

Monitoreo de la Calidad del Agua de Lagos Interiores Usando Datos de Teledetección

3^{ra} Parte: Evaluación de la Calidad del Agua Usando Observaciones de Satélites e In Situ

Amita Mehta y Sean McCartney

25 de julio de 2023



Esquema de la Capacitación

1^{ra} Parte

Resumen General de las Observaciones de Teledetección para la Evaluación de la Calidad del Agua

18 de julio de 2023

2^{da} Parte

La Red “Cyanobacteria Assessment Network” (CyAN)

20 de julio de 2023

3^{ra} Parte

Evaluación de la Calidad del Agua Usando Observaciones de Satélites e In Situ

25 de julio de 2023

Tarea

Abre el 25 de julio – Fecha límite 10 de agosto – Publicada en la Página Web de la Capacitación

Se otorgará un **certificado de finalización de curso** a quienes asistan a todas las sesiones en vivo y completen la tarea asignada antes de la fecha estipulada.



Objetivos de Aprendizaje para esta Capacitación

Al final de esta capacitación, las/los participantes tendrán la capacidad para:

- Identificar observaciones de teledetección útiles para abordar parámetros de la calidad del agua en lagos interiores.
- Reconocer la importancia de las mediciones *in situ* en conjunto con observaciones de satélites en el desarrollo de metodologías para el monitoreo operativo de la calidad del agua.
- Obtener una comprensión general de la red “Cyanobacteria Assessment Network” (CyAN), un sistema de alerta temprana para evaluar floraciones de algas nocivas en lagos de agua dulce.
- Acceder a datos de satélites y desarrollar metodologías para evaluar parámetros de la calidad del agua.



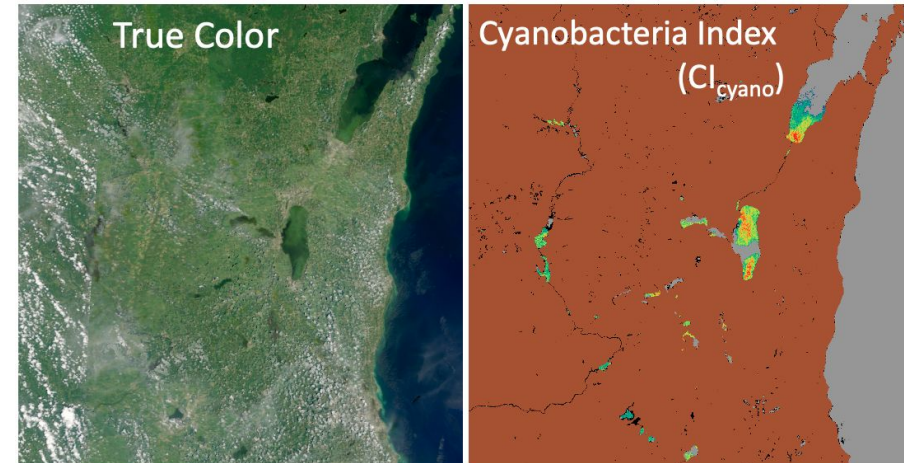
Repaso de la 1^{ra} Parte

- Describimos observaciones de alta resolución espacial y espectral de última generación de Landsat 8, Sentinel-2 y Sentinel-3 para la teledetección de la calidad del agua.
- Describimos mediciones seleccionadas, de código abierto e in situ de los parámetros de calidad del agua, incluidas las del USGS Water Dashboard y Lake Water Quality Portal, National Harmonized Chlorophyll Data, UNEP GEMSat y GLORIA.
- Revisamos los requisitos para el desarrollo de algoritmos para la teledetección de parámetros de calidad del agua.
- Exploramos y descargamos mediciones in situ de GLORIA de concentración de clorofila-a, TSS y profundidad de Secchi para el lago Erie.
- Buscamos e identificamos datos de reflectancia de superficie óptica de Landsat 8 y Sentinel-2 junto con mediciones in situ para el lago Erie utilizando GEE.

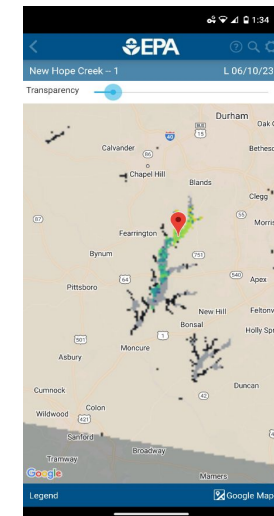
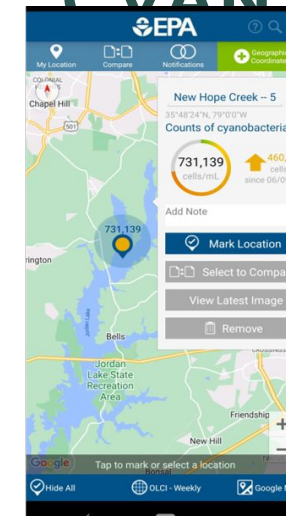
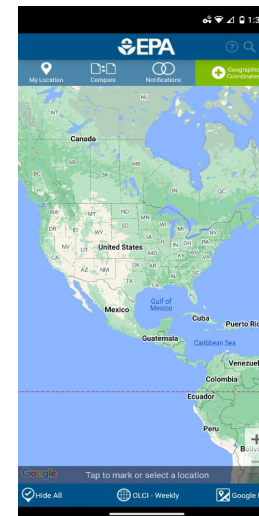


Repaso de la 2^{da} Parte

- Descripción de la red Cyanobacteria Assessment Network (CyAN).
 - Los productos de datos del índice de cianobacterias (Cyanobacteria Index o CI) están disponibles en forma diaria y compuesta de valores máximos de 7 días de MERIS-Envisat (2002–2012), OLCI-Sentinel-3A (2016–hoy) y OLCI-Sentinel-3B (2018–hoy).
- Demostración y aplicación de la Web-App de CyAN.



Demo de la app de CyAN





3^{ra} Parte: Evaluación de la Calidad del Agua Usando Observaciones de Satélites e In Situ

3^{ra} Parte- Formadores

Amita Mehta

Instructora, Agua y
Desastres



Sean McCartney

Instructor, Agua y Desastres



3^{ra} Parte- Objetivos

Al finalizar la 3^{ra} Parte, las/los participantes habrán desarrollado la capacidad para:

- Identificar software de procesamiento de imágenes de la NASA para el monitoreo de la calidad del agua (CA)
- Entender las fuertes y limitaciones de datos de teledetección e in situ disponibles para el monitoreo de la CA en zonas interiores
- Describir las misiones futuras de la NASA relevantes al monitoreo de la CA
- Derivar coeficientes de algoritmos estadísticos para obtener concentración de clorofila (Ch-a), sólidos en suspensión totales (TSS) y claridad del agua mediante reflectancia superficial de satélite y mediciones de la CA usando GEE



3^{ra} Parte- Esquema

- Software de procesamiento de imágenes de la NASA para el monitoreo de la CA
- Fuertes y limitaciones de las observaciones para el monitoreo de la CA
- Resumen general de misiones futuras de la NASA relevantes al monitoreo de la CA

Demostración y Ejercicio:

- Derivar coeficientes de algoritmos estadísticos para obtener parámetros de la calidad del agua (Clorofila-a [Ch-a] y Sólidos en Suspensión Totales [TSS]) usando GEE
- Resumen





Software de Procesamiento de Imágenes de la NASA
para el Monitoreo de la CA

SeaDAS

<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>

- El software de procesamiento y análisis de datos oficial de NASA Ocean Biology
- Última versión: 8.3.10
- También hay una versión para la Graphical User Interface (GUI).
- Es de fuente abierta y se puede descargar de la siguiente página <https://seadas.gsfc.nasa.gov/downloads/>
- También se puede descargar el código y usar la versión con líneas de comando

SeaDAS is a comprehensive software package for the processing, display, analysis, and quality control of ocean color data. While the primary focus of SeaDAS is ocean color data, it is applicable to many satellite-based earth science data analyses. Originally developed to support the SeaWiFS mission, it now supports most U.S. and international ocean color missions.

The SeaDAS 8.x platform (an extension of the ESA SNAP platform) serves as an application platform to the NASA SeaDAS Toolbox and the ESA Sentinel-3 Toolbox. The core elements of NASA SeaDAS science processing (both command line and GUI-based) are contained within the SeaDAS Toolbox. The NASA satellite mission data file readers and the ESA processors for the Sentinel-3 missions are contained within the Sentinel-3 Toolbox. SeaDAS 8.x is a significant modification over SeaDAS 7.5.3 regarding the core components and inner framework of the GUI.

The latest version of SeaDAS is 8.3.0, which contains SeaDAS Toolbox (version 1.3.0) and Sentinel-3 Toolbox (version 9.0.3). There is also a SeaDAS version 8.3.10 (Mac OS only) which fixes the issue with using Mac OS 13 Ventura.

[Download](#)



SeaDAS

<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>

- Disponible para los sistemas de operaciones de Windows, Mac OS y Linux
- **Requiere:**
 - Bash
 - Python 3.6 o más reciente
 - Paquete de pedidos (requests package) de Python v2.18.0 o más reciente

To learn about the latest changes to the software, please see our [announcement](#) of SeaDAS 8.1.0 release.

SeaDAS Installers and Source Code

Visualization Installers

Filename	Version	Size
seadas_8.1.0_windows64_installer.exe	8.1.0	487 MB
seadas_8.1.0_mac_installer.sh	8.1.0	608 MB
seadas_8.1.0_linux64_installer.sh	8.1.0	630 MB



SeaDAS

<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>

- La GUI de SeaDAS se puede utilizar para:
 - Visualizar, procesar y analizar imágenes
 - Instalar Ocean Color Science Software (OCSSW)
 - Ejecutar OCSSW para obtener datos de Nivel-2 y Nivel-3 a partir de datos de Nivel-1
 - Acceder a datos in situ disponibles de SeaBASS¹
- SeaDAS 8.3.10 contiene el SeaDAS Toolbox que incluye el Sentinel-3 Toolbox
- SeaDAS/OCSSW ofrece opciones de corrección atmosférica
Para una demostración de SeaDAS ver:
[Monitoreo de Calidad de Agua Costera y Estuarios de Nivel-1 por el Satélite](#)
- [Recursos de Carga de Datos de Satélites de Nivel-1 por el Satélite](#)

¹El Sistema SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System (SeaBASS), es un archivo compartido públicamente de datos oceanográficos y atmosféricos in situ mantenido por el NASA Ocean Biology Processing Group (OBPG).

(<https://seabass.gsfc.nasa.gov/>)





Fuertes y Limitaciones de las Observaciones para el Monitoreo de la CA

Ventajas de la Teledetección para los Sistemas de Agua Dulce

- Registro de imágenes satelitales de larga duración para análisis de series temporales
- Compromiso continuo de las agencias espaciales para continuar con la recopilación de datos
- Datos confiables para sistemas operativos de pronóstico y alerta temprana
- Landsat y Sentinel-2 tienen sensores con resolución espacial moderada a alta adecuada para lagos
- Disponibilidad de datos de código abierto

Limitaciones de la Teledetección para los Sistemas de Agua Dulce

- Aguas poco profundas: interferencia del fondo
- Cuerpos de agua demasiado pequeños para la resolución espacial de algunos sensores
- Número limitado de algoritmos estándar para estas aguas ópticamente complejas
- Los sensores ópticos no pueden ver a través de las nubes: faltan datos en condiciones nubladas
- La corrección atmosférica es un desafío
- La verificación en el suelo es costosa
- **Las colocaciones de observaciones satelitales y mediciones de la superficie en el espacio y el tiempo requeridas para el desarrollo de algoritmos y extracciones precisas de parámetros de calidad del agua**

Recomendación para la Recolección de Datos In Situ

- NASA Ocean Color informa la hora a la que pasan por encima varios satélites para una región geográfica determinada.
- Recolectar muestras de agua in situ dentro de un lapso de 2 a 4 horas a partir del paso del satélite por encima beneficiaría enormemente el desarrollo de algoritmos y actividades.

OCEAN COLOR
OB.DAAC | OBPG

ABOUT DATA RESOURCES TOOLS COMMUNITY GALLERY FORUM

OCEAN DATA

[OceanData Home](#) ▶ [OverPass Home](#)

OverPass Predictions

Use the overpass predictor to find out when a satellite is expected to pass over a particular location. Select the sensor and enter the dates to get the satellite viewing range, and satellite and sun azimuth angle, elevation and more!

The results can be very useful for planning in situ sampling to coincide with satellite overpasses for validation and calibration activities.

Please choose one or more sensor(s) and complete the form below:

MODIS-Aqua MODIS-Terra VIIRS-NPP OCM-2 OLI-L8 MSI-2A OLCI-S3A OLCI-S3B SEAHAWK-1 MSI-2B VIIRS-NOAA20 VIIRS-NOAA21 SGLI

Start Date: End Date:

Location

Latitude (+/- 90):

Longitude (+/- 180):

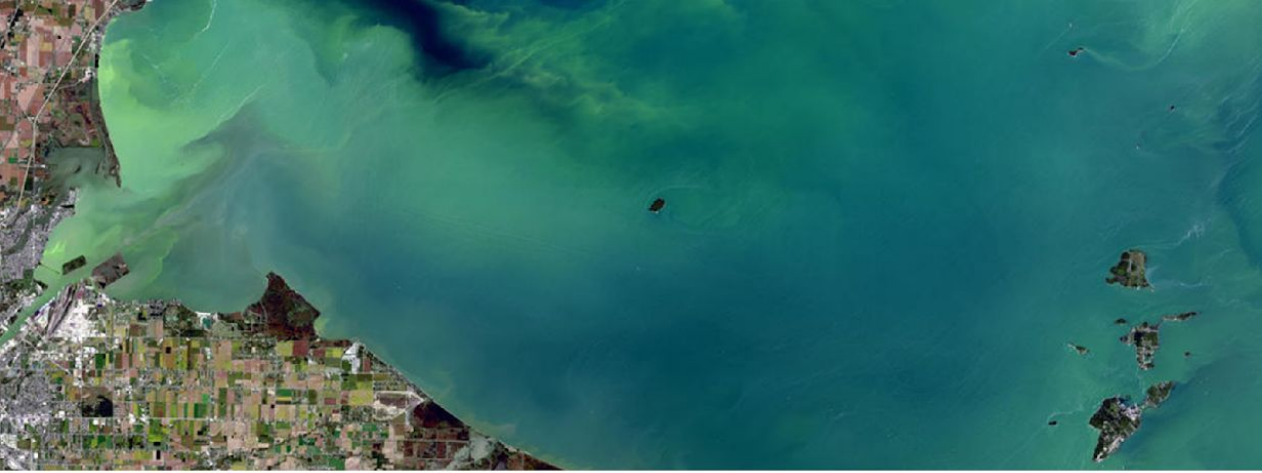
Height above sea level (km):

Sun Status

Daytime
 Nighttime

Output Format:

Table
 Text File



Misiones Futuras de la NASA para el Monitoreo de la Calidad del Agua

Futuras Misiones Satelitales para el Monitoreo de la Calidad del Agua

PACE: Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem

<https://pace.oceansciences.org/mission.htm>

- Lanzamiento planificado para el año 2023
- Espectrómetro óptico avanzado, Ocean Color Instrument (OCI)
 - Mediciones hiperespectrales para productos de la calidad del agua (rango ultravioleta a infrarrojo cercano)

SBG: Surface Biology and Geology

<https://sbg.jpl.nasa.gov/>

- En la fase inicial de desarrollo
 - Imágenes hiperespectrales en la parte visible e infrarroja onda corta; imágenes multi- o hiperespectrales en la parte IR térmica



Futuras Misiones Satelitales para el Monitoreo de la Calidad del Agua

GLIMR: The Geostationary Littoral Imaging and Monitoring Radiometer

<https://eos.unh.edu/glimr>

- Lanzamiento planificado para el 2026-27
- Tendrá una órbita geoestacionaria y brindará observaciones frecuentes – se colocará entre 88 y 108 grados oeste
- Hyperspectral Imager (HSI), Landmark Imager (LMI)
- Proporcionará información sobre floraciones de algas nocivas, derrames de petróleo, acumulación de sargazo

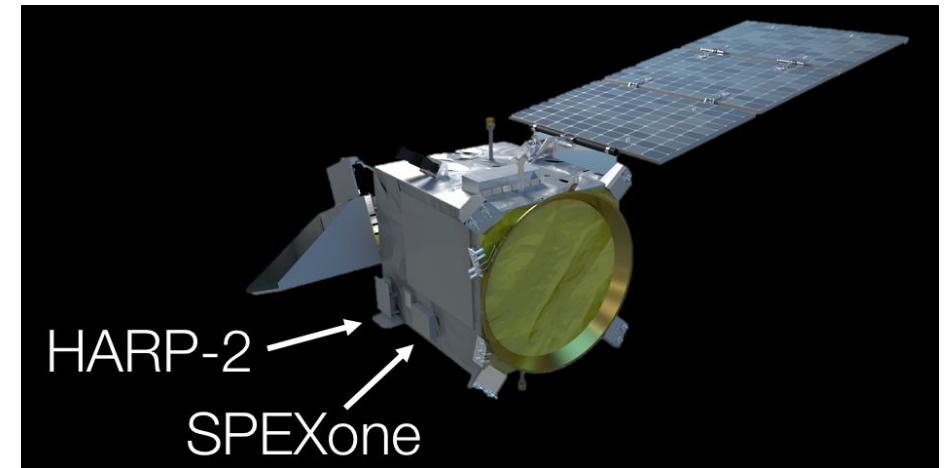


Plankton, Aerosol, Cloud, and Ocean Ecosystem (PACE)



<https://pace.gsfc.nasa.gov/>

- PACE es la próxima gran inversión de la NASA en imágenes de la Tierra hiperespectrales y polarimetría multi-ángulo.
 - Fecha de lanzamiento: 2023
 - Diseñado para durar 3 años; propulsión para 10 años
- Captador de Imágenes Hiperespectrales: **Ocean Color Instrument (OCI)**
 - Resolución Espectral: UV a IR onda corta (340-890 nm cada 2.5 nm, con 940, 1038, 1250, 1378, 1615, 2130 y 2250 nm)
 - Resolución Temporal: 2 días
 - Resolución Espacial: 1-km² en el nadir
- Dos Polarímetros Multi-Ángulo
 - **HARP-2**: Franja ancha, hiperangular, 4 bandas entre las partes visible e infrarroja cercana



Datos sobre PACE de: Natasha Sadoff, Coordinadora Auxiliar de Aplicaciones de PACE | NASA-GSFC Ocean Ecology Lab
Contacto: natasha.sadoff@nasa.gov



Extender los registros de datos climáticos biológicos, ecológicos y biogeoquímicos **oceánicos** sistemáticos clave, así como los **registros de datos climáticos de nubes y aerosoles**

GSD of $1 \pm 0.1 \text{ km}^2$ en el nadir

Calibración lunar dos veces al mes y calibración solar a bordo (diaria, mensual, luz baja)

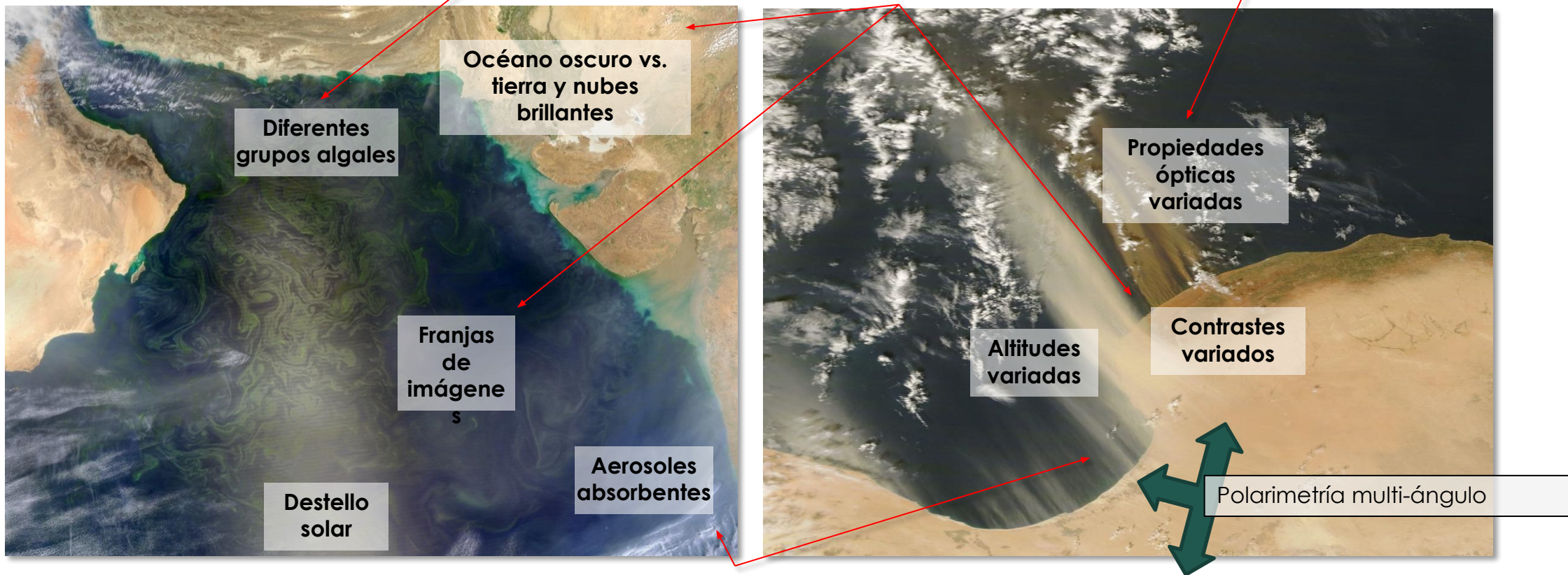
Realizar **nuevas mediciones globales del color del océano** que son esenciales para comprender el ciclo global del carbono y las respuestas de los ecosistemas oceánicos a un clima cambiante

Rango espectral de 350 a 865 @ 5 nm

Recopilar **observaciones globales de las propiedades de los aerosoles y las nubes**, centrándose en reducir las mayores incertidumbres en los modelos de forzamiento radiativo y climático del sistema terrestre

940, 1038, 1250, 1378, 1615, 2130, 2260 nm

Requisitos para el rendimiento de los instrumentos



Tilt $\pm 20^\circ$

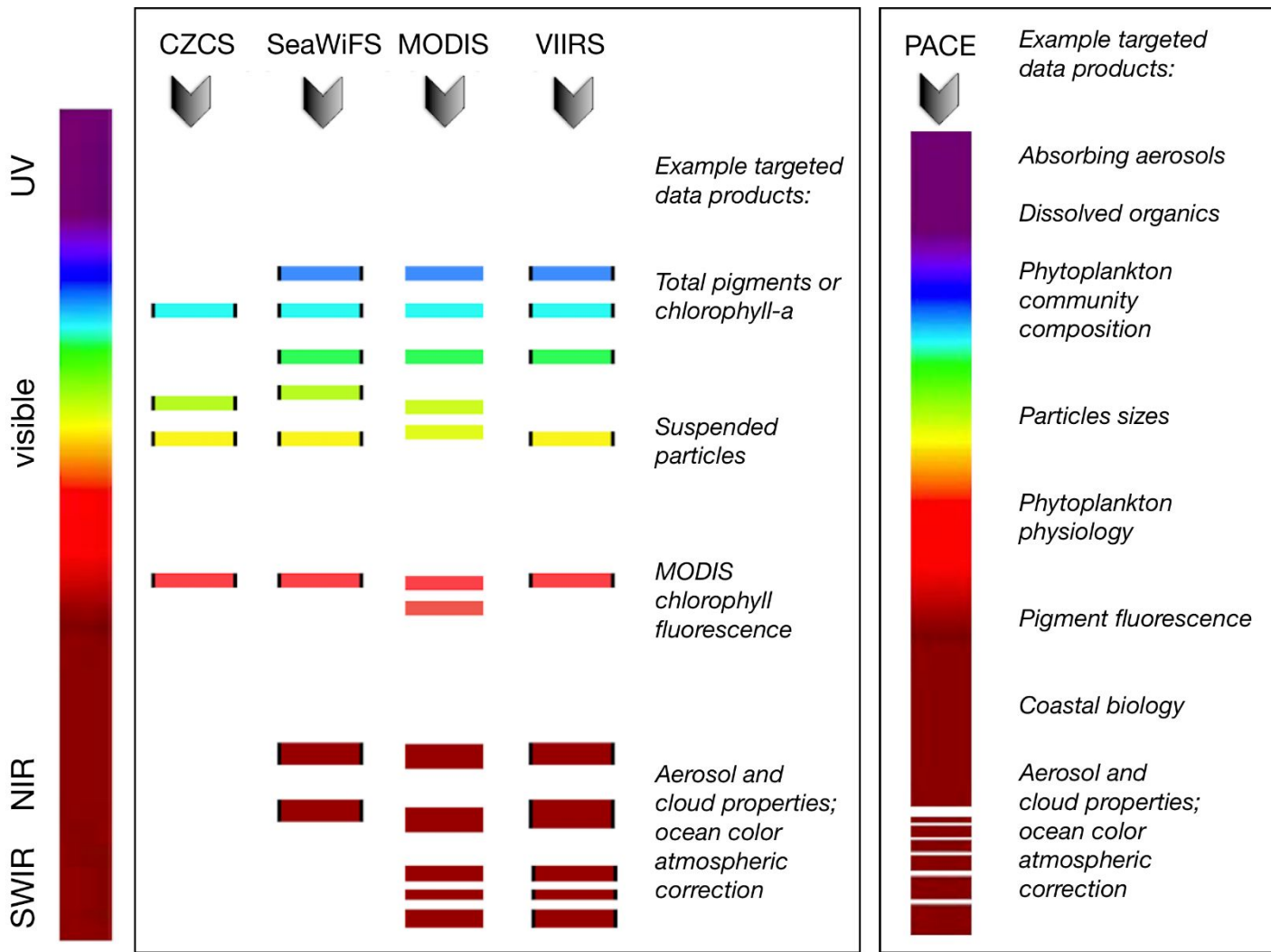
Meta de rango espectral de 320-865 @ 5 nm

Mejorar nuestra comprensión de cómo los **aerosoles influyen en los ecosistemas oceánicos y los ciclos biogeoquímicos** y cómo los **procesos biológicos y fotoquímicos del océano afectan la atmósfera**



El movimiento de la Radiometría Multiespectral Hacia la Espectroscopía

1978-1986 1997-2010 1999-pres. 2012-pres.

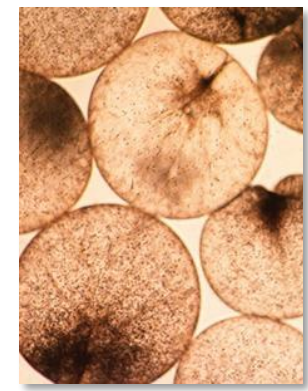


Ejemplo de diatom



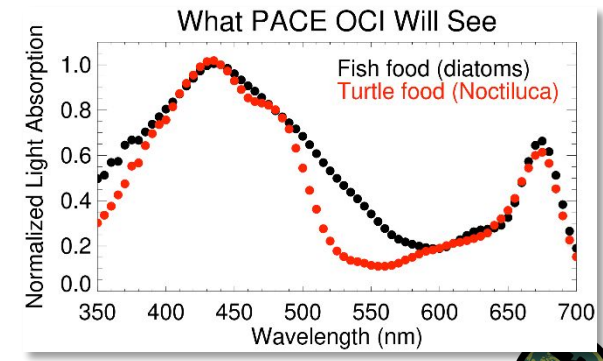
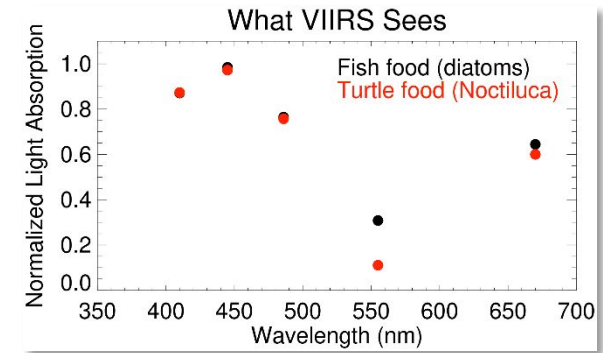
Linda Armbrrecht, abc.com.au

Ejemplo de Noctiluca



1 mm Joaquim Goes, LDEO

Las señales del océano son pequeñas y diferenciar entre los constituyentes requiere información adicional relativa a lo que tenemos hoy



Productos de Datos de Recursos Hídricos de PACE



- **Productos estándar**

- Clorofila a
- Coeficiente de atenuación difusa 400–700 nm [$K_d(\text{PAR})$]
- Coeficiente de absorción de materia orgánica disuelta coloreada más partículas despigmentadas a 440 nm [$a_{dg}(440)$]
- Coeficiente de retrodispersión de partículas a 440 nm [$bbp(440)$]
- Carbono de fitoplancton
- Longitud de onda visible aparente



- **Productos provisionales**

- Material particulado en suspensión
- Coeficiente de absorción de materia orgánica disuelta coloreada
- Ficocianina (cianobacterias)
- Indicación de algas flotantes
- Otros pigmentos
- Composición de las comunidades de fitoplancton

- **Conjunto de Productos de Calidad del Agua (tentativo)**



¡Involúcrese con la Misión de PACE que el Lanzamiento se Acerca!



The graphic features the PACE logo at the top left, with the word 'PACE' in a stylized font where the 'A' is a triangle. Below it, the text 'APPLICATIONS WORKSHOP' is written in a spaced-out, sans-serif font. Underneath, the dates 'September 6-7, 2023' and 'Virtual event' are listed. A large QR code is positioned in the bottom left corner. The background of the graphic shows a satellite in orbit over Earth, with a rainbow-like spectrum of light reflecting off the planet's surface. The NASA logo and the website 'pace.gsfc.nasa.gov' are visible in the bottom right corner of the graphic.

PACE

APPLICATIONS
WORKSHOP

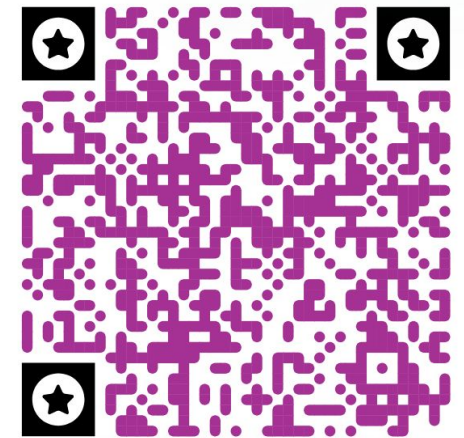
September 6-7, 2023
Virtual event



pace.gsfc.nasa.gov



¡Únase a PACE
CoP y/o al
Early Adopters
Program!



Regístrese para el
Taller de
Aplicaciones de



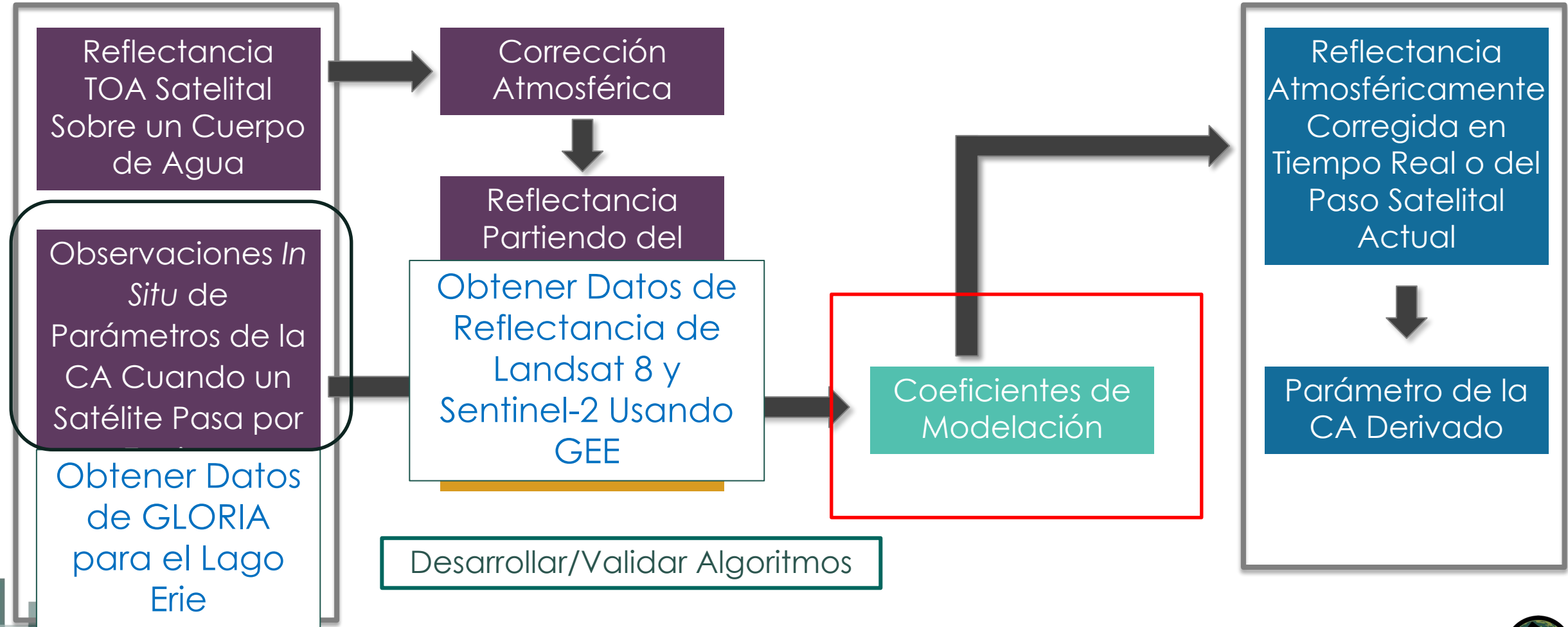


Algoritmos Estadísticos para Adquirir Parámetros de la Calidad del Agua

Parámetros de la Calidad del Agua a Partir de Observaciones de Teledetección

Técnica Cuantitativa

← Desarrollo de Algoritmos →



Corrección Atmosférica para el Monitoreo de la Calidad del Agua

- En las observaciones satelitales de reflectancia deben corregirse los efectos atmosféricos para adquirir la reflectancia de la superficie del agua.
- Existen varias técnicas para las correcciones atmosféricas.
- Requiere modelación de transferencia radiativa junto con información sobre condiciones atmosféricas, nubes y aerosoles.

*Vermote, E.E., D. Tanré, J.L. Deuzé, M. Herman and J.-J. Morcrette, [Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview](#), *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 35, No. 3, p. 675-686., 1997. [r12 Stumpf Tomlinson.pdf](#)

Ejemplos:

- Algoritmo del NASA Ocean Biology Processing Group: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/technical/NASA-TM-2016-217551.pdf>
- *6S: Segunda Simulación de la Señal de Satélite en el Espectro Solar: <http://6s.ltdri.org/#>
- ACOLITE: <https://odnature.naturalsciences.be/remsem/software-and-data/acolite>
- HydroLight: http://www.oceanopticsbook.info/view/radiative_transfer_theory/level_2/hydrolight



Modelos para Clorofila-a (Cha)

https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/resources/atbd/chlor_a/

Para niveles bajos de clorofila-a (Cha), se utiliza el siguiente índice cromático (Color Index o CI):

- $CI = Rrs(\lambda_{verde}) - [Rrs(\lambda_{azul}) + (\lambda_{verde} - \lambda_{azul}) / (\lambda_{rojo} - \lambda_{azul}) * (Rrs(\lambda_{rojo}) - Rrs(\lambda_{azul}))]$
- Se obtienen coeficientes de regresión entre $\log_{10}(cha)$ **observada** y el CI
- $Cha = 10^{(a_0 CI + a_1 CI * CI)}$
 - Rrs representa reflectancia espectral partiendo del agua
 - a_0 y a_1 son intercepción y pendiente del ajuste de regresión lineal
- Para niveles altos de Cha, se usa un ajuste polinomial de 4^{to} grado para las relaciones entre las bandas espectrales azul y verde:
$$\log_{10}(chlor_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left(\log_{10} \left(\frac{Rrs(\lambda_{blue})}{Rrs(\lambda_{green})} \right) \right)^i$$

Hu et al., 2019: Improving satellite global chlorophyll a data products through algorithm refinement and data recovery. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124(3), 1524-1543, [doi: 10.1029/2019JC014941](https://doi.org/10.1029/2019JC014941)



Modelos Para Sólidos en Suspensión Totales (TSS) y Profundidad de Secchi (SD)

- La relación entre las bandas Sentinel-2/MSI Infrarroja Cercana (Rrs_{815}) y Roja (Rrs_{655}) se utiliza para estimar TSS¹
 - Rrs_{815}/Rrs_{655}
- Los coeficientes de regresión entre TSS **observado** y las relaciones entre las bandas se obtienen

De modo similar,

- La relación entre las bandas Sentinel-2/MSI Azul (Rrs_{490e}) y el borde de la Roja (Rrs_{709}) se utiliza para estimar SD²
 - Rrs_{490e}/Rrs_{709}
 - Los coeficientes de regresión entre SD **observado** y las relaciones entre las bandas se obtienen
- ¹Ha NTT et al. 2022: Retrieval of total suspended solids from remote sensing reflectance in highly eutrophic lakes in Hanoi (Vietnam). INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 43, 6936-6956, DOI:0.1080/01431161.2022.2150100.
- ²Pereira-Sanchez et al. 2019: Calibration and validation of algorithms for the estimation of chlorophyll-a concentration and Secchi depth in inland waters with Sentinel-2, LIMNETICA, 38, 471-487, DOI:10.23818/limn.38.27



Precaución con Respecto a la Selección y el Uso de Modelos

- Hemos seleccionado modelos simples para los parámetros de calidad del agua, pero existe una amplia literatura con una variedad de modelos, lineales y no lineales, bandas únicas, proporciones de bandas y combinaciones de bandas múltiples.
- Cada cuerpo de agua tiene características diferentes, se recomienda explorar, desarrollar y aplicar algoritmos de modelos para cada sensor para el lago de su interés.
- Numerosos investigadores desarrollan y prueban modelos avanzados y más complejos para los parámetros de calidad del agua basados en redes neuronales¹ e inteligencia artificial y aprendizaje automático².
- Para desarrollar los modelos se deben utilizar cuantos puntos colocalizados entre las mediciones in situ y las observaciones satelitales haya.
- Los modelos deben validarse mediante el uso de datos in situ independientes.

¹Peterson et al., 2018: Suspended Sediment Concentration Estimation from Landsat Imagery along the Lower Missouri and Middle Mississippi Rivers Using an Extreme Learning Machine, Remote Sensing 10(1503), DOI:[10.3390/rs10101503](https://doi.org/10.3390/rs10101503).

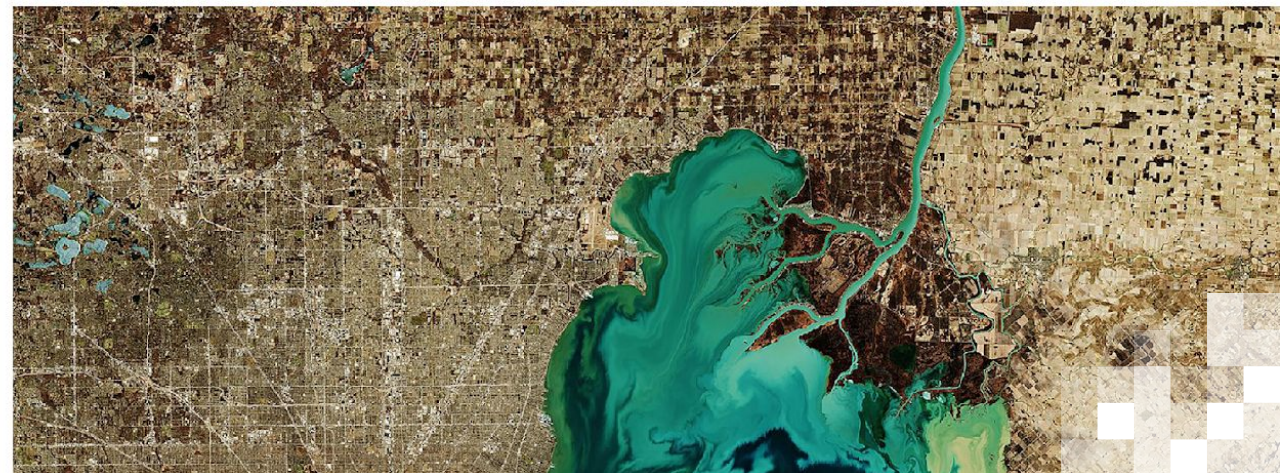
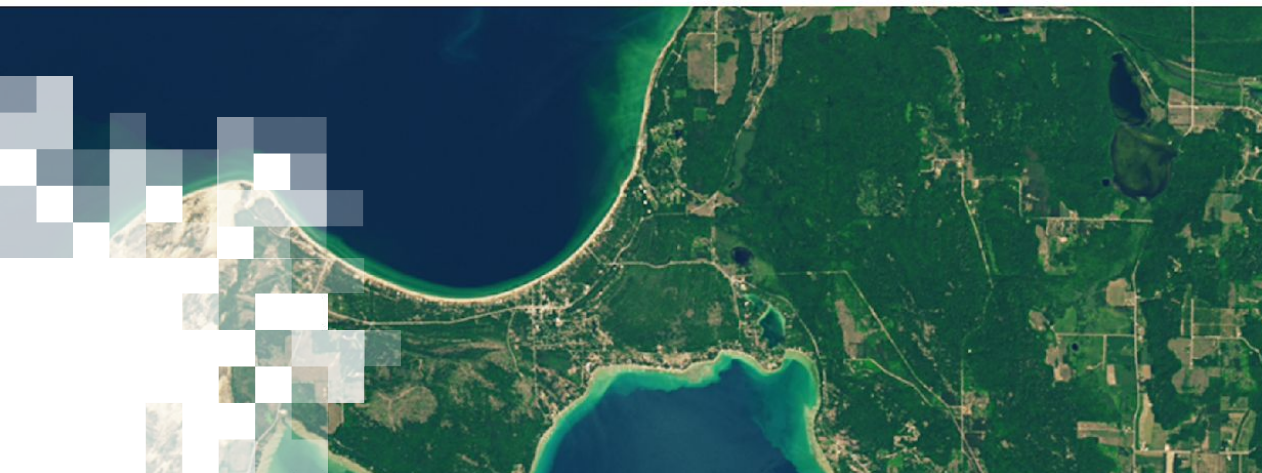
²Zhu et al., 2022: A review of the application of machine learning in water quality evaluation, Eco-Environment & Health, 1, 107-116, <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.06.001>.





Demostración

Derivar Coeficientes de Algoritmos Estadísticos para Adquirir Parámetros de la Calidad del Agua (Ch-a y TSS) usando GEE



Resumen

Resumen de la Capacitación

En esta capacitación aprendimos sobre:

- Observaciones de teledetección actuales y futuras útiles para evaluar los parámetros de calidad del agua en lagos interiores.
- Mediciones seleccionadas de parámetros de calidad del agua in situ que se utilizarán con observaciones satelitales para maximizar la precisión.
- Exploramos la red de evaluación de cianobacterias (CyAN), un sistema de alerta temprana para evaluar la proliferación de algas en lagos de agua dulce.
- El uso de GEE para acceder a datos de reflectancia óptica de Landsat-8, Sentinel-2 y Sentinel-3 para cuerpos de agua de interés.
- Exploramos las mediciones de calidad del agua de GLORIA y su acceso
- Repasamos el desarrollo de algoritmos para parámetros de calidad del agua (Ch-a, TSS, Claridad del agua) basados en sensores remotos y mediciones in situ.



Tarea y Certificados

- **Tarea:**

- Habrá una tarea asignada
- Abre el 13 de julio de 2023
- Acceso desde la [página web de la capacitación](#)
- Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google
- **Fecha límite: 8 de agosto de 2023**
- Habrá ejercicios prácticos para las tres sesiones. **Se le pedirá que cargue los resultados de estos ejercicios a una cuenta de Google.**

- **Certificado de Finalización de Curso:**

- Asista a las tres sesiones en vivo (la asistencia se registra automáticamente)
- Complete la tarea dentro del plazo estipulado
- Recibirá un certificado por correo electrónico aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso.



Datos de Contacto

Formadores:

- Amita Mehta
 - Amita.v.mehta@nasa.gov
- Sean McCartney
 - Sean.mccartney@nasa.gov
- Blake Schaeffer
 - Schaeffer.blake@epa.gov
- Bridget Seegers
 - Bridget.n.Seegers@nasa.gov
- Daniel Sobota
 - Daniel.sobota@deq.oregon.gov

- [Página web de ARSET](#)
- ¡Síguenos en Twitter!
 - [@NASAARSET](#)
- [ARSET YouTube](#)

Visite nuestros Programas Hermanos:

- [DEVELOP](#)
- [SERVIR](#)



Preguntas y Respuestas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions”
- Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión de Preguntas y Respuestas
- Todas las demás preguntas se responderán en el documento de Preguntas y Respuestas (Q&A), el que se publicará en la página web de la capacitación aproximadamente una semana después de la misma.





¡Gracias!

