

Fitoplancton desde el espacio: más visible que nunca

Katherine Gallego Hurtado

Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental

katherine.gallego@udea.edu.co

Luisa Yepes Pino

Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental

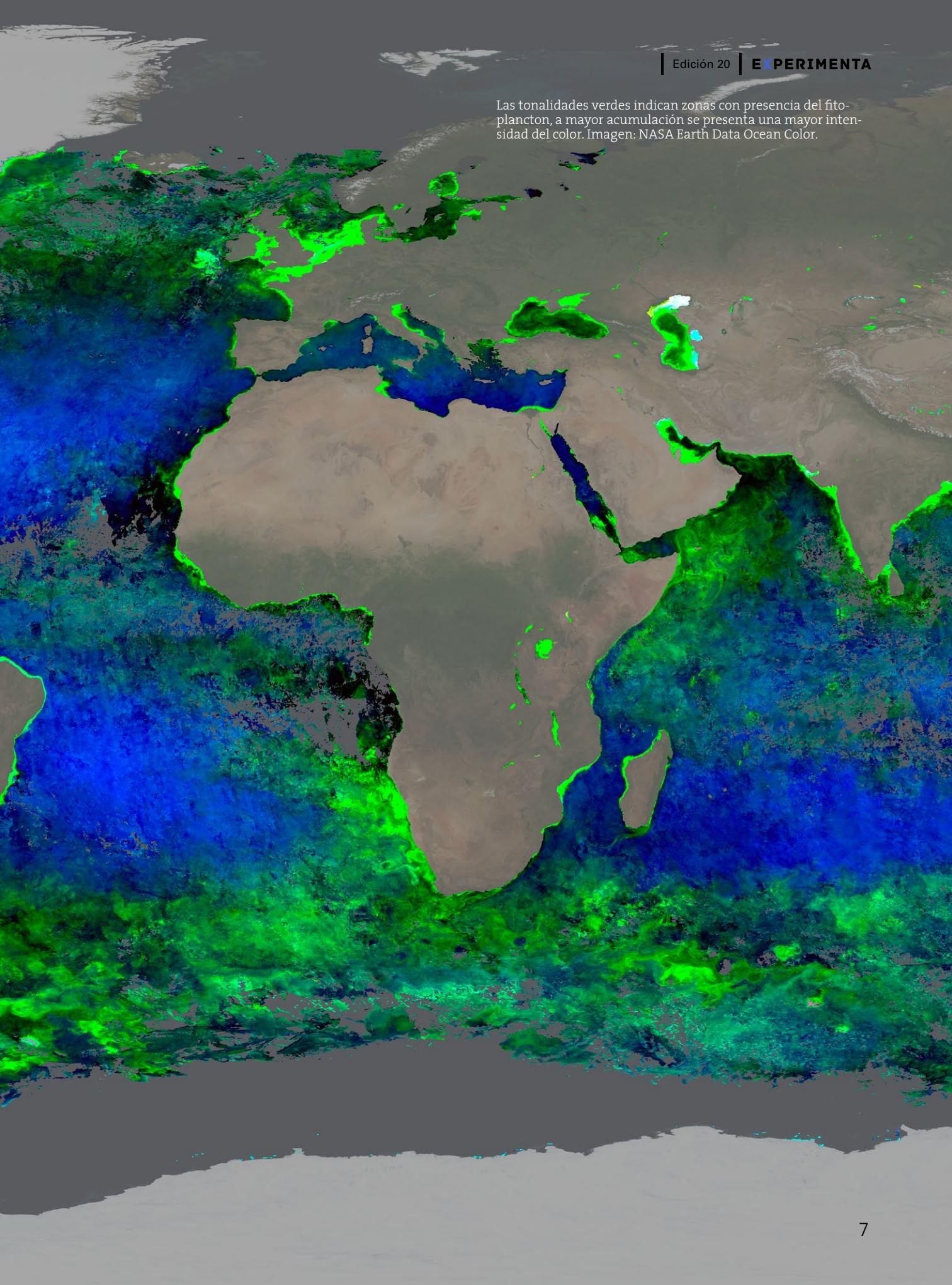
luisa.yepesp@udea.edu.co

Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental

— GAIA —

Diminutos organismos como el fitoplancton han modelado la vida en la Tierra durante millones de años. Hoy los observamos desde el espacio gracias a la tecnología satelital para entender si las floraciones de este organismo son sensibles o no a la variabilidad climática natural.

Las tonalidades verdes indican zonas con presencia del fitoplancton, a mayor acumulación se presenta una mayor intensidad del color. Imagen: NASA Earth Data Ocean Color.



«Animáculos» o «animales que flotan libremente y habitan el mar abierto» o «eflorescencia peluda»: a lo largo de la historia, exploradores y naturalistas han nombrado así a estos diminutos organismos, hoy llamados fitoplancton, que en su vasta pero casi invisible ocupación del océano y otros cuerpos de agua han supuesto tantos retos en su comprensión como en su detección a gran escala.

El fitoplancton, que incluye un grupo amplio de microorganismos acuáticos como algas y cianobacterias, tiene altísima importancia ecológica en nuestro planeta: estos pequeños pero abundantes organismos han llegado a cambiar por completo la atmósfera de la Tierra. Suministran de materia orgánica la vida acuática, y además, contribuyen a la captura de CO₂ tanto en lagos, ríos y humedales como en el océano. A través de los pigmentos presentes en su anatomía, como la clorofila-a y la ficocianina, el fitoplancton puede absorber este gas de la atmósfera en un nivel equivalente al de los bosques, liberando oxígeno en el proceso. También contribuyen al equilibrio de las redes alimentarias acuáticas, al ser la fuente primaria de alimento para una gran diversidad de organismos.

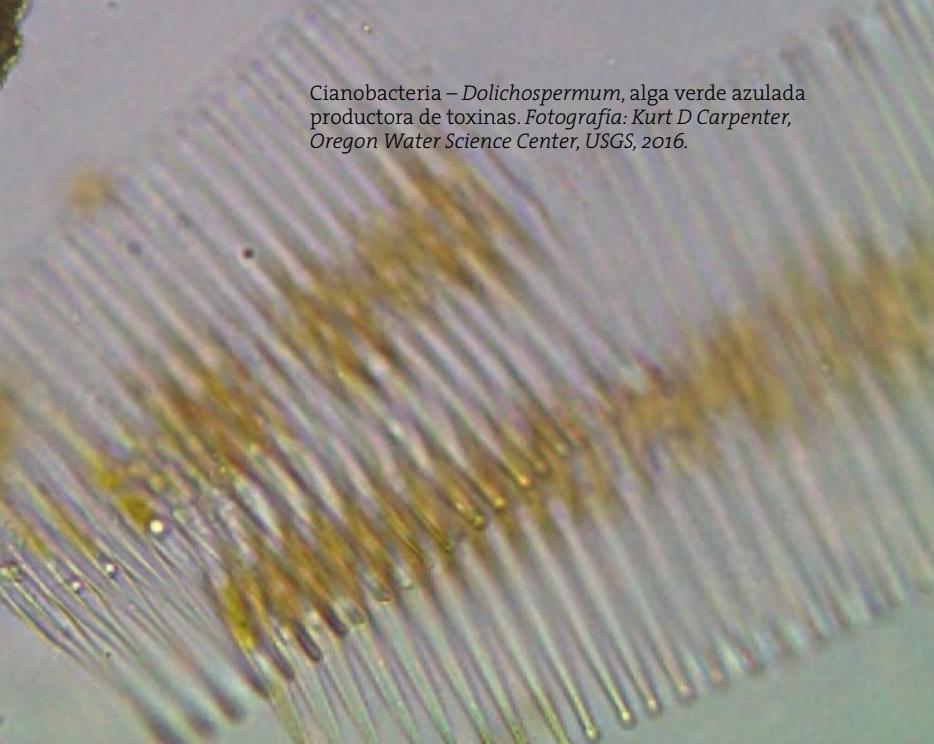


Floraciones del fitoplancton: señales de un ecosistema en desequilibrio

En los ecosistemas acuáticos, el fitoplancton también puede tener un impacto negativo. Imagina un escenario en que el fitoplancton se encuentra en aguas afectadas por frecuentes eventos extremos como el aumento de lluvias o sequías prolongadas, asociadas a fenómenos climáticos naturales como El Niño y La Niña¹. Por un lado, las lluvias intensas arrastran nutrientes como nitrógeno y fósforo desde tierras agrícolas y urbanas hacia cuerpos de agua —como lagos, ríos, humedales— y zonas costeras. Por otro lado, en períodos de sequía, la temperatura aumenta y las aguas se tornan más cálidas. A su vez, el flujo de agua disminuye y concentra estos nutrientes. En ambos casos, se pueden crear condiciones que impulsan el crecimiento descontrolado de fitoplancton en cortos períodos de tiempo, dando lugar a un fenómeno conocido como floraciones de fitoplancton.

Este fenómeno tiene muchas implicaciones para los ecosistemas, porque disminuye el ingreso de la luz solar, genera cambios de sabor y olor del agua y puede alterar su pH. Adicionalmente, dentro de los efectos más importantes se encuentra que varias de las especies de fitoplancton asociadas a este fenómeno producen toxinas que pueden afectar la salud animal y humana.

¹ El Niño y La Niña son fases opuestas del fenómeno climático natural El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), que ocurre de manera cíclica y afecta el clima global al modificar los patrones de temperatura y circulación atmosférica en el océano Pacífico. El Niño se caracteriza por un calentamiento anómalo del Pacífico ecuatorial, lo que provoca sequías en la zona andina de Colombia. La Niña, en contraste, enfriá estas aguas y genera efectos opuestos, lo que intensifica las precipitaciones.



Por esta razón, monitorear el fitoplancton es de suma importancia para la gestión integral del agua. Sin embargo, este fenómeno es difícil de estudiar a gran escala, especialmente si se necesita abarcar grandes extensiones de agua, pues implica altos costos de recolección y procesamiento de las muestras, así como la necesidad de personal experto en su identificación. Por esto, se han buscado otras alternativas de monitoreo que superen estas limitaciones y, además, permitan responder preguntas como *¿cuál es su distribución y qué dispara su crecimiento?, ¿cuál es la relación de estas floraciones con los fenómenos climáticos naturales de gran escala como El Niño y La Niña?*

Fitoplancton, desde un nuevo punto de vista

La teledetección satelital es una técnica que permite a los investigadores superar ciertas limitaciones espaciales, temporales y económicas de los métodos de monitoreo de campo. Estos últimos implican la toma de muestras puntuales utilizando técnicas de fluorometría y microscopía in situ que pueden resultar complejas y requerir de personal experto. En contraste, la teledetección permite estudiar y comprender las respuestas de las floraciones a la variabilidad climática natural y su impacto sobre los ecosistemas al permitir abarcar todo un cuerpo de agua con una frecuencia aceptable ($\pm 5 - 10$ días), algo impensable desde los monitores de campo. Esta herramienta consiste en captar información de la superficie terrestre desde sensores ubicados en satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Los sensores satelitales detectan la intensidad de los pigmentos del fitoplancton, que ayudan a identificar su abundancia, frecuencia y distribución espacial.

¿Cómo funciona este proceso? Partimos de que todas las cosas en la Tierra absorben y reflejan la radiación solar. La medida y la forma en que estos procesos ocurren dependen de la interacción entre las superficies y la luz. Así como nuestra huella dactilar es un atributo de identificación individual, en cada superficie terrestre que interactúa con la luz se revela una huellapectral distintiva. Los satélites pueden capturar imágenes que detectan la huella de los pigmentos presentes en el fitoplancton, principalmente la clorofila-a, lo que nos permite identificar los cambios en el agua.

Para lograr esto, primero se recopilan y procesan las imágenes satelitales y se elimina el ruido de otros componentes como la vegetación, la urbanización y los efectos de absorción y dispersión de la luz en la atmósfera. Posteriormente, se aplican modelos matemáticos que permiten traducir las imágenes satelitales en valores cuantificables de clorofila mediante el análisis de la huellapectral; las variaciones de este pigmento nos hablan de los patrones de comportamiento de estos microorganismos en el agua, a partir de los cuales podemos estudiar su asociación con otros factores.

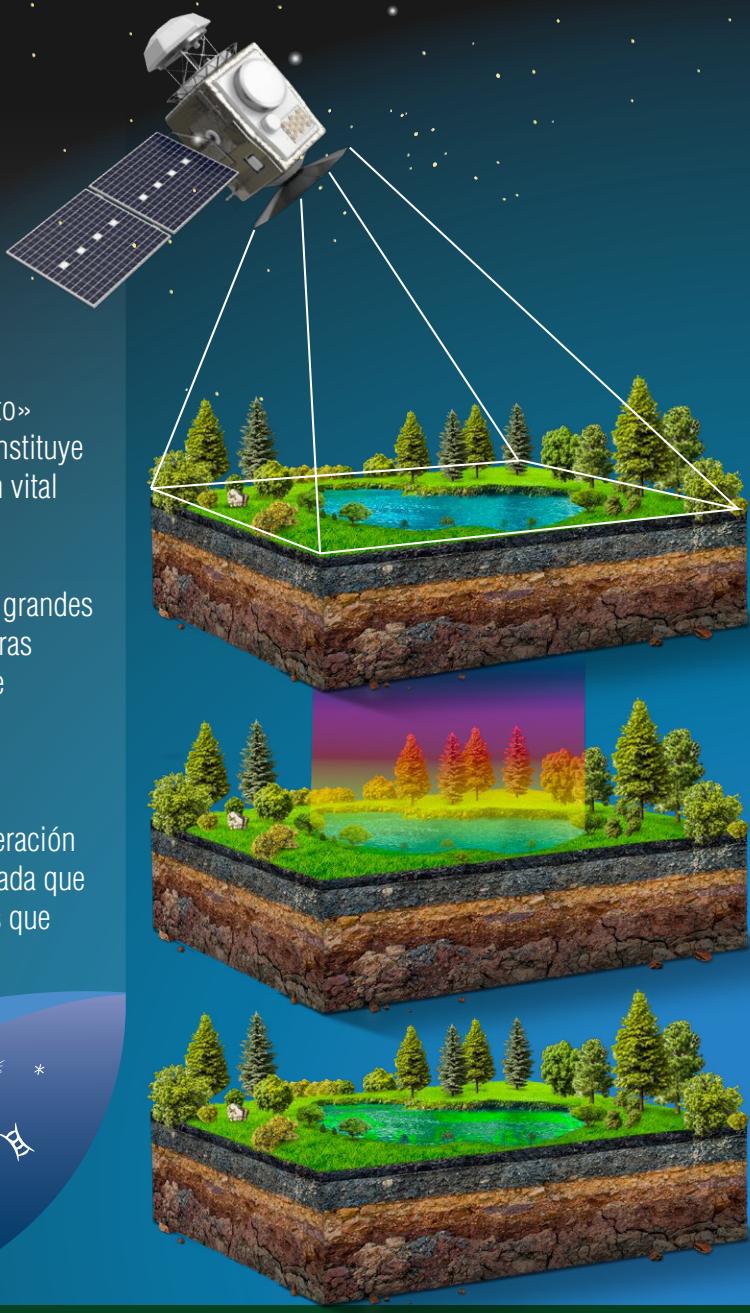
FITOPLANCTON DESDE EL ESPACIO:

FLORACIONES DE UN ORGANISMO MINÚSCULO, PERO ABUNDANTE

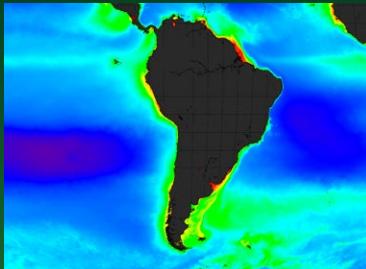
El fitoplancton, cuyo nombre deriva del griego «*phyto*» (planta) y «*plankton*» (vagar o andar a la deriva), constituye un grupo diverso de microorganismos acuáticos con vital importancia ecológica.

Mediante la fotosíntesis, estos organismos capturan grandes cantidades de dióxido de carbono atmosférico mientras producen aproximadamente el 50 % del oxígeno que respiramos. Además, es fundamental en las cadenas alimentarias de ecosistemas acuáticos.

Su monitoreo es muy importante, pues cualquier alteración en su dinámica puede desencadenar efectos en cascada que modifican el equilibrio ecológico con consecuencias que podrían alcanzar escalas planetarias.



UNA FLORACIÓN no es un organismo, sino un fenómeno de crecimiento acelerado del fitoplancton que lo hace visible a simple vista, cubriendo grandes extensiones con altas concentraciones de biomasa.



El crecimiento desmedido del fitoplancton altera los ecosistemas acuáticos al generar fluctuaciones en los niveles de oxígeno, acumulación excesiva de materia orgánica, modificación del pH y potencial liberación de toxinas. Este fenómeno resulta de interacciones complejas entre múltiples factores, como el exceso de nutrientes (eutrofización), el aumento de temperatura y alteraciones en los patrones de lluvia.



LOS IMPACTOS NEGATIVOS DE UN CRECIMIENTO EXCESIVO

El crecimiento desmedido del fitoplancton altera los ecosistemas acuáticos al generar fluctuaciones en los niveles de oxígeno, acumulación excesiva de materia orgánica, modificación del pH y potencial liberación de toxinas. Este fenómeno resulta de interacciones complejas entre múltiples factores, como el exceso de nutrientes (eutrofización), el aumento de temperatura y alteraciones en los patrones de lluvia.



Las floraciones de fitoplancton pueden ser lo suficientemente extensas como para ser vistas desde el espacio. En las imágenes satelitales pueden aparecer como remolinos de diferentes colores entre rojos y verdes dependiendo de los pigmentos que posea el fitoplancton dominante.

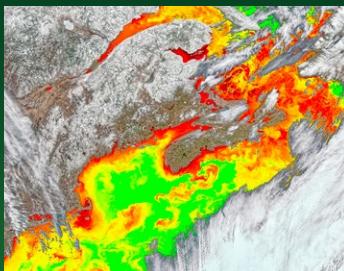


SATÉLITES COMO SENTINEL-2

capturan imágenes multiespectrales de resolución media, permitiendo el seguimiento del fitoplancton en cuerpos de agua.

Estos satélites también han facilitado el monitoreo de cultivos y bosques, la detección y seguimiento de desastres naturales, y el análisis de los efectos del cambio climático.

Por otro lado, la resolución temporal es la frecuencia a la que pasa un satélite sobre una misma área. La resoluciónpectral es la capacidad del satélite de diferenciar variaciones en el espectro algo así como «tonalidades de color».



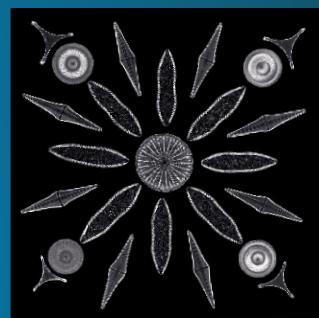
Esta imagen del Golfo de Maine fue capturada por el satélite PACE y procesada por el equipo de la NASA el 08 de abril de 2024

Estos remolinos de colores son capturados por los satélites y son usados por los investigadores para estimar la concentración de estos organismos en el agua a través de modelos que construyen "mapas de color". Las zonas donde las concentraciones de clorofila son altas, es decir donde crece mucho fitoplancton las podemos representar en rojo y donde son bajas en verdes. Cuantificar nos permite identificar variaciones del fenómeno y determinar el estado del ecosistema.



LA CLOROFILA EN EL AGUA

cambia la forma en que se refleja y absorbe la luz solar. Esta característica óptica permite a los científicos determinar cuánto fitoplancton hay, cuándo aparece y cómo se distribuye en los sistemas acuáticos a través de sensores satelitales ubicados en la órbita terrestre baja.



Composición radial de una vista microscópica de diatomeas, el tipo más común de fitoplancton.



Cuando una floración de fitoplancton aparece puede llegar a observarse densas capas de color verde intenso en la superficie del agua que generalmente está acompañada de olores desagradables. Estas capas evitan el ingreso de luz afectando múltiples procesos como la misma fotosíntesis y la orientación de los peces en el agua.



El fitoplancton está conformado por diferentes tipos de organismos microscópicos que poseen diferentes formas, tamaños y colores. Esta diversidad también se asocia a su capacidad de adaptarse a diferentes ecosistemas. Por ejemplo algunos prefieren el agua salada, mientras que otros habitan las aguas dulces como lagos y ríos.



El fitoplancton: un indicador sensible a los fenómenos climáticos naturales

En el Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, estamos explorando la relación entre la variabilidad climática natural y la frecuencia e intensidad de las floraciones de fitoplancton en un embalse antioqueño. Estas variaciones hidrometeorológicas las medimos entre las temporadas de lluvia y sequía de la región —variación estacional— y entre las condiciones cálidas de El Niño y las condiciones frías de la Niña —variación interanual—.

Nos interesó identificar esta relación porque, debido a su ubicación en la zona tropical del planeta, Colombia presenta variaciones entre las temporadas de lluvias y sequías y entre el El Niño y La Niña que regulan múltiples procesos biológicos como la productividad de cultivos o la migración de especies. Sin embargo, en cuanto al fitoplancton, estas relaciones aún no son muy claras.

Nuestro estudio abarcó un periodo de cuatro años, desde 2020 a 2023, durante los cuales recopilamos mensualmente imágenes satelitales de Sentinel-2 en la zona del embalse a través de la Agencia Espacial Europea (ESA)². Este satélite pasa cada cinco días por el mismo embalse, y captura fotografías con una extensión de 290 km² con una resolución espacial en la que 1 pixel equivale a 100 m².

Al estudiar esta relación encontramos que la frecuencia y la distribución de las floraciones de fitoplancton no estaba directamente asociada a la estacionalidad regional, es decir, a las temporadas de lluvia y sequía que suceden en un año. Sin embargo, sí se encontró una relación entre los patrones de ocurrencia e intensidad de las floraciones y la presencia de condiciones de El Niño y La Niña durante este periodo. Así, durante El Niño, cuando se presentan anomalías como las disminución de las lluvias y el aumento temperatura, entre otros factores, se observó un aumento en la ocurrencia e intensidad de las floraciones. Por el contrario, durante La Niña estas disminuían considerablemente. Esto nos permitió identificar una relación de ocurrencia entre estos fenómenos que podría ayudarnos a establecer un sistema temprano de gestión para disminuir el impacto de eventos de floración de fitoplancton en el ecosistema del embalse. Un paso siguiente será recopilar datos para determinar si esta relación se mantiene entre varios periodos de El Niño y La Niña y si su influencia es indirecta, es decir, si estas condiciones afectan otros factores como el caudal o el ingreso de nutrientes.

Florecimiento de fitoplancton en diferentes tonalidades azules en el oeste de Islandia el 24 de junio de 2010 usando el satélite Aqua.

Fotografía: NASA Goddard.

2. Ver <https://dataspace.copernicus.eu/>

Una nueva era para la gestión y la conservación

En Colombia, se tiene reporte de florecimientos de fitoplancton en el Embalse el Guájaro en Barranquilla y los Embalses Peñol-Guatape, La Fe, Riogrande y Porce II en Antioquia, que han sido estudiados a través de monitoreo de campo. Sin embargo, en la actualidad no tenemos políticas públicas de regulación y monitoreo de las floraciones de fitoplancton en estos sistemas, y los avances actuales sobre la caracterización y monitoreo de este fenómeno se deben a las investigaciones realizadas por diferentes universidades en convenio con entidades privadas.

El monitoreo del fitoplancton por teledetección satelital no solo es una opción, sino una necesidad para consolidar un sistema de alerta temprana de las floraciones de fitoplancton que nos permita predecir tendencias en su comportamiento y tomar decisiones para la gestión integral del agua que se encamine a la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas acuáticos en el país.

Algunas iniciativas globales que integran la teledetección satelital para monitorear y analizar el fitoplancton son, por ejemplo:

AlgaeMap, una plataforma que busca ser un sistema de monitoreo de algas nocivas en lagos y embalses de Latinoamérica; y el programa Ocean Color de la NASA que lidera las investigaciones oceanográficas de fitoplancton a nivel mundial, con el uso datos de diversos satélites y el estudio del ciclo de agua de la cuenca amazónica. Estos ejemplos nos muestran el abanico de posibilidades que la teledetección satelital tiene para dar respuesta a preguntas complejas del mundo microscópico a escala macroscópica, en especial para Colombia, uno de los países con mayor diversidad y riqueza de ecosistemas de aguas dulce. X



Este trabajo está enmarcado en la línea de investigación y gestión integral del recurso hídrico liderada por el grupo GAIA dentro del Convenio BIO, desarrollado por la UdeA y EPM. Autores asociados a la investigación están, adicionalmente, María Carolina García Chaves, Fabio de Jesús Vélez Macías, Juan Pablo Niño García, Julie Andrea Arteaga Carrera, Francisco José Molina Pérez.