el control de biotoxinas marinas*, publicado en mayo de 2015 por la Cofepris para incorporar modificaciones recientes que no se mencionan en la *Guía técnica* ni en la NOM-242-SSA-2009. Este documento establece que la abundancia relativa de fitoplancton se debe de monitorear semanalmente en puntos de muestreo determinados por la autoridad sanitaria de cada estado costero como medida de alerta temprana.

Por otro lado, la presencia de ficotoxinas se debe evaluar mensualmente en producto de las zonas de extracción de moluscos bivalvos. La determinación de ácido domoico, saxitoxina y ácido okadaico se realiza por medio de pruebas rápidas como medida del control oficial de fico-



Científicos de Ensenada crearon un laboratorio de servicios, monitoreo e investigación sobre ficotoxinas asociadas a los FAN

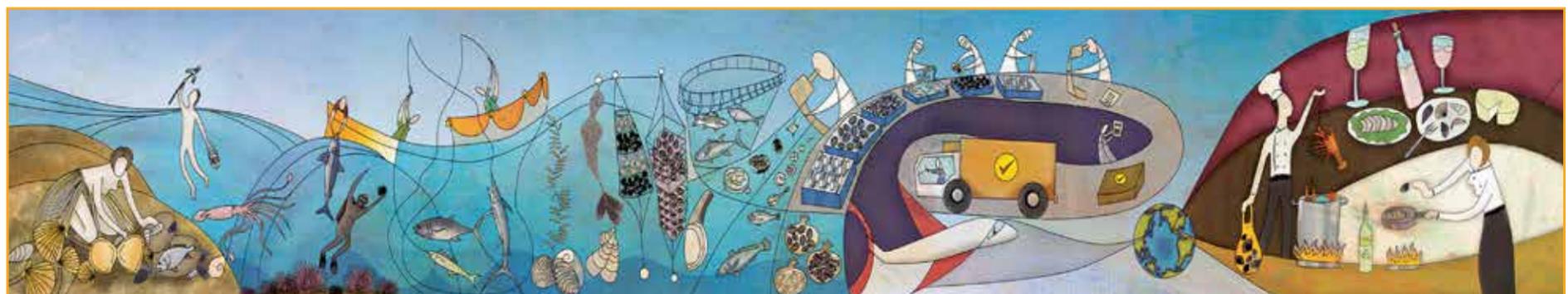
Abajo: evolución de consumo de mariscos hasta nuestros días. Mural de promoción de la Baja Seafood Expo del 2015. Imagen cortesía de Patronato de Baja Seafood Expo, AC

toxinas, lo cual solo se hace en México y no en otros países. Si existe un resultado positivo para el ácido domoico y saxitoxina (pruebas cualitativas) o por arriba del LMP en caso del ácido okadaico, se implementa una veda precautoria. Las demás ficotoxinas señaladas en la NOM-242-SSA-2009 o *Guía técnica* no se monitorean de forma regular.

Esta veda pasa a la categoría de veda temporal si la concentración de ficotoxinas es mayor al LMP cuantificada por métodos de referencia, como HPLC

para ácido domoico y bioensayo en ratón para saxitoxina y ácido okadaico. La veda precautoria se levanta cuando la concentración de ficotoxinas es menor al LMP o se mantiene hasta obtener tres resultados por debajo del LMP en muestras consecutivas colectadas al menos cada cuatro días entre cada una de ellas.

Asimismo, el muestreo de fitoplancton se intensifica a cada tercer día ante la presencia de ficotoxinas o ante un florecimiento algal potencialmente tóxico.



Dos imágenes que nos remiten a las películas de terror y que no son sino florecimientos algales fuera de control

Las medidas descritas tienen como finalidad asegurar la inocuidad de los moluscos bivalvos en México. También existen acciones para evitar intoxicaciones por ciguatera, como la prohibición del comercio de barracuda establecida por las autoridades sanitarias de Quintana Roo.

La *Guía técnica* nacional se diseñó copiando la guía de programa sanitario de mariscos de Estados Unidos y se han incorporado indicaciones de la administración de alimentos de este país, principal im-

portador de moluscos bivalvos cultivados en México. En la actualidad, la regulación de ficotoxinas en México se sustenta en un programa emergente. Por lo anterior se necesita impulsar y considerar el conocimiento científico generado en los centros de investigación nacionales y actualizar y establecer capacidades técnicas regionales para la medición de estos compuestos. De igual forma, conceder la adecuada atención a los problemas derivados de la ficotoxinas marinas.

