

Jorge Luis López Magaña, Mercedes Marlenne Manzano Sarabia,  
Miguel Ángel Hurtado Oliva, Pablo Piña Valdez, Óscar Ubisha Hernández Almeida,  
Óscar Guzón Zatarain y Francisco Eduardo Hernández Sandoval



# Fitoplancton: pequeños centinelas del océano

Últimamente se han observado cambios diversos en los ecosistemas marinos del mundo; cambios asociados no sólo a la actividad del ser humano, sino también a la variabilidad climática. Frente a esto se requiere establecer sistemas de monitoreo de los océanos y sus habitantes para identificar estas modificaciones de una manera rápida y establecer acciones de prevención y conservación. Una aproximación es mediante el estudio de especies centinela, es decir, aquellos organismos que por su presencia o ausencia en un hábitat particular –o por bioacumular contaminantes– indican la ocurrencia de cambios importantes en los ecosistemas. Tal es el caso del fitoplancton, los pequeños centinelas del océano.

**U**n centinela es definido como un soldado que vela guardando el puesto que se le encarga. En ecología, los organismos centinela son aquellos que pueden ayudar a identificar riesgos o cambios ambientales en un ecosistema.

A lo largo de los años, los científicos han utilizado diferentes especies vegetales y animales para identificar cambios inmediatos o de largo plazo en ecosistemas marinos y terrestres. Los mamíferos marinos, por ejemplo, las ballenas, han sido utilizados como especies centinela para evaluar la condición de salud del ecosistema oceánico, ya que al ser organismos de larga vida, residentes permanentes o estacionales de las zonas costeras, pueden brindar información relevante sobre la acumulación de contaminantes diversos, principalmente en sus importantes reservas de grasa. Estos efectos en la biota marina podrían llegar también a los seres humanos, que aprovechan diversos recursos (peces, camarones, algas, etc.) del mismo hábitat.



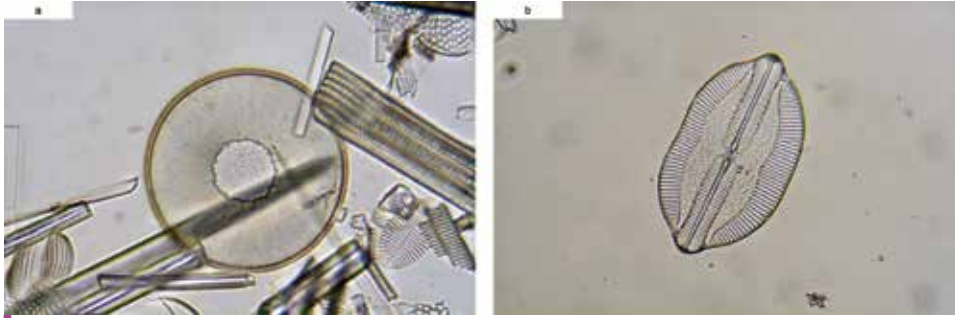
**Figura 1.** Las ballenas se han utilizado como especies centinela para evaluar la condición de salud del ecosistema oceánico. Ballena jorobada, *Megaptera novaeangliae*, en la zona costera de Mazatlán, Sinaloa. Crédito: Óscar Guzón Zatarain, Onca Exploraciones, 11 de enero de 2011.

El presente artículo se centra en otro grupo de especies centinela: el fitoplancton, organismos microscópicos que constituyen el primer nivel trófico de los océanos; en otras palabras, son la base que sustenta de manera directa o indirecta la vida del resto de los organismos marinos, además de tener una participación fundamental en el ciclo del carbono. Al ser organismos autótrofos —es decir, que realizan fotosíntesis—, se encuentran en la zona superficial de los océanos y hasta la región donde penetran los rayos solares (0-200 m), conocida como *capa eufótica*. Para su supervivencia, este grupo depende de manera significativa de diferentes procesos físicos y químicos, como corrientes marinas, surgencias de aguas profundas ricas en nutrientes hacia la superficie, salinidad, disponibilidad de nutrientes o luz, entre otros.

Cuando las condiciones son ideales para su desarrollo, el fitoplancton tiende a incrementar su abundancia, lo cual se conoce como *floreCIMIENTO algal*. Éstos pueden llegar a ser nocivos cuando proliferan especies que producen compuestos como amonio, mucílago, espumas, polisacáridos, alelopáticos y toxinas marinas, por ejemplo, saxitoxina, brevetoxinas, ciguatoxinas, azaspirácidos, diarreicas, amnésicas, espirolidos, palytoxinas, pinnatoxinas, gymnomidinas, entre

otras, las cuales al ser ingeridas por otros organismos —incluidos los seres humanos— pueden causar daños diversos o incluso la muerte en casos extremos. A estos eventos se les conoce como mareas rojas o florecimientos algales nocivos.<sup>1</sup> Por ejemplo, las toxinas llamadas paralizantes (TP), que incluyen alrededor de 50 tipos y entre las que se encuentra la denominada saxitoxina (STX), presente en la especie *Gymnodinium catenatum* y otras del género *Alexandrium* spp., ocasionan un síndrome neurotóxico conocido como envenenamiento paralizante por consumo de mariscos contaminados, el cual provoca síntomas que van desde una sensación de entumecimiento de lengua y labios, hasta náusea, vómito y, en casos extremos, la muerte por paro respiratorio. Por otra parte, algunos florecimientos no se caracterizan por contener toxinas; sin embargo, su alta abundancia puede ocasionar anoxia (condiciones de baja concentración de oxígeno) y ocasionar la muerte de otras especies (por ejemplo, las branquias de los peces pueden obstruirse por la abundancia de esos microorganismos). Diversos autores indican que la proliferación de estos eventos se relaciona con anomalías

<sup>1</sup> Éstos no se refieren exclusivamente a algas y no siempre ocurren como floraciones tóxicas.



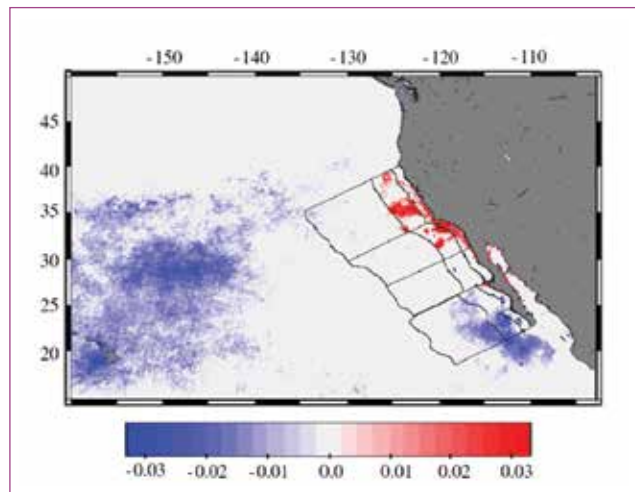
**Figura 2.** Algas diatomeas que forman parte de los floraciones nocivas de microalgas. A) *Hyalodiscus cf. scoticus*. B) *Lyrella clavata fo. granulata*.

climáticas, por lo que el seguimiento de los cambios en la distribución y composición del fitoplancton, así como de los cambios ambientales en el medio oceánico, puede permitir el desarrollo de una “cierta” capacidad predictiva para establecer sistemas de monitorización ambiental junto con medidas preventivas y correctivas ante este tipo de eventos (Sierra Beltrán, 2000); es decir, se puede utilizar al fitoplancton como un centinela o indicador de la condición de salud del ecosistema.

Los fenómenos climáticos como El Niño, el calentamiento global, y efectos como la acidificación y la eutrofización del océano, son temas recurrentes entre la comunidad científica internacional, especialmente en el contexto de los cambios que ocasionan en los ecosistemas. El fitoplancton, al ser el primer nivel trófico en el océano, es también el primer componente biótico que responde a estas variaciones. Diversos autores han reportado en las últimas décadas cambios importantes en este grupo (utilizando como indicador la clorofila *a*, su principal pigmento fotosintético). Los estudios han identificado desde disminuciones significativas en áreas oceánicas (Behrenfeld y cols., 2006), atribuidas a condiciones cálidas, hasta tendencias positivas en la zona costera, donde se ha observado un incremento significativo en los máximos anuales de la biomasa fitoplanctónica en los últimos años (Kahru y cols., 2009 y 2012; véase la Figura 3). Esto podría relacionarse con cambios en los patrones de vientos al promover surgencias, o por aportes de nutrientes derivados de varias fuentes continentales.

Los cambios en el ambiente oceánico no sólo se reflejan en variaciones de la abundancia del fitoplancton,

sino también en su ocurrencia temporal. Por ejemplo, se ha identificado que los florecimientos estacionales de fitoplancton en el Ártico se han adelantado 50 días en los últimos años, en respuesta también a un cambio en el inicio de la temporada de deshielos (Kahru y cols., 2010; véase la Figura 4). Esta situación puede afectar la estructura trófica de este frágil ecosistema, ya que diversos productores secundarios (algunas especies de zooplancton como el krill, que son principal alimento de ciertas especies de ballenas) han adaptado diferentes estrategias reproductivas que coinciden con el tiempo de ocurrencia de máxima abundancia del fitoplancton; de tal manera que cuando falla el acoplamiento entre estos dos componentes bióticos se registra una falla tanto a nivel de ecosistema como a nivel económico, pues se ven afectadas especies signi-



**Figura 3.** Áreas que muestran zonas de cambio (tendencias positivas en rojo, tendencias negativas en azul) en la clorofila *a* (fitoplancton) a partir de múltiples sensores remotos (Kahru y cols., 2012).



**Figura 4.** Pérdida de cobertura de hielo en el Ártico en 2012, en comparación con la extensión mínima promedio durante el periodo de 1979 a 2010 (color amarillo). Crédito: NASA.

### Tres principales ideas a destacar

1. El fitoplancton está compuesto de microorganismos autótrofos y es la base de la cadena trófica de los océanos, por lo que los cambios en su composición o concentración son de gran relevancia ecológica.
2. El fitoplancton puede usarse como grupo centinela, ya que sirve de indicador de la condición biológica y de salud de los océanos. Debido a su alta susceptibilidad a la variabilidad climática se observan adelantos o atrasos en sus ciclos estacionales, así como cambios en su concentración o composición.
3. Los sensores remotos nos han ayudado a comprender procesos físicos y biológicos a micro y macro escala, por lo que nos ayudan a entender aún mejor los cambios de la productividad primaria en determinada región.

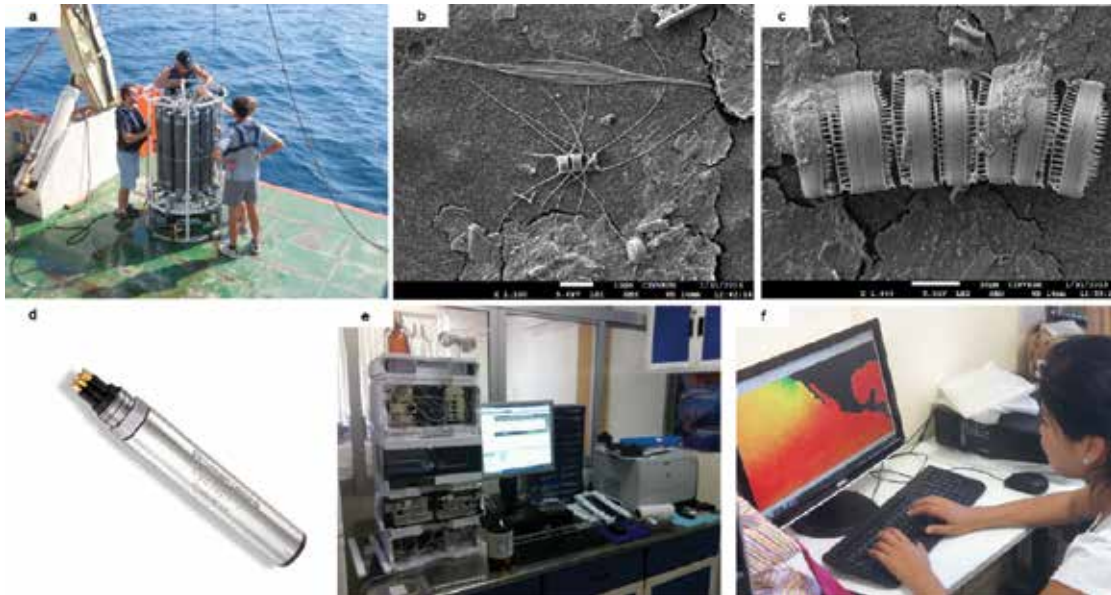
ficativas como las ballenas y también otras de importancia económica para el ser humano, por ejemplo, peces como las sardinas y macarelas.

Otro efecto del calentamiento global sobre el fitoplancton es la disminución en su tamaño. Se ha observado que el aumento de la temperatura del agua tiene como consecuencia la disminución de hasta cuatro veces el tamaño promedio del fitoplancton. Este tipo de cambios tiene profundos impactos en las cadenas tróficas marinas, pues si cambian los grupos que predominan en el fitoplancton (generalmente de diatomeas-dinoflagelados a nanoflagelados-cianobacterias) también cambia la biomasa que se genera. Simultáneamente, la disminución del tamaño del fitoplancton afecta también a sus consumidores; en otras palabras, de acuerdo con su tamaño, el fitoplancton es consumido por distintos grupos de zooplancton, por lo que el cambio de tamaño tiene como consecuencia un cambio en sus depredadores y, por lo tanto, la biomasa de los consumidores también disminuye; se genera así un efecto de cascada en las redes tróficas (Arbones y cols., 2008; Finkel y cols., 2009).

### ¿Cómo estudiar al fitoplancton?

El océano es el ecosistema más grande del planeta, y aún se desconoce mucho sobre su dinámica, así como de sus habitantes. Recientemente, la expedición multinacional Tara, después de navegar por cuatro años (2009-2013) por diferentes regiones oceánicas del mundo (210 sitios) y obtener muestras de plancton (desde virus hasta pequeños organismos de zooplancton con tamaños desde 0.02  $\mu\text{m}$  a algunos milímetros) recolectadas en profundidades superficiales y hasta de 2 000 m, reportó nuevos hallazgos respecto al plancton en general. Con ello, pudo integrarse un catálogo con más de 40 millones de genes, donde una porción importante son nuevos registros para la ciencia (Bork y cols., 2015). Este hallazgo denota que la biodiversidad del plancton es mayor a lo que previamente se conocía. Por esta razón es importante que un número mayor de grupos científicos una esfuerzos en vías de incrementar el conocimiento sobre el océano y su biodiversidad.

Para el estudio del fitoplancton, los investigadores recolectan muestras de agua de mar que posteriormente



**Figura 5.** a) Toma de muestras de agua en el océano. Crédito: M. Manzano. b) Microfotografías de microscopía electrónica de barrido de *Chaetoceros closterium* y *Cymatosira lorenziana*. Crédito: Ó. Ubisha. c) Fluorómetro. Crédito: Turner Designs. d) Cromatógrafo de líquidos de alta resolución. Crédito: M. Manzano. e) Análisis de imágenes satelitales. Crédito: M. Manzano.

analizan en el laboratorio o a bordo de la embarcación (si cuentan con el instrumental adecuado y dependiendo del objetivo del análisis). Entre los métodos directos se encuentran las técnicas de microscopía óptica, que permiten la identificación taxonómica de las especies de acuerdo con diferentes características morfológicas. Con equipos más especializados aún, como los microscopios electrónicos de barrido, es posible realizar una observación más detallada de los organismos para su correcta identificación taxonómica. Por otra parte, con respecto a las técnicas indirectas, varias de ellas se basan en el análisis de la composición de pigmentos para inferir la composición y abundancia del fitoplancton. La fluorescencia de pigmentos es una técnica muy sensible que proporciona una estimación de la biomasa fitoplanctónica a partir de la emisión de luz por parte del instrumento o fluorómetro a diferentes longitudes de onda que excitan los pigmentos del fitoplancton, donde una vez cuantificada la intensidad y medición del espectro, es posible identificar la composición de los grupos de fitoplancton. Las técnicas de citometría de flujo no pueden emplearse en muestras grandes de fitoplancton y requieren un amplio entendimiento de las características ópticas de las especies; sin embargo, permiten la determinación simultánea de múltiples

características físicas de una sola célula. La cromatografía líquida de alta resolución (*high pressure liquid chromatography*) es una técnica de referencia para el análisis de pigmentos fotosintéticos como la clorofila *a*, así como para la identificación de formas degradadas y otros pigmentos asociados al fitoplancton, como los carotenoides, lo que permite determinar la presencia y abundancia de diferentes grupos de algas.

El estudio de la dinámica de los océanos a partir de sensores remotos se considera un parteaguas en la oceanografía física y biológica, ya que ha permitido comprender procesos que operan en la escala local, regional y global. Si bien los muestreos *in situ* brindan información de primer orden sobre la dinámica del fitoplancton, las grandes variaciones en espacio y tiempo de estos grupos sólo pueden ser cuantificadas a partir de la percepción remota del océano a través de la estimación de la clorofila *a* por medio de algoritmos específicos. Hasta hace un par de años, el acceso a la información satelital para realizar estudios en el área de ciencias de la tierra estaba restringido a científicos u oficinas gubernamentales, dada la complejidad y el costo de manejo de tales recursos. Sin embargo, con los avances logrados en el desarrollo de sistemas de cómputo, es posible realizar múltiples procesos en

fracciones de segundo, algo difícil de lograr hace unas décadas. Aunado a ello, el acceso a diferentes bases de datos satelitales también se ha facilitado, por lo que actualmente la información satelital debe ser integrada en el contexto de diferentes disciplinas.

### **Perspectivas**

A partir de diferentes estudios reportados en la literatura científica, se ha identificado la necesidad de establecer investigaciones continuas en espacio y tiempo que permitan conformar redes de observación del océano. Si bien existen diferentes esfuerzos de varias instituciones a lo largo del país, aún se requiere incrementar el número de consorcios científicos enfocados en el estudio de los ecosistemas marinos. Ello impactaría en un mayor conocimiento local y regional sobre la dinámica de las especies centinela, como el fitoplancton, así como de los procesos ambientales que la modulan. A partir de fondos de capital semilla aportados por diferentes instituciones,<sup>2</sup> ha sido posible iniciar un sistema de monitorización mensual de la plataforma continental del sur de Sinaloa, el cual integra el estudio de las condiciones ambientales, así como de diferentes grupos centinela –fitoplancton, zooplancton y cetáceos–. Estos esfuerzos han permitido sentar una línea base para identificar posibles cambios a futuro en este importante ecosistema marino.

**Jorge Luis López Magaña** es Ingeniero en Biotecnología titulado por la Universidad Politécnica de Sinaloa, con Maestría en Ciencias del Mar con especialidad en Química Acuática por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente realiza estudios de Doctorado en Ciencias en Recursos Acuáticos en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.  
jorge\_lmg87@hotmail.com

<sup>2</sup> El Instituto para México y Estados Unidos de la Universidad de California, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Universidad Autónoma de Sinaloa, el Programa ECOS NORD (México-Francia), la Universidad Autónoma de Nayarit y el Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste. La operación en campo se realiza en colaboración con la empresa ecoturística Onca Exploraciones, la cual además cuenta con un programa de seguimiento de otras especies centinela, particularmente mamíferos marinos, desde 2006.

**Mercedes Marlenne Manzano Sarabia** es profesora e investigadora de tiempo completo, adscrita a la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa y responsable del Laboratorio de Ecosistemas y Variabilidad Climática. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Sus líneas de investigación se centran en el estudio de ecosistemas terrestres-marinos y el impacto de la variabilidad climática.

mmanzano@uas.edu.mx

**Miguel Ángel Hurtado Oliva** es profesor e investigador de tiempo completo, adscrito a la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Licenciatura en Oceanología; Maestría y Doctorado en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Su línea de investigación está enfocada en la fisiología de organismos acuáticos.

mholiva@uas.edu.mx

**Pablo Piña Valdez** es profesor e investigador de tiempo completo, adscrito a la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Biólogo pesquero titulado por la Universidad Autónoma de Sinaloa, con Maestría en Ecología Marina por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada y Doctorado en Ciencias Pecuarías en la Universidad Autónoma de Nayarit.

pablopina@live.com.mx

**Óscar Ubisha Hernández Almeida** es profesor investigador tiempo completo, adscrito a la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Nayarit. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Biólogo Marino, con Maestría en Manejo de Recursos Marinos y Doctorado en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional.

ubisha78@hotmail.com

**Óscar Guzón Zatarain** es fundador y director de la empresa Onca Exploraciones desde 2006. Oceanólogo titulado por la Universidad Autónoma de Baja California y Maestro en Ciencias en Ecología Marina por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación sobre ecología poblacional de cetáceos en México y Canadá. Actualmente dirige un programa de monitorización de cetáceos y otra mega fauna marina en Mazatlán (Sinaloa) mediante la fusión del ecoturismo y la ciencia ciudadana.

oscarguzon@gmail.com

**Francisco Eduardo Hernández Sandoval** es académico de tiempo completo, adscrito al programa de Planeación Ambiental y Conservación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Ingeniero Bioquímico en Alimentos titulado por el Instituto Tecnológico de La Paz, Maestro en Manejo de Recursos Marinos y Doctor en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas.

fhernan04@cibnor.mx

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los proyectos PROFAPI 2014-UAS/121, PROFAPI 2014/089, Infraestructura-CONACYT-188065, UC-MEXUS-CONACYT, Programa SEP-CONACYT-ANUIES-ECOS NORD Francia; al programa de Estancias Posdoctorales Nacionales-CONACYT por el apoyo a Óscar Ubisha Hernández Almeida; y a los proyectos FOMIX-CONACYT 2008-108160 y CONACYT LAB-2009-01 núm. 123931, por la facilidad en la obtención de las imágenes de las especies de fitoplancton. Asimismo, a las técnicas de microscopía electrónica Dora Huerta y Ana Ruth Cristóbal, del Laboratorio Nacional para el Análisis de Nano y Biomateriales del Cinvestav-Unidad Mérida.

### Lecturas recomendadas

- Arbones, B., C. Castro, F. Alonso Pérez y F. Figueiras (2008), "Phytoplankton size structure and water column metabolic balance in a coastal upwelling system: the Ría de Vigo, NW Iberia", *Aquatic Microbial Ecology*, 50:169-179.
- Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley, D. A. Siegel *et al.* (2006), "Climate-driven trends in contemporary ocean productivity", *Nature*, 444:752-755.
- Bork, P., C. Bowler, C. de Vargas *et al.* (2015), "Tara Oceans studies plankton at planetary scale", *Science*, 348 (6237):873-875.
- Finkel, Z. V., J. Beardall, K. J. Flynn *et al.* (2009), "Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry", *Journal of Plankton Research*, 32: 119-137.
- Kahru, M., R. Kudela, M. Manzano Sarabia y B. G. Mitchell (2009), "Trends in primary production in the California Current detected with satellite data", *Journal of Geophysical Research*, 114:C02004.
- Kahru, M., V. Brotas, M. Manzano Sarabia y B. G. Mitchell (2011), "Are phytoplankton blooms occurring earlier in the Arctic?", *Global Change Biology*, 17:1733-1739.
- Kahru, M., R. Kudela, M. Manzano Sarabia y B. G. Mitchell (2012), "Trends in the surface chlorophyll of the California Current: Merging data from multiple ocean color satellites", *Deep Sea Research*, 2:89-98.
- Sierra Beltrán, A. P. (2000), "Posibilidades para el monitoreo ambiental y biológico en BAC mexicanos como una estrategia para la prevención, detección y mitigación de floraciones algales nocivas", en D. Lluch Belda, J. Elourduy Garay, S. E. Lluch Cota y G. Ponce Díaz (comps.), *BAC, Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*, México, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., pp. 29-48.
- Turner Designs (2016), "Cyclops-7™ Submersible Sensors", *Turner Designs*. Disponible en: <<http://www.turnerdesigns.com/products/submersible-fluorometer/cyclops-7-submersible-fluorescence-and-turbidity-sensors>>, consultado el 27 de julio de 2015.
- Viñas, M. J. (2012), "Opposite Behaviors? Arctic Sea Ice Shrinks, Antarctic Grows", *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Disponible en: <<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic-antarctic-ice.html>>, consultado el 2 de junio de 2015.





