

Algas Tóxicas

S.M. Salcedo-Martínez*, N.F. Puente-Quintanilla, L.V. Aguilar-Villegas
y J.L. Hernández-Piñero

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Fac. de Ciencias Biológicas, Depto. de Biología Vegetal. Lab. de Criptógamas
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

* sergio.salcedomr@uanl.edu.mx

Resumen

Las algas son uno de los elementos más importantes de las comunidades acuáticas. Estas son organismos productores primarios y son consumidas ávidamente por el zooplancton u otros consumidores, sin embargo sus poblaciones sobreviven gracias a que poseen mecanismos de defensa que les permite modificar su ciclo de vida, de manera que sólo se presentan en las estaciones del año cuando las poblaciones de depredadores disminuyen; reduciendo su tamaño y aumentando la velocidad de división celular, dificultando el ser encontradas y consumidas; modificando su forma y estructura. Otras evaden a sus consumidores mediante movilidad o ahuyentándolos gracias a la bioluminiscencia, o a la presencia de sustancias químicas, las cuales pueden causar toxicidad tanto para depredadores como para otros organismos, incluyendo el hombre. En este trabajo se exploran los principales tipos de toxicidad causados por algas.

Palabras clave: Algas tóxicas, cianobacterias, ciguatera, envenenamiento, neurotóxico, amnésico, paralítico, diarreico.

Abstract

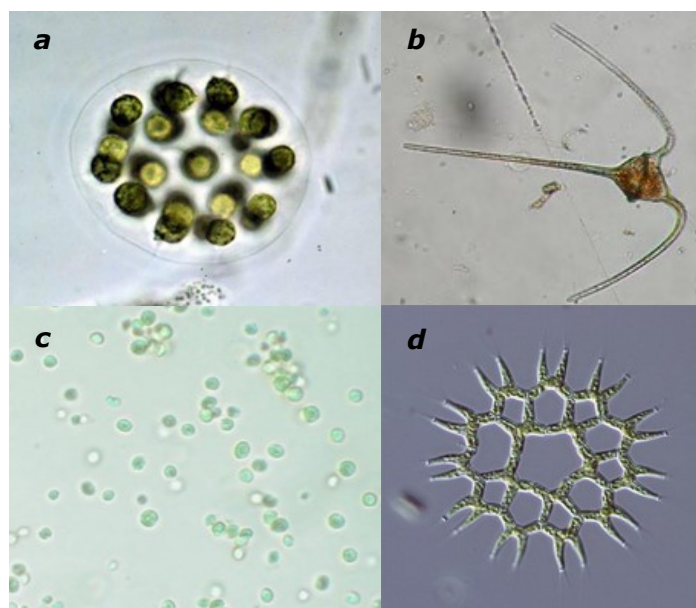
Algae are one of the most important elements of aquatic communities. These are primary producing organisms and are avidly consumed by zooplankton or other consumers, however their populations survive thanks to the fact that they have defense mechanisms that allow them to modify their life cycle, so that they only occur in the seasons of the year when the predator populations decline; reducing their size and increasing the speed of cell division, making it difficult for them to be found and consumed; modifying its shape and structure. Others evade their consumers through mobility or by scaring them away thanks to bioluminescence, or the presence of chemical substances, which can cause toxicity for both predators and other organisms, including humans. In this work, the main types of toxicity caused by algae are explored.

Key words: Toxic algae, cyanobacteria, ciguatera, poisoning, neurotoxic, amnesic, paralytic, diarrheal.

En las comunidades acuáticas los organismos fotosintéticos son los principales productores primarios, de manera que el resto de las poblaciones dependen en última instancia de la síntesis de biomoléculas que ellos realizan para subsistir. Las algas son un componente importante de esos productores acuáticos, son consumidas ávidamente por el zooplancton u otros consumidores y sus poblaciones sobreviven gracias a que poseen varios mecanismos de defensa para defenderse del herbivorismo.

Aquellas que como parte del fitoplancton viven en la columna de agua y además son pequeñas, logran evitar que sus poblaciones sean diezmadas mediante alguna de las siguientes estrategias: modificando su ciclo de vida, de manera que sólo se presentan en las estaciones del año cuando las poblaciones de depredadores disminuyen; reduciendo su tamaño y aumentando la velocidad de división celular, dificultando el ser encontradas y consumidas; modificando su forma y estructura, ya sea rodeándose de capas mucilaginosas, alargándose, aumentando el número de células en una colonia o bien desarrollando paredes celulares más duras o procesos espinosos en la superficie celular, de esta forma células pequeñas son percibidas de mayor tamaño por los herbívoros o al ser ingeridas obstruyen el tracto digestivo o simplemente pasan a través de él sin ser digeridas. Otras son capaces de evadir a sus consumidores al presentar movilidad gracias a la presencia de flagelos o ahuyentarlos gracias a la bioluminiscencia, o a la presencia de sustancias químicas (Graham & Wilcox, 2000).

Los envenenamientos se asocian con cambios de coloración del agua causados por los pigmentos contenidos en algas productoras de toxinas, cuyo número se ha acrecentado rápidamente debido a una elevada tasa de división y acumulación de individuos. Estas altas densidades celulares se deben comúnmente a la presencia en el agua de elevadas concentraciones de formas asimilables de nutrientes como nitró-



a) *Eudorina* colonia embebida en mucílago. <https://en.wikipedia.org/wiki/Eudorina>; b) *Ceratium*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Ceratium>; c) *Nannochloropsis*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/15_3klein2.jpg; d) *Pediastrum dúplex*. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Pediastrum_duplex.jpg



FAN toxico en Florida <https://www.usgs.gov/media/images/aerial-view-lake-okechobee>



Marea roja en Florida. <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/hab/gulf-mexico.html>

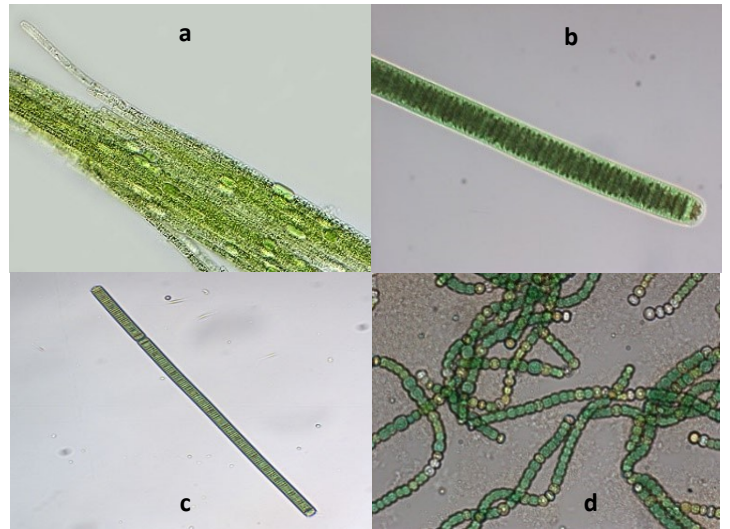


Consecuencias de los FAN. <https://www.whoi.edu/website/redtide/impacts/>



Marea verde causada por Ulvothrix. http://www.china.org.cn/government/focus_news/2008-07/04/content_15953482.htm.

geno y fósforo o vitaminas. Los cambios de coloración se conocen como mareas rojas, no obstante, las coloraciones que se pueden presentar pueden ser verdes, pardas, pardo amarillentas o rojas. El término que actualmente describe estos fenómenos es el de florecimiento algal nocivo (FAN). El número de especies capaces de causar florecimientos algales asciende a alrededor de 300, de ellas alrededor de 75 se conoce que producen toxinas (Hallegraef, 2003).

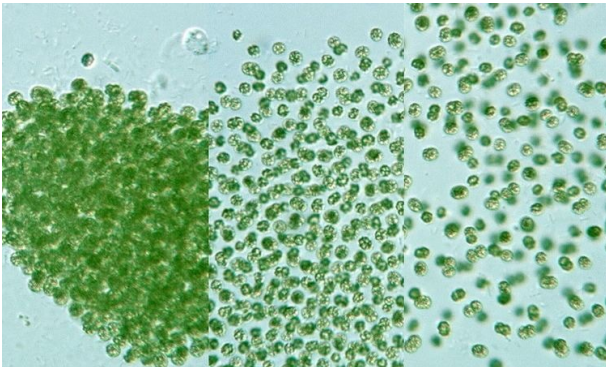


- a) *Aphanizomenon* http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_filaments/cyano_unbranched_fil/tapered_filaments/APHANIZOMENON/Aphanizomenon_Image_page.html.
- b) *Oscillatoria* <http://oceandatacenter.ucsc.edu/PhytoGallery/Freshwater/Oscillatoria.html>.
- c) *Planktothrix* <http://oceandatacenter.ucsc.edu/PhytoGallery/Freshwater/planktothrix.html>.
- d) *Nodularia* <http://oceandatacenter.ucsc.edu/PhytoGallery/Freshwater/Nodularia.html>

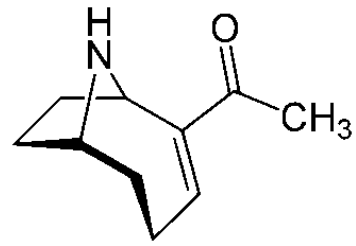
Más de 40 especies de cianobacterias se ha demostrado o sospecha que producen una o más toxinas. Estas pertenecen a los géneros *Anabaena*^{1,2}, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Microcystis*^{1,2}, *Nodularia*, *Nostoc*², *Oscillatoria*², *Planktothrix*³ y *Synechococcus*¹. Las toxinas son de tres clases: endotoxinas lipopolisacáridas (LPS), hepatotoxinas causantes de tumores (HT) y neurotoxinas (NT).

Las toxinas LPS se presentan dentro de las envolturas celulares de algunas cianobacterias¹, son similares, pero de menor toxicidad que las LPS de bacterias patógenas como *Salmonella* y se les asocia con casos de fiebre e inflamaciones en personas que se han bañado o duchado con agua donde ha ocurrido algún FAN cianobacterial.

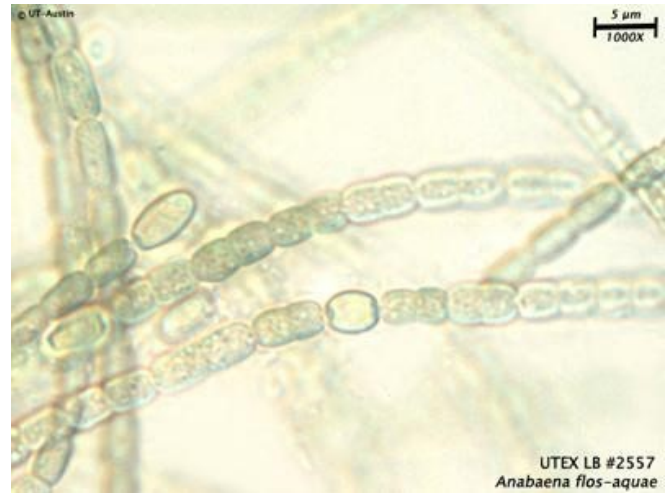
Las HT se asocian con casos de envenenamiento por toxinas de cianobacterias² que crecen en depósitos de agua potable. Los síntomas que presentan anima-



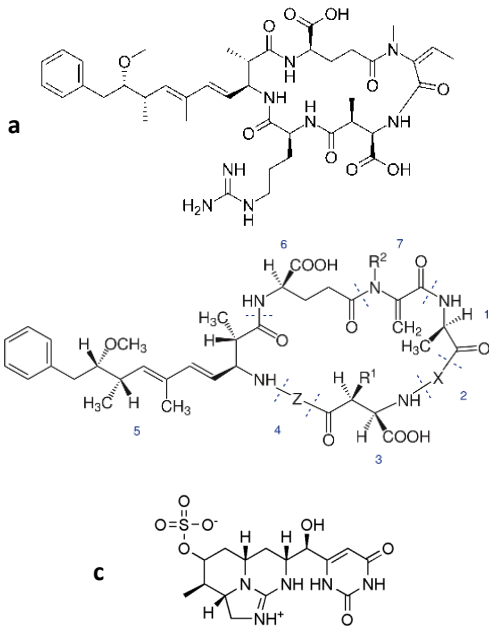
Microcystis. <https://alchetron.com/Microcystis>



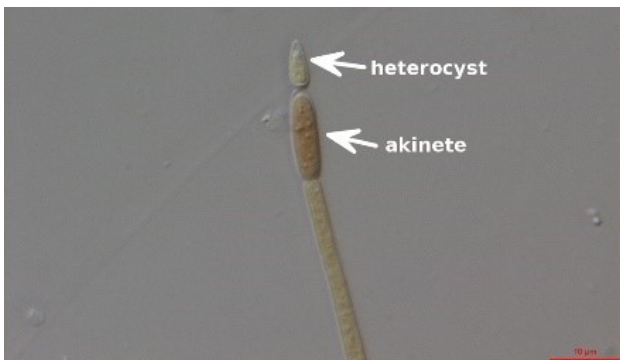
Anatoxina a <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Anatoxin-a.svg>



Anabaena flos-aquae. <https://utex.org/products/utex-2557?variant=30991178760282>



a) Nodularina https://en.wikipedia.org/wiki/Nodularin#/media/File:Nodularin_R.svg. **b) Microcistina.** https://es.wikipedia.org/wiki/Microcistina#/media/Archivo:Microcystins_general_structure.svg. **c) Cylindrospermopsina.** https://en.wikipedia.org/wiki/Cylindrospermopsin#/media/File:Cylindrospermopsin_structure2.png



Cylindrospermopsis. https://www.inaturalist.org/guide_taxa/707295

les silvestres y domésticos envenenados de esta forma incluyen debilidad, dificultad para respirar, palidez, enfriamiento de las extremidades, vómito, diarrea y sangrado hepático masivo. La muerte puede presentarse a las 2-24 h de la ingestión. En humanos la ingestión puede causar los síntomas o el beber esta agua aumentar la probabilidad de desarrollar cáncer hepático. Las HT son péptidos cíclicos que inhiben las fosfatasa hepáticas, incluyen la microcistina (heptapéptido) y la nodularina (pentapéptido). La primera puede perdurar por dos o más semanas en el agua hasta degradarse por bacterias (Sphingomonas). Las plantas potabilizadoras de agua que utilizan carbón activado, cloración y ozonización pueden remover de un 80 a un 98% de la toxina, la cantidad que no es removida puede cuantificarse mediante ensayos por inmunoabsorción ligados a enzimas (ELISA). Los límites permitidos en el agua

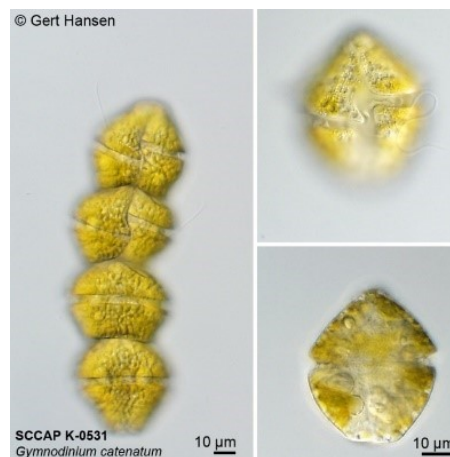
potable por la EPA en los Estados Unidos son de 0.3 µg por litro para microcistina y 0.7 µg por litro de cilindrospermopsina para menores de 5 años y 1.6 y 3.0 µg por litro para el resto de las edades. En el caso de agua de ambientes recreativos se aconseja que se coloque un aviso a los nadadores cuando el agua contenga más de 8 y 15 µg por litro de microcistina y cilindrospermopsina, respectivamente (CDC, 2018).

Las NT bloquean los canales de sodio de las membranas celulares musculares y nerviosas impidiendo la actividad neuromuscular. Ejemplos de ellas son la Anatoxina-a (un alcaloide de aminos secundarias) producido por ciertas cepas de *Anabaena flos-aquae* y otras cianobacterias³ y las saxitoxinas (una trialkil tetrahidropurina). Los síntomas de envenenamiento incluyen tambaleo, jadeo, convulsiones, cianosis y la muerte por arresto respiratorio en minutos u horas después de ingerir agua contaminada.

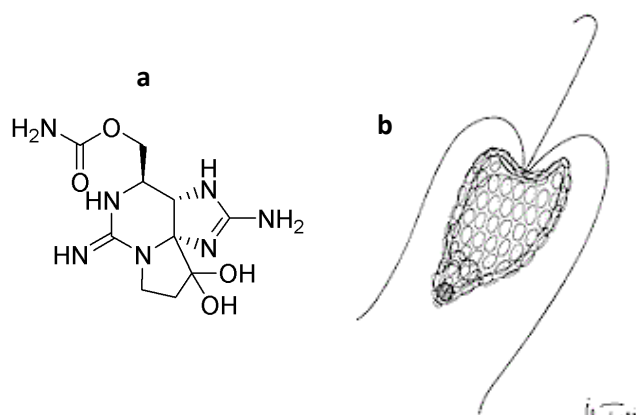
En el medio marino, las toxinas de los florecimientos algales nocivos debidas a algas eucariotas, pueden ocasionar la muerte masiva de vertebrados. Los peces mueren de asfixia al atravesar estas aguas debido a las neurotoxinas, la muerte de aves y ballenas ocurre cuando se han alimentado de peces como anchovetas o macarelas que a su vez han consumido algunas de las especies de algas tóxicas del fitoplancton (comúnmente diatomeas o dinoflagelados, ocrofitas o haptofitas). En el caso del hombre, la presencia de toxinas puede causar irritación de ojos y mucosas o enfermedades respiratorias por caminar en la playa, o casos más graves de envenenamiento debido al consumo de peces de lagunas arrecifales tropicales que a su vez se han alimentado de dinoflagelados (ciguatera) o bien, por el consumo de moluscos (ostión, almeja, mejillones y escalopas) en cuyos tejidos se han acumulado las toxinas, en cuyo caso se puede presentar envenenamiento neurotóxico, paralítico, amnésico o diarreico dependiendo del tipo de toxinas.



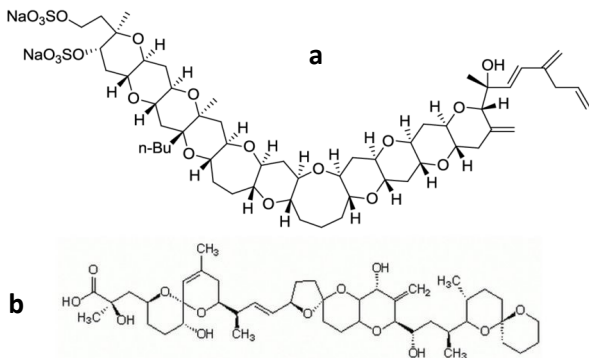
Alexandrium catenella <http://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=1033&pic=33859>



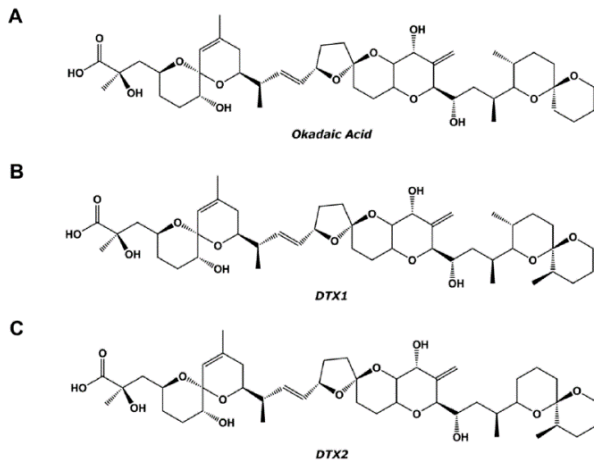
Gymnodinium catenatum <http://www.marinespecies.org/aphia.php?>



a) Saxitoxina CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=120823>.
b) *Chrysochromulina polylepis* https://www.eea.europa.eu/publications/report_2002_0524_154909/maps-and-graphs/N0_illustration_Chrysochromulina_polylepis.gif



a) Yessotoxina cianobacteriana https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-yessotoxin_fig3_275545836. b) Acido Okadaico <https://www.fishersci.com/shop/products/okadaic-acid-prorocentrum-sp/495604500ug>



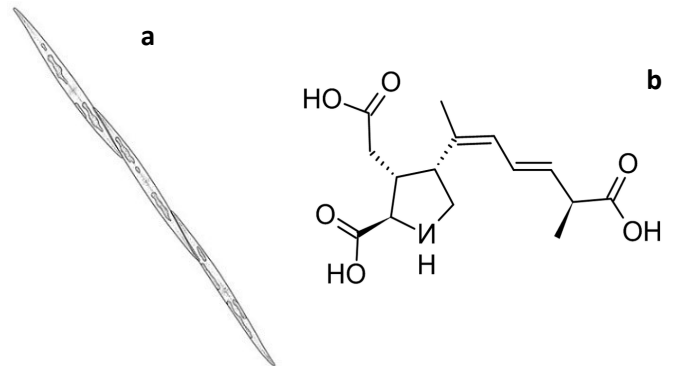
A) Estructura química del ácido okadaico. B) *Dinophysis* toxina 1 (DTX1). C) *Dinophysis* toxina (DTX2).



Dinophysis acuminata https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Dinophysis_acuminata.jpg

El envenenamiento paralítico puede deberse a saxitoxinas o brevitoxinas. Aunque de diferente estructura, ambas toxinas actúan de igual manera, causando parálisis al bloquear los canales de sodio neuromusculares y desacoplando su comunicación. Las brevitoxinas son producidas por especies de los dinoflagelados *Alexandrium*, *Gymnodinium catenatum* y *Pyrodinium bahamense*. Las saxitoxinas comprenden más de 18 compuestos, son similares a las de cianobacterias y son producidas entre otras algas, por varias especies de dinoflagelados, como *Alexandrium* o *Gonyaulax* y la haptofita *Chrysochromulina polylepis*. *A. tamarensis* se presenta en la costa del pacífico y noratlántica. El envenenamiento afecta a leones marinos, nutrias marinas, aves acuáticas, peces cangrejos, moluscos, zooplancton e invertebrados benthicos. Los síntomas aparecen rápidamente y duran pocos días en casos no letales, incluyen hormigueo, entumecimiento y ardor de la boca, ataxia, vértigo, somnolencia, fiebre, erupción cutánea, escalofríos y arresto respiratorio antes de 24 h. Aunque no hay antídoto la terapia de soporte lleva a recuperación completa en los sobrevivientes.

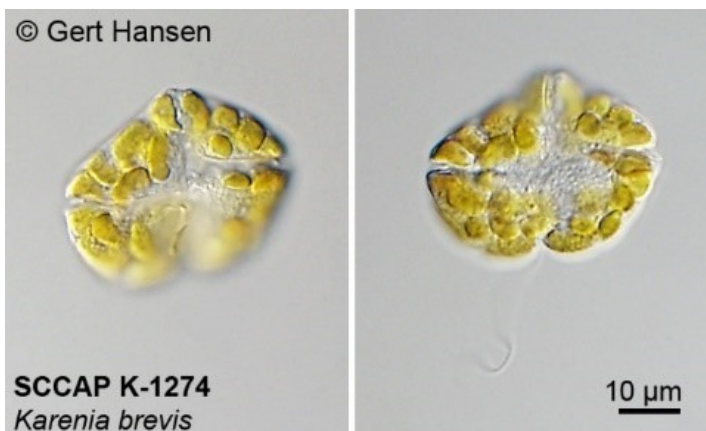
El envenenamiento diarreico no es mortal y es provocado por compuestos polieter, como el ácido okadaico (AO), la dinophysis toxina-1 (DTX-1) y yessoto-



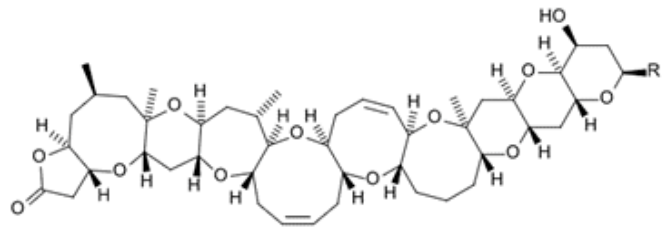
a) *Pseudo-nitzschia* <http://oceandatacenter.ucsc.edu/PhytoGallery/Diatoms/pseudo%20nitzschia.html>. b) Acido domoico https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Domoic_acid.png

xinas cianobacterianas. De igual manera a las hepatotoxinas de cianobacterias, estas toxinas son potentes inhibidores de fosfatasa serina- y treonina-específicas requeridas en procesos esenciales en eucariotas, de manera que se ha sugerido que ofrecen una ventaja competitiva a las algas que las producen (como los dinoflagelados *Prorocentrum lima* y 10 especies de *Dinophysis*), inhibiendo el crecimiento de otras algas que no. Los síntomas de envenenamiento inician a los 30 min o unas horas después del consumo de moluscos e incluyen diarrea, náusea, vómito y dolor abdominal. Se ha sugerido que la exposición crónica aumenta la probabilidad de cáncer en tracto digestivo. *Prorocentrum lima* y *D. ovum* se presentan en ostiones en el Golfo de México y otras especies de *Dinophysis* en ambas costas de Estados Unidos.

El envenenamiento amnésico o encefalopatía tóxica, al igual que el parálisis si es de riesgo mortal. Se debe al ácido domoico (AD), un tipo de neurotoxinas producidas por 5 especies de la diatomea *Pseudo-nitzschia* que se acumula en ciertos moluscos, cangrejos y peces. En mejillones, cuando su concentración alcanza 20 µg/g de tejido se declara su veda. 24 h después de consumir moluscos tóxicos se puede presentar náusea, vómito, dolor abdominal y diarrea y antes de 48 h mareos, dolor de cabeza, desorienta-



Karenia (Gymnodinium) brevis <http://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=1033&pic=33875>

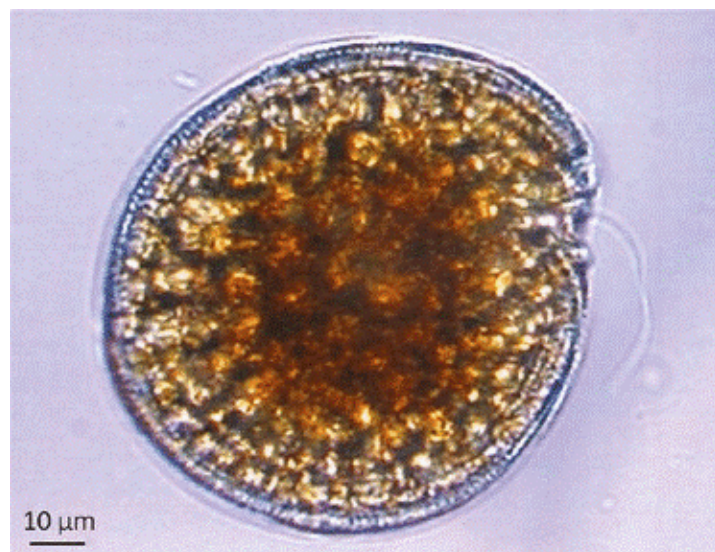
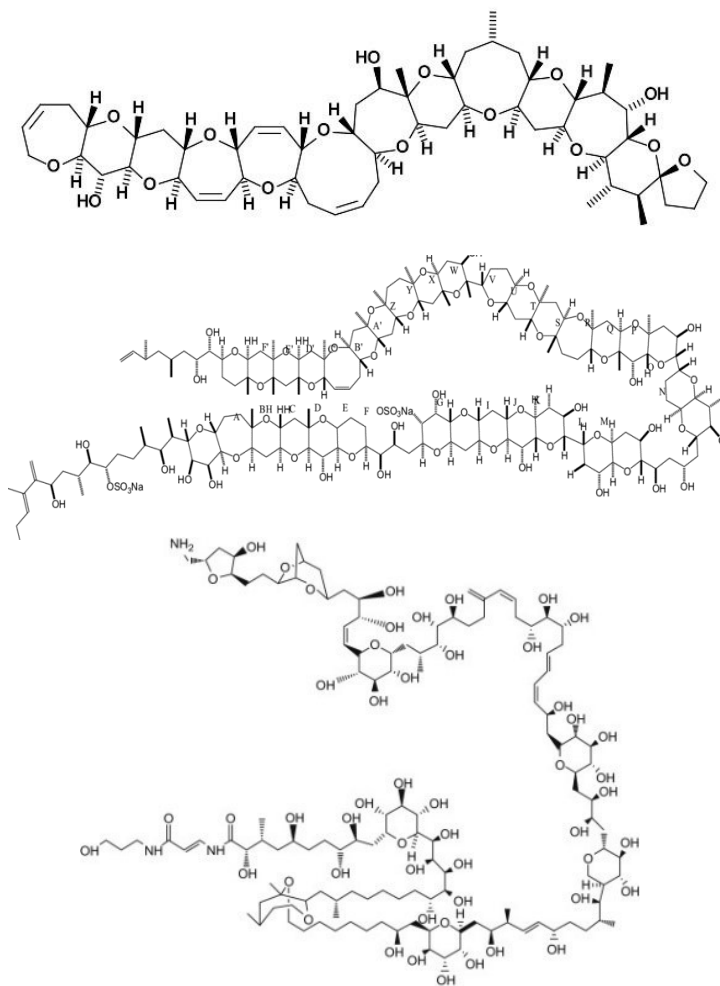


Brevetoxina https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Brevetoxin_A.svg

ción, pérdida de memoria a corto plazo, convulsiones, dificultad respiratoria y coma. El AD al unirse a los receptores de kainato causa la despolarización de las neuronas, su degeneración y muerte. El hipocampo es rico en receptores de kainato por lo que al lesionarse ha ocurrido la pérdida de memoria. Al menos en tres especies del dinoflagelado *Pfiesteria* se han detectado cepas cuya presencia se asocia con alta mortandad de peces y pérdida de memoria y dificultad para aprender en ratas y humanos, estos efectos se han atribuido a la presencia de toxinas, pero no se ha podido demostrar su existencia, excepto por una toxina de vida muy breve capaz de matar a peces generando radicales libres identificada en 2007.

El envenenamiento neurotóxico es causado por brevetoxinas y produce un síndrome casi idéntico al de la ciguatera pero más leve, con recuperación en pocos días y donde predominan síntomas gastrointestinales y neurológicos. Es producida por el dinoflagelado *Karenia brevis* en el Golfo de México y afecta a moluscos, peces, aves marinas, tortugas, manatíes y delfines. Aparte, el rocío del oleaje causa aerosoles que provocan síntomas parecidos al asma en humanos.

La ciguatera es causada por ciguatoxinas, como maitotoxina, ácido okadaico, análogos de palytoxina y otras producidas por dinoflagelados del género *Gambierdiscus* y probablemente especies de los géneros *Prorocentrum* y *Ostreopsis*, *Thecadinium*, *Coolia mo-*



Gambierdiscus spp. https://www.researchgate.net/figure/Gambierdiscus-spp-the-ciguatera-causing-dinoflagellate-seen-through-an-optical_fig1_309418826

Repercusiones socioeconómicas de la presencia de afloramientos algales nocivos

La presencia de espuma, esteras o nata de diferentes colores en el agua y los diferentes síntomas de enfermedad causados por toxinas se asocian con los FAN. Los impactos económicos derivados de estos fenómenos nacen de los costos asociados con enfermedades, cierres de pesquerías comerciales y mortalidades de peces, disminución del turismo y la recreación en playas, lagunas, estuarios, ríos y lagunas y los costos de monitoreo y manejo. Estos FAN pueden obstruir las vías de navegación, dañar el aspecto estético de playas y el agua, ahuyentar a bañistas y practicantes de deportes acuáticos, causar enfermedades a las poblaciones turísticas flotantes y las nativas de zonas afectadas y provocar mortalidades de especies pesqueras importantes o establecimiento de vedas para otras. El costo económico de los FAN asciende anualmente a millones de dólares en Estados Unidos, llegando a afectar primordialmente a las industrias pesquera y turística, al sector salud y gobierno. Esto explica porque tan sólo la Administración atmosférica y oceánica nacional (NOAA) del De-

- a) Ciguatoxina <https://alchetron.com/Ciguatoxin>. b) Maitotoxina de *Gambierdiscus toxicus* https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-maitotoxin-from-the-dinoflagellate-G-toxicus-120_fig3_23195382. c) Palytoxina <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/palytoxin>

notis y *Amphidinium carterae*. Los síntomas se presentan después de comer peces de arrecifes tropicales como barracuda, pargo, mero y loro, entre otros y son gastrointestinales, neurológicos y cardiovasculares. Estos incluyen diarrea, vómito, dolor abdominal, dolor muscular, comezón, mareo, sudoración, entumecimiento y hormigueo de la boca y dedos, inversión de la sensación térmica, debilidad severa, parálisis y muerte. La recuperación toma de 6 hasta 12 semanas para que desaparezca la comezón y el dolor.



Prorocentrum lima. <http://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=1033&pic=33860>

partamento de Comercio de ese país haya destinado 10.2 millones de dólares para la investigación de los FAN. En México es posible que llegue también a una cifra millonaria.

En octubre del 2014 con el financiamiento del CONA-CyT se fundó en México la Red FAN, donde participan los sectores académico, de salud pública, productor y gubernamental y cuyos objetivos son comprender las causas que originan los florecimientos algales nocivos marinos (FAN), su impacto en la salud pública y los ecosistemas, y proponer acciones de mitigación de sus efectos y planes para su manejo en el país. Las líneas generales de actividades de la Red son propuestas por un Comité Técnico Académico, conformado por investigadores miembros de la Red y adscritos a diferentes universidades y centros de investigación del país, entre otros CICESE, CIBNOR, CICY, IPN-CICIMAR, UCol, UV y UABC. El órgano de difusión de la Red es el boletín informativo, en cuyo número de diciembre de 2019 invita a participar en la próxima conferencia internacional sobre algas nocivas

(ICHA), que tendrá lugar del 11-16 de octubre del 2020 en La Paz, BCS.

Si bien los FAN ponen en riesgo la salud de la vida silvestre, los animales domésticos y el ser humano, el estudio de las aplicaciones de las ficotoxinas es un área de oportunidad promisorio. Basten algunos ejemplos de ello: en dinoflagelados, el ácido okadaico de *Dinophysis* se ha usado en estudios de los efectos terapéuticos de drogas antipsicóticas en el tratamiento de esquizofrenia e impedimento cognitivo; las pectentoxinas de este género han mostrado actividad citotóxica contra varias líneas celulares de cáncer, las toxinas de *Amphidinium* han mostrado actividad contra células L1210 de linfoma murino y KB de carcinoma epidermoide humano. La curacina A de la cianobacteria *Lyngbya majuscula* tiene actividad citotóxica contra líneas celulares L1210 de leucemia y su Kalkitoxina es una herramienta para entender la transmisión neural. Por otra parte, ciertos péptidos inhibidores de proteasas de cianobacterias como la aeruginosina de *Microcystis aeruginosa* que se detecta en FAN, podrían en un futuro cercano emplearse en el tratamiento de oclusiones arteriales coronarias, ataques cardíacos y enfisema pulmonar.

Referencias

- Centros para el control y prevención de enfermedades (CDC). (2018). Harmful Algal Bloom (HAB Associated Illness) En línea en [cdc.gov/habs/general.html](https://www.cdc.gov/habs/general.html) consultado el 2 de septiembre 2019
- Hallegraef GM. (2003). Harmful algal blooms: a global overview. In: Hallegraef GM, Andersen DM, Cembella AD, eds. Manual on harmful marine microalgae. Paris: UNESCO Publishing, 25-49.
- NOAA/CSCOR. (2019). Harmful Algae en línea en [whoi.edu/website/redtide/impacts/freshwater/](https://www.whoi.edu/website/redtide/impacts/freshwater/) consultada el 3 de septiembre 2019.
- RedFAN. (2020). En línea en <https://redfan.cicese.mx/Secciones/inicio> consultada el 25 de agosto 2019.