

El Monitoreo de la Calidad del Agua Mediante el Procesamiento de Imágenes Satelitales

Amita Mehta y Africa Flores (SERVIR Global)

5, 12 y 19 de septiembre de 2018



Objetivos de la Capacitación

Aprender Cómo:

- Monitorear la temperatura del agua y las concentraciones de clorofila-a como indicadores de floraciones de algas nocivas
- Acceder a datos de MODIS y Landsat para monitorear la calidad del agua
- Realizar el procesamiento de imágenes a partir de datos de MODIS y Landsat utilizando el Software SeaDAS

Prerrequisito: Introducción a la Teledetección de Floraciones de Algas Nocivas

<https://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/HABs17>



Esquema del Curso

5 de Septiembre

Resumen General y Análisis de Datos por Teledetección de la NASA para el Monitoreo de HABs



12 de Septiembre

Introducción a SeaDAS para el Procesamiento de Imágenes y Análisis de Datos

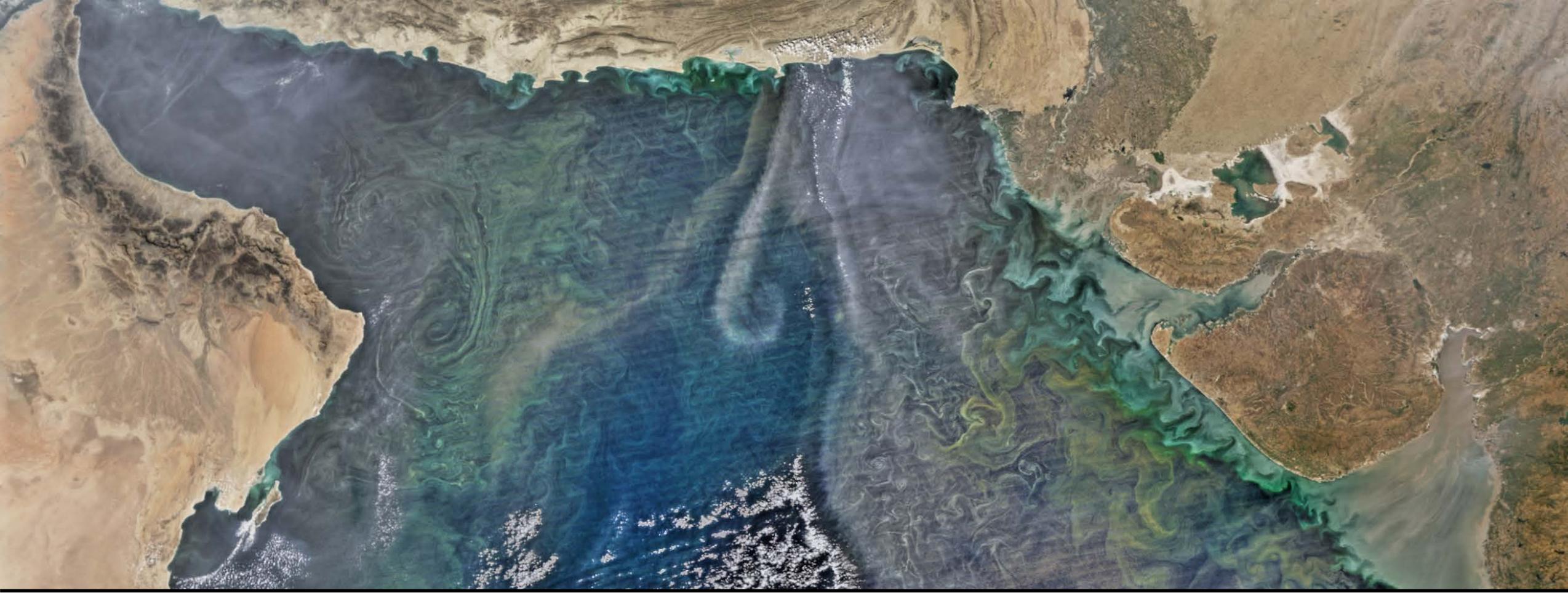
19 de Septiembre

Ejercicio de Análisis de Imágenes con SeaDAS

Esquema para la 1^{ra} Semana

- Acerca de ARSET
- Teledetección de la Calidad del Agua (CA)
- Monitoreo de la CA en Aguas Costeras y continentales
- Demostración de Herramientas en Línea de la NASA para el Acceso a Datos de la CA:
 - Enfoque: Estudio de Caso -- Concentración de Clorofila-a (Clor_a) y Temperatura Superficial (TS) Acuática en la Bahía de Chesapeake del 1^{ro} al 10 de Mayo de 2018
 - Giovanni: <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
 - OceanColor: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- Ejercicio: Analizar y Descargar Clor_a y TS en el Lago Victoria, África





Acerca de ARSET

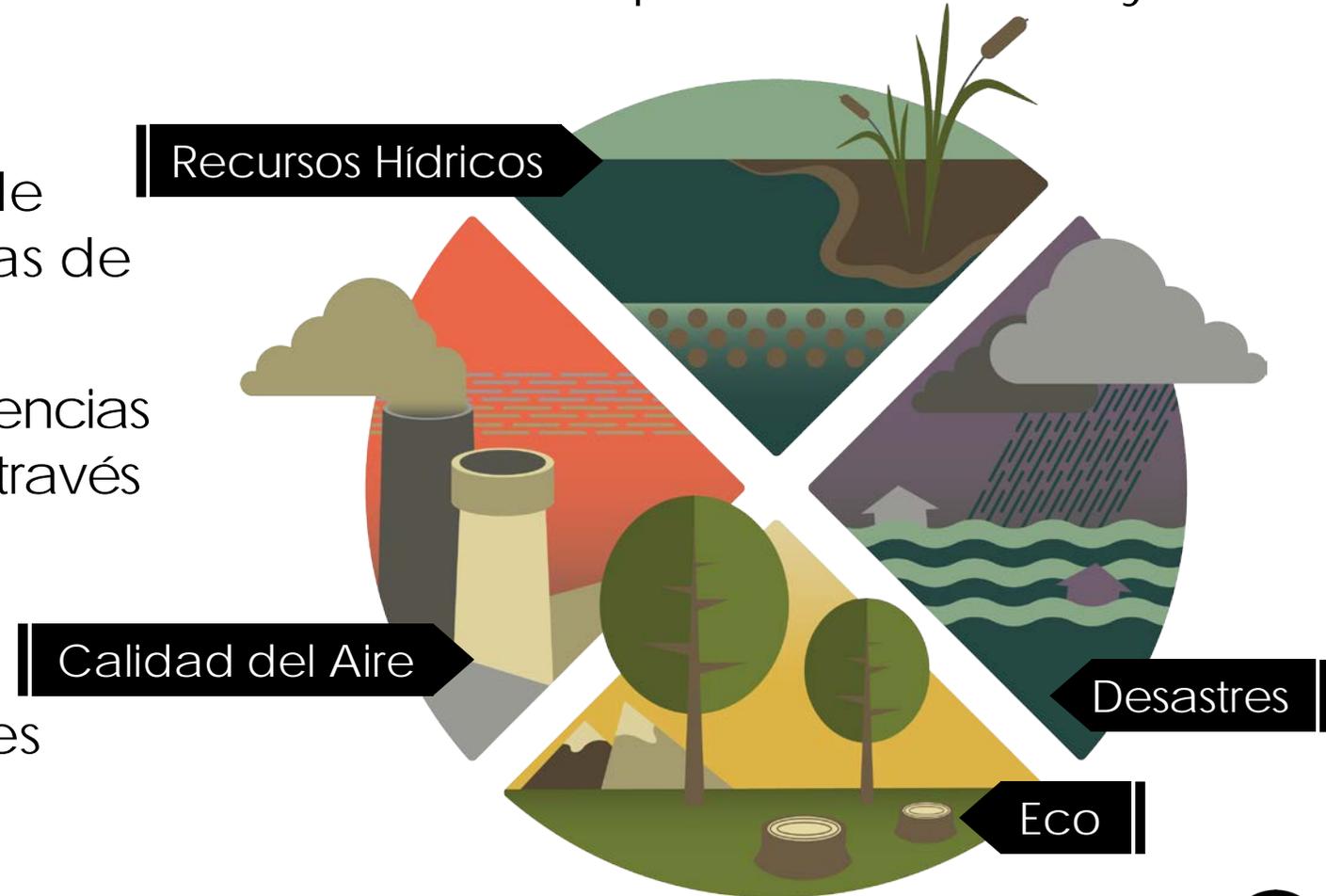
NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)

(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada)

<http://arset.gsfc.nasa.gov/>

- Empoderando a la comunidad global a través de la capacitación de teledetección
- Parte del Programa de Fomento de Capacidades Científicas Aplicadas de la NASA
- Objetivo: Incrementar el uso de las ciencias terrestres en la toma de decisiones a través de capacitaciones para:
 - formuladores de políticas
 - gestores ambientales
 - otros profesionales en los sectores público y privado

Temas de Capacitaciones Incluyen:



ARSET- Miembros del Equipo

Personal de Apoyo al Programa

- Ana Prados, Directora del Programa (GSFC)
- Brock Blevins, Coordinador de Capacitación (GSFC)
- David Barbato, Traductor a Español (GSFC)
- Annelise Carleton-Hug, Evaluadora de Programas (Consultora)
- Elizabeth Hook, Escritora/Editora Técnica (GSFC)
- Selwyn Hudson-Odoi, Coordinador de Capacitación (GSFC)
- Marinés Martins, Apoyo de Proyectos (GSFC)
- Stephanie Uz, Apoyo al Programa (GSFC)

Desastres y Recursos Hídricos

- Amita Mehta (GSFC)
- Erika Podest (JPL)

Suelo e Incendios Forestales

- Cynthia Schmidt (ARC)
- Amber Jean McCullum (ARC)

Salud y Calidad del Aire

- Pawan Gupta (GSFC)
- Melanie Cook (GSFC)

Reconocimiento:

- Queremos agradecer a Nancy Searby por su apoyo continuado



Capacitaciones ARSET

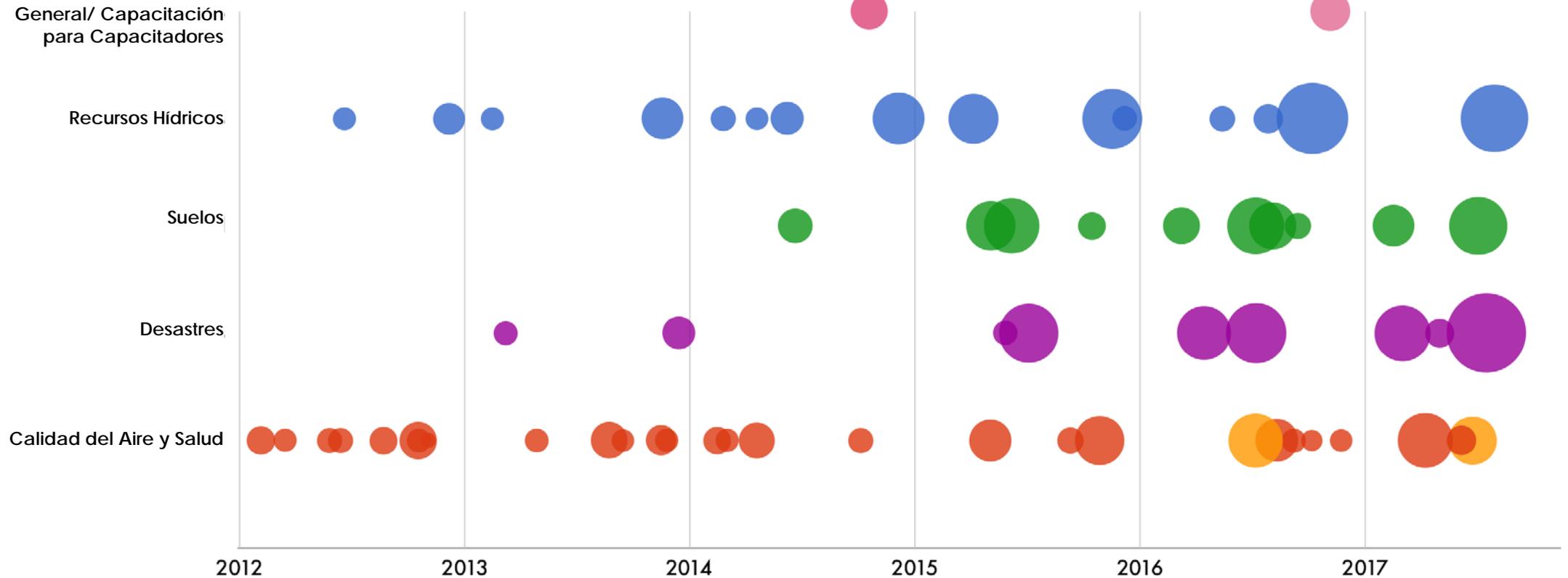
Capacidades: Nivel Introductorio y Avanzado, En Línea y En Persona

 100 capacitaciones

 + de 13.000 participantes

 + de 160 países

 + de 3.700 organizaciones



* el tamaño de la burbuja corresponde al número de participantes

Capacitaciones ARSET de la Calidad del Agua

<https://arset.gsfc.nasa.gov/water/>

- Introducción a la Teledetección de Floraciones de Algas Nocivas:
 - <https://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/HABs17>
- Introducción a la Teledetección para Aplicaciones Costeras y Oceánicas:
 - <https://arset.gsfc.nasa.gov/land/webinars/coastal-oceans-2016>
- El Monitoreo de la Calidad del Agua Mediante Mediciones por Teledetección:
 - <https://arset.gsfc.nasa.gov/water/water-quality-2014>

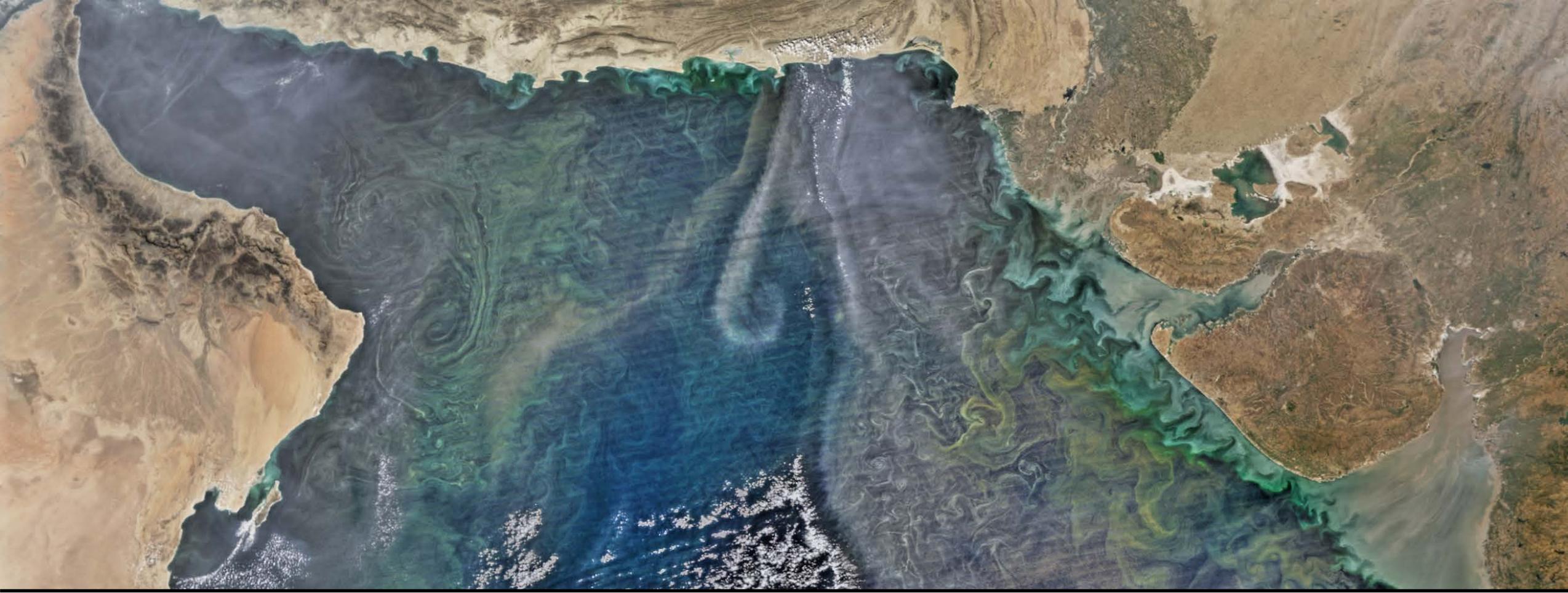


Aprenda Más Sobre ARSET

<http://arset.gsfc.nasa.gov/>

The screenshot displays the ARSET website interface. At the top, the NASA logo and 'ARSET Applied Remote Sensing Training' are visible, along with navigation links for 'Earth Sciences Division', 'Applied Sciences', and 'ASP Water Resources'. A search bar and a Twitter icon are also present. The main navigation menu includes 'Home', 'About', and 'Trainings'. The 'Trainings' dropdown menu is open, showing categories: 'Fundamentals', 'Disasters', 'Health & Air Quality', 'Land', and 'Water Resources'. A featured training announcement for 'Introduction to Remote Sensing of Harmful Algal Blooms' is highlighted, with details: 'Tuesdays, Sep 5-26, 2017, 11:00-12:00 or 21:00-22:00 EDT (UTC-4)' and a 'Register Now' button. The sidebar on the right contains a list of links: 'ARSET', 'Online Trainings', 'In-Person Trainings', 'Sign up for the Listserv' (with a mouse cursor pointing to it), 'Tools Covered', 'Suggest a Training', 'Personnel', and 'Resources'. Below this is a section for 'Upcoming Training' with a sub-section for 'Water' and a link for 'Satellite Observations of Water Quality for'.

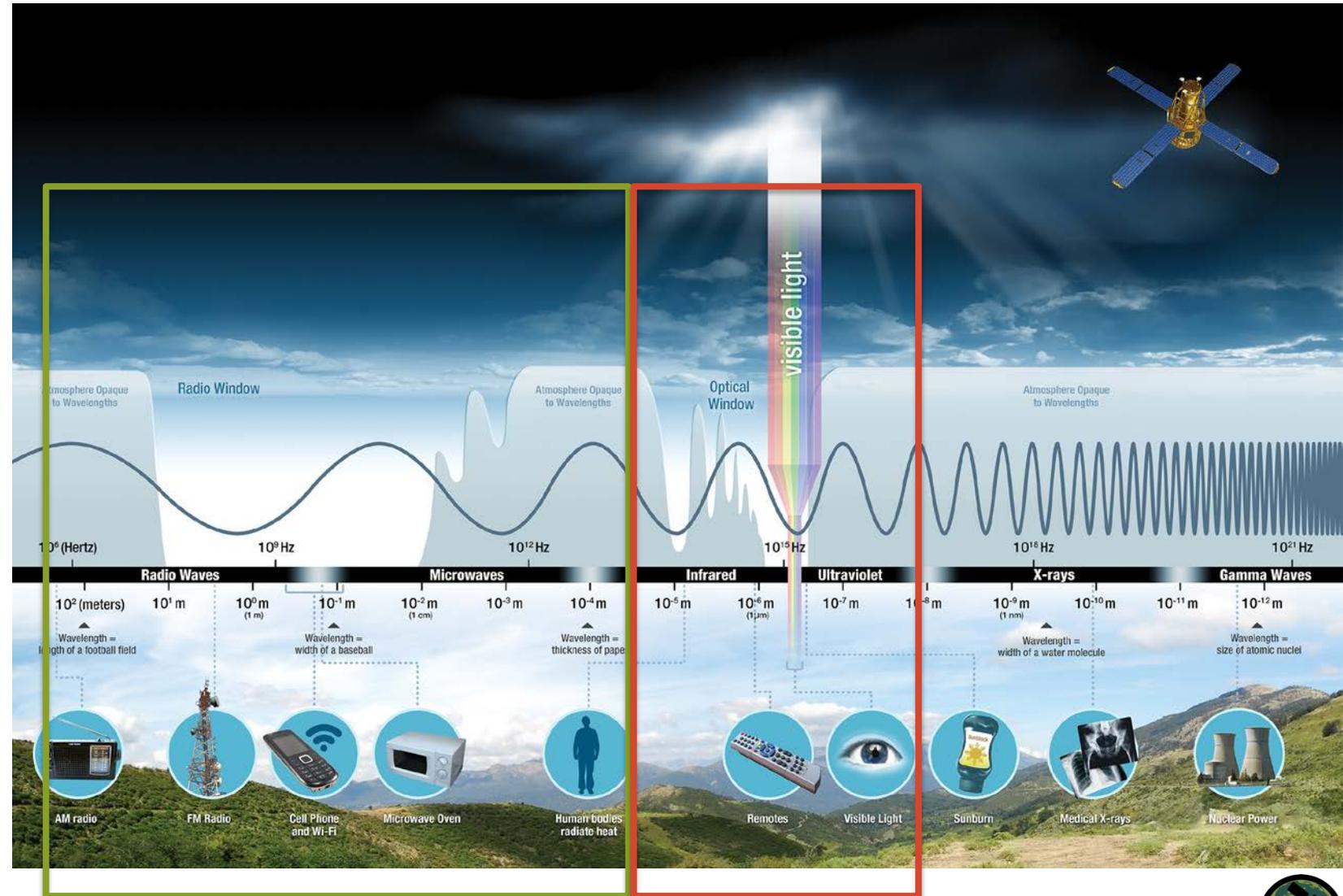




Teledetección de la Calidad del Agua (CA)

Teledetección de la Calidad del Agua

- Los satélites llevan instrumentos y sensores a bordo para medir:
 - radiación solar reflejada
 - radiación infrarroja y de microondas emitida



La Calidad del Agua Afecta Sus Propiedades Ópticas

Con la teledetección se puede monitorear el color del agua, el cual puede ser un indicador de la calidad del agua:

- La materia disuelta y suspendida en el agua le cambia las propiedades ópticas, lo cual la cambia de color
 - materia orgánica disuelta incluye tanino, que es causado por materia orgánica proveniente de hojas, raíces y residuos de plantas
 - materia suspendida incluye partículas de arcilla, minerales sin disolver, plánctones y floraciones algales
- algunas especies de floración de algas nocivas (HAB*) tienen propiedades únicas que afectan el color del agua (por ejemplo, mareas rojas)

*HAB= Siglas de "Harmful Algae Bloom", Floración de Algas Nocivas en inglés

Fuente de la Imagen: USGS

Color causado por materia disuelta: taninos



Color causado por materia suspendida: sedimentos



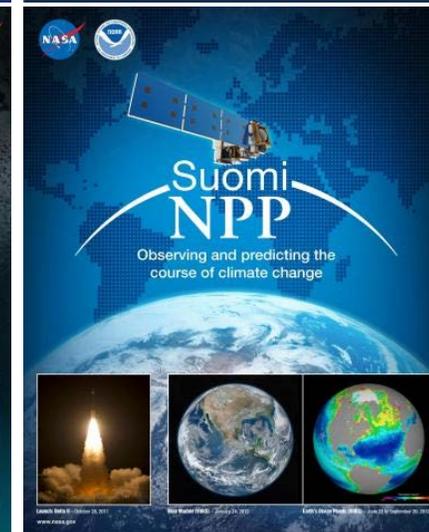
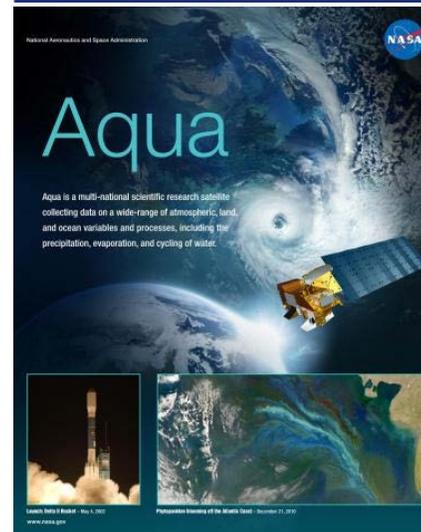
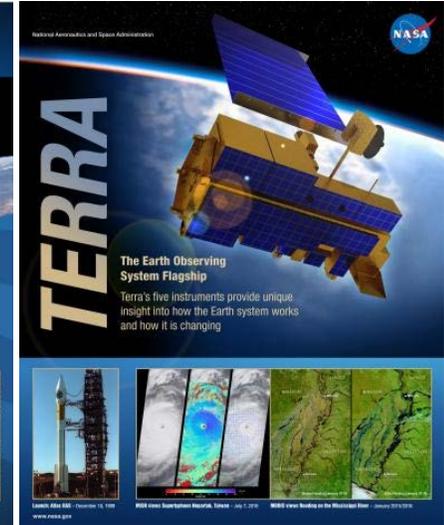
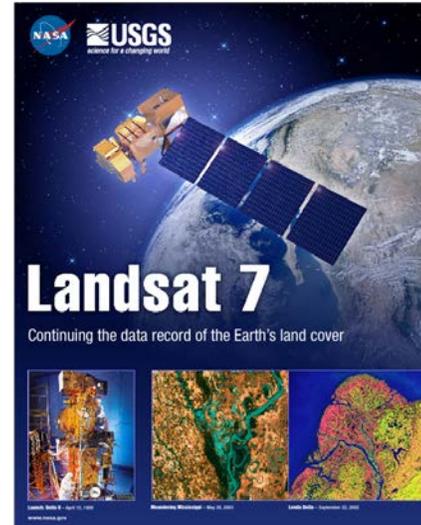
¿Cuáles Factores Causan Cambios en la Calidad del Agua?

- “Eutroficación” por carga de nutrientes
- Contaminación
- Temperatura del Agua (el agua más tibia afecta las floraciones de algas)
- Cambios en la red alimentaria
- Especies introducidas
- Cambios en el flujo de agua
 - ej., después de eventos mayores como huracanes, sequías, o inundaciones



Misiones Satelitales Actuales para el Monitoreo de la Calidad del Agua

- Landsat 7 (15/4/1999 – hoy)
- Landsat 8 (1/2/2013 – hoy)
- Terra (18/12/1999 – hoy)
- Aqua (4/5/2002 – hoy)
- Suomi National Polar Partnership (SNPP) (21/11/2011 – hoy)
- Sentinel-2A (23/6/2015 - hoy)
- Sentinel-2B (7/3/2017 – hoy)
- Sentinel-3A (16/2/2016 – hoy)



Satélites y Sensores para el Monitoreo de la Calidad de Agua

Satélites	Sensores	Resolución
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper (ETM+)	barrido de 185 km; 15 m, 30 m, 60 m; revisita cada 16 días
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	barrido de 185 km; 15 m, 30 m, 60 m; revisita cada 16 días
Terra y Aqua	MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	barrido de 2330 km; 250 m, 500 m, 1 km; revisita cada 1 a 2 días
Suomi NPP	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)	barrido de 3040 km; 375 m – 750 m; revisita cada 1 a 2 días
Sentinel 2A y 2B	Multi Spectral Imager (MSI)	barrido de 290 km; 10 m, 20 m, 60 m; revisita cada 5 días
Sentinel 3A	Ocean and Land Color Instrument (OLCI)	barrido de 1270 km; 300 m; revisita cada 27 días

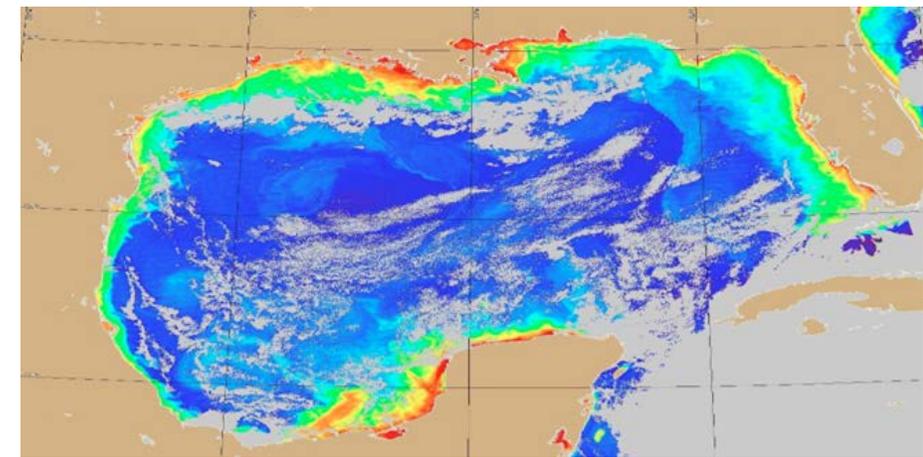
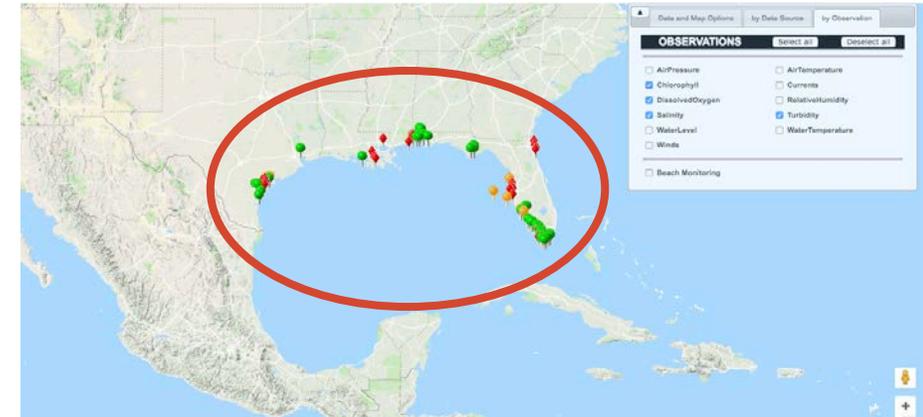
* Consulte el Apéndice A para mayor información sobre las bandas espectrales



Ventajas de las Observaciones Satelitales

- Están disponibles para grandes regiones
 - Son la única fuente de información para ciertos parámetros a nivel mundial
- Existen series temporales largas con una amplia continuidad de datos, las cuales sirven para
 - hacer seguimiento del progreso
 - establecer bases y tendencias
- Son consistentes y comparables
 - entre diferentes países
- Comprenden una diversidad de mediciones
 - varios parámetros físicos diferentes
- Complementan los métodos estadísticos tradicionales
 - Se pueden comparar con datos in situ
- Son gratuitos y de acceso abierto por lo general

Puntos de Muestreo de Agua Limitados



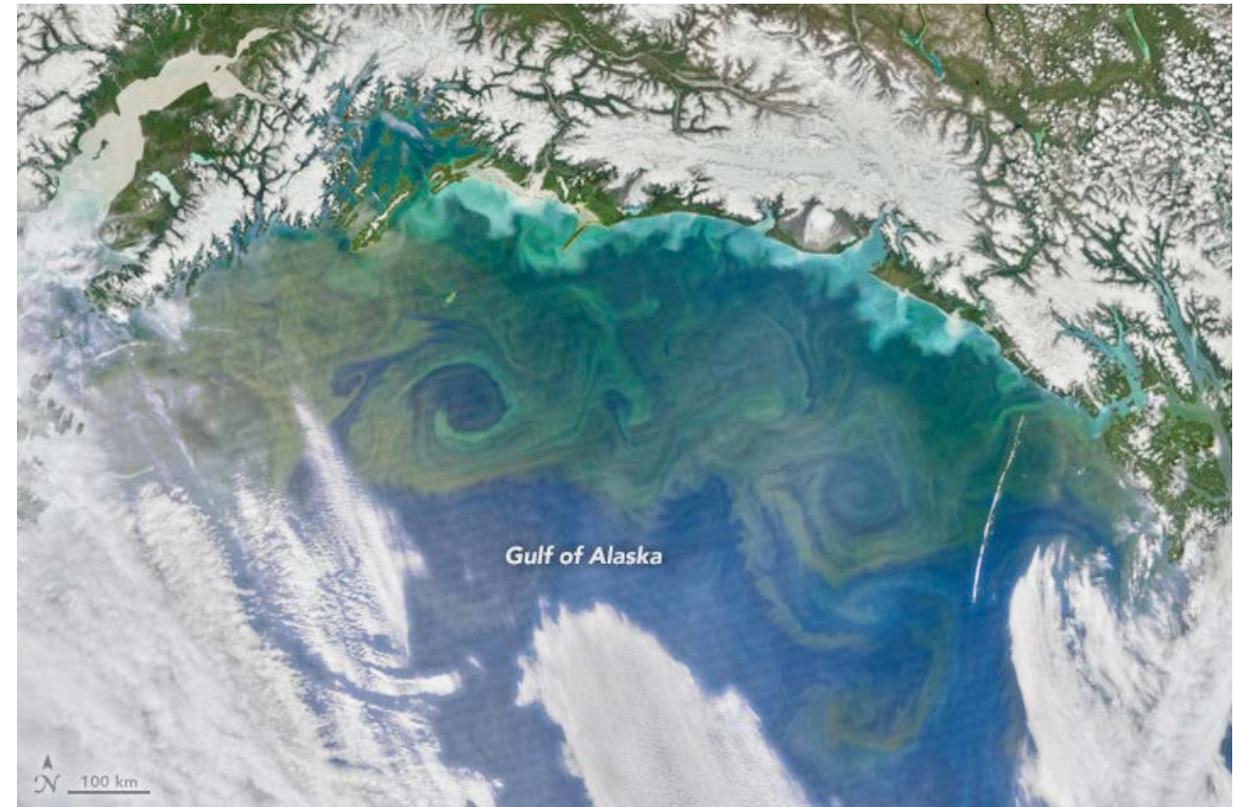
Fuentes de las Imágenes: (super.) <http://data.gcoos.org>; (infer.) Imagen de MODIS Aqua de 2013 mostrando niveles e clorofila-a elevados



Indicadores de la Calidad del Agua Observables por Satélites

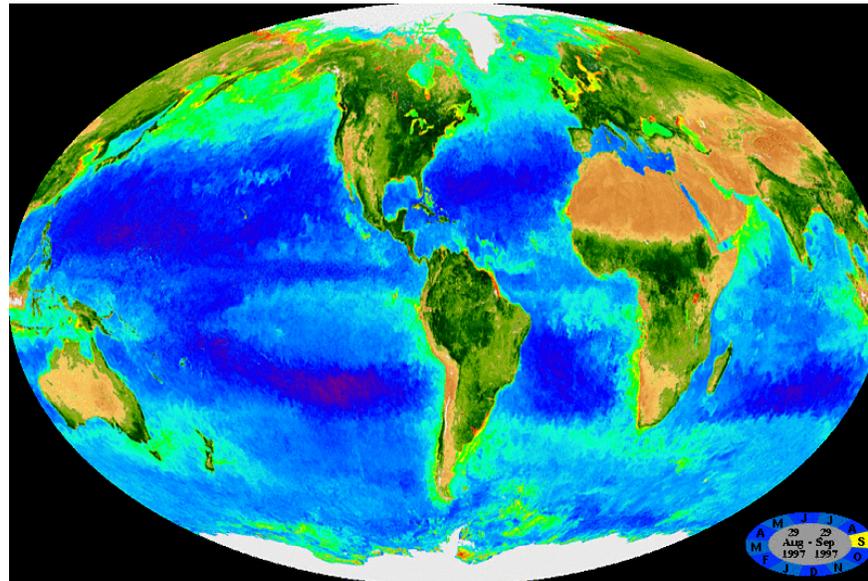
- Turbiedad y Sedimentos
- Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM por sus siglas en inglés)
- Temperatura Superficial Marina (SST por sus siglas en inglés)
- Clorofila-a (fitoplancton)
- Salinidad
- TSS (Sólidos Suspendidos Total por sus siglas en inglés)
- Altura de la Línea de Fluorescencia
- Profundidad Eufótica

Floración de Fitoplancton en el Golfo de Alaska
SNPP-VIIRS 9 de junio de 2016



Monitoreando la Calidad del Agua con la Teledetección

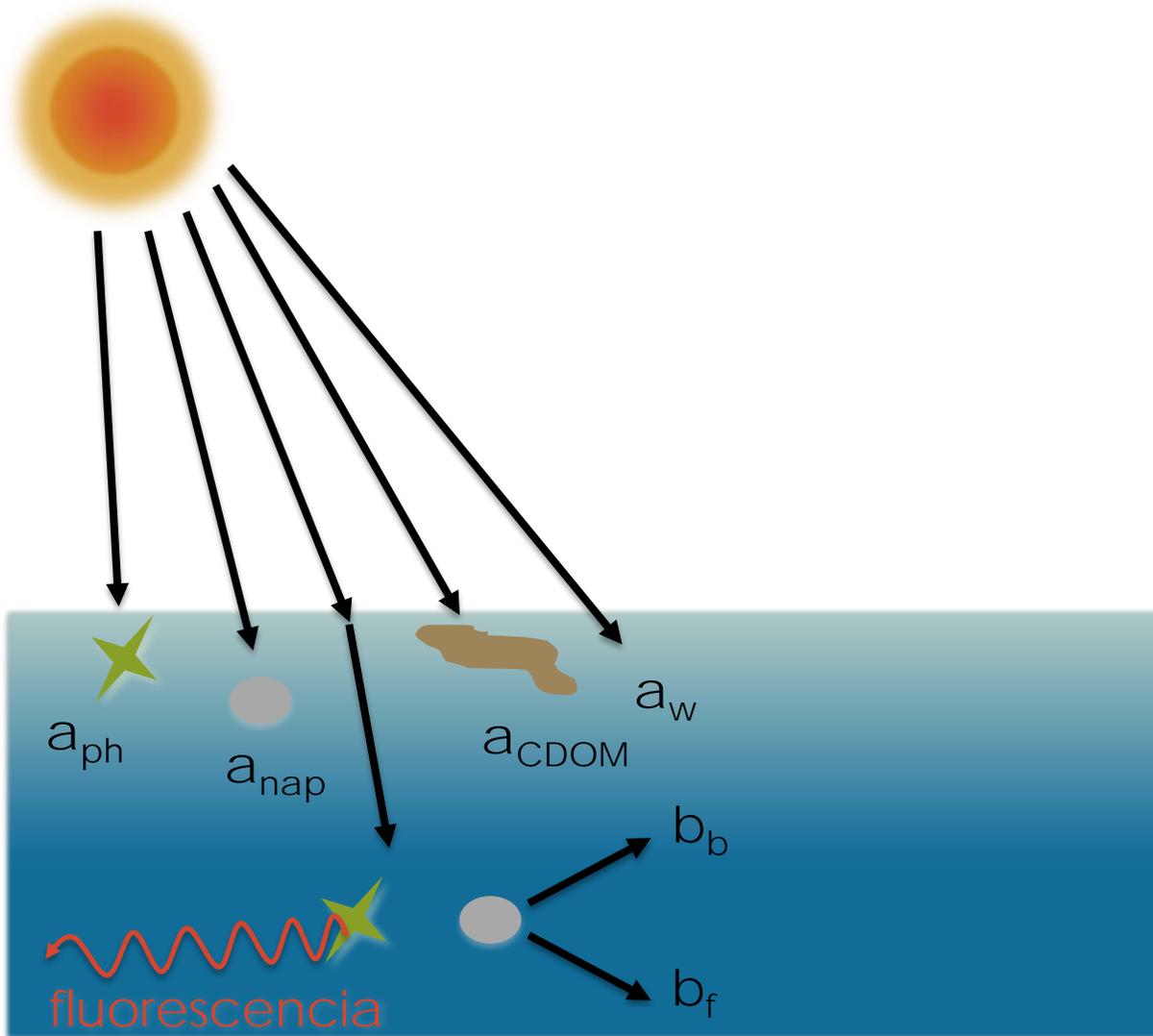
- Normalmente se utilizan bandas ópticas e infrarrojas para monitorear la calidad del agua
- Las mediciones de ETM+, OLI, MODIS, VIIRS, MSI y OLCI cubren gamas ópticas e infrarrojas en diferentes bandas espectrales (Apéndice A)
- Estas mediciones se han utilizado para monitorear la calidad del agua sobre alta mar, aguas costeras, estuarios y lagos continentales



Fuente de la Imagen: Clorofila-a según SeaWiFS



Cómo la Luz Interactúa con el Agua



$$R_{rs}(\lambda, 0^+) \cong C \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)}$$

Propiedades Ópticas Inherentes

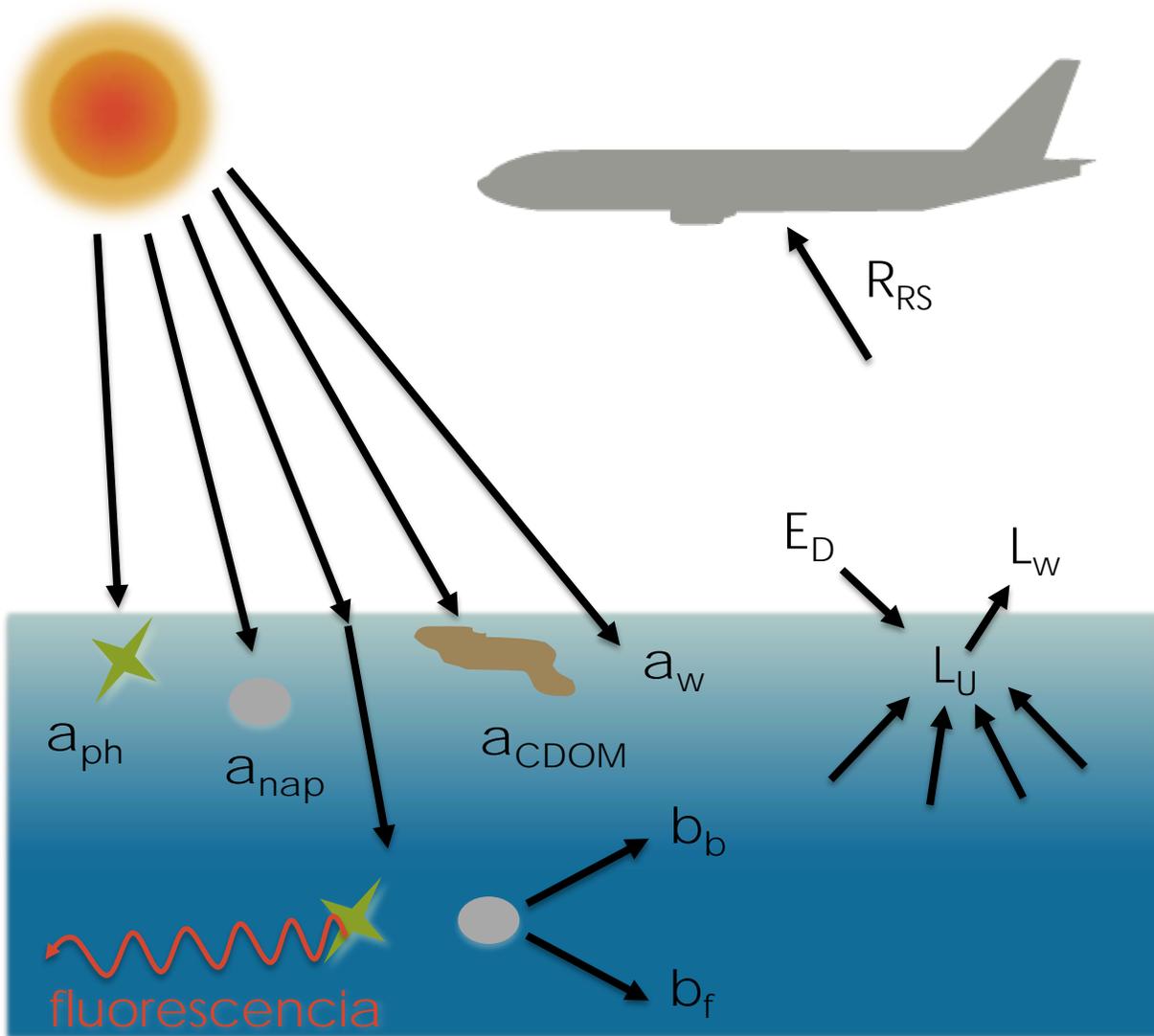
a = absorción por...

- fitoplancton (ph)
- partículas no algales (nap)
- materia orgánica disuelta coloreada (CDOM)
- agua (w)

b = dispersión hacia adelante (f) y hacia atrás (b)



Cómo la Luz Interactúa con el Agua



$$R_{rs}(\lambda, 0^+) \cong C \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} = \frac{L_w(\lambda)}{E_d(\lambda, 0^+)}$$

Propiedades Ópticas Inherentes

a = absorción

b = dispersión

Propiedades Ópticas Aparentes

L_w = radiancia partiendo del agua

L_u = radiancia ascendente

E_d = radiancia descendente

R_{rs} = reflectancia de teledetección (rs)



Las Propiedades Ópticas Inherentes (IOPs) y el 'Color' del Agua

Absorción (a) de la luz por fitoplancton (a_{ph}), partículas no-algales (a_{nap}), agua (a_w) y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM)

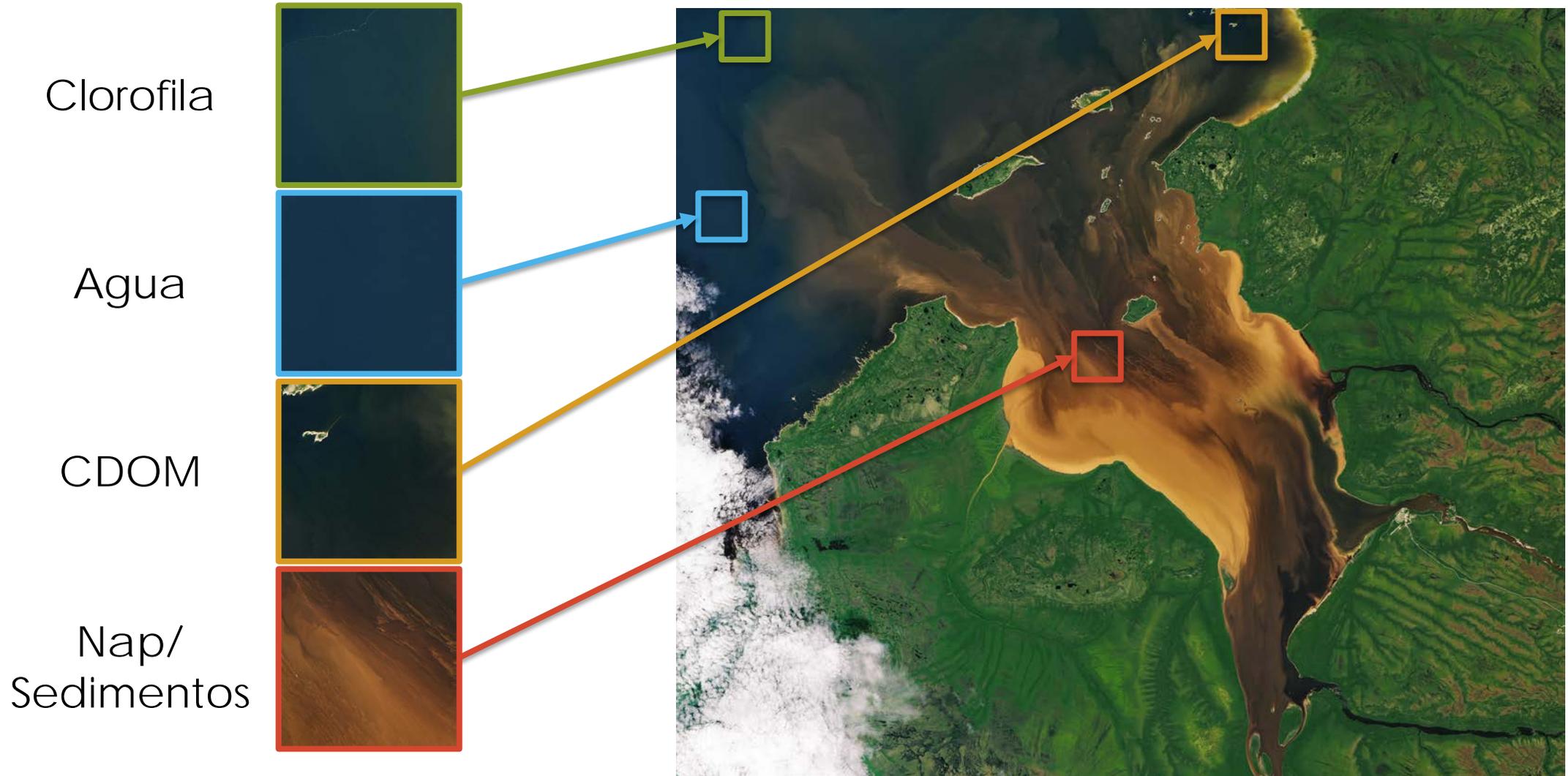
$$a = a_{ph} + a_{nap} + a_{CDOM} + a_w$$

Dispersión (b) de la luz por partículas hacia adelante (b_f) y hacia atrás (b_b)

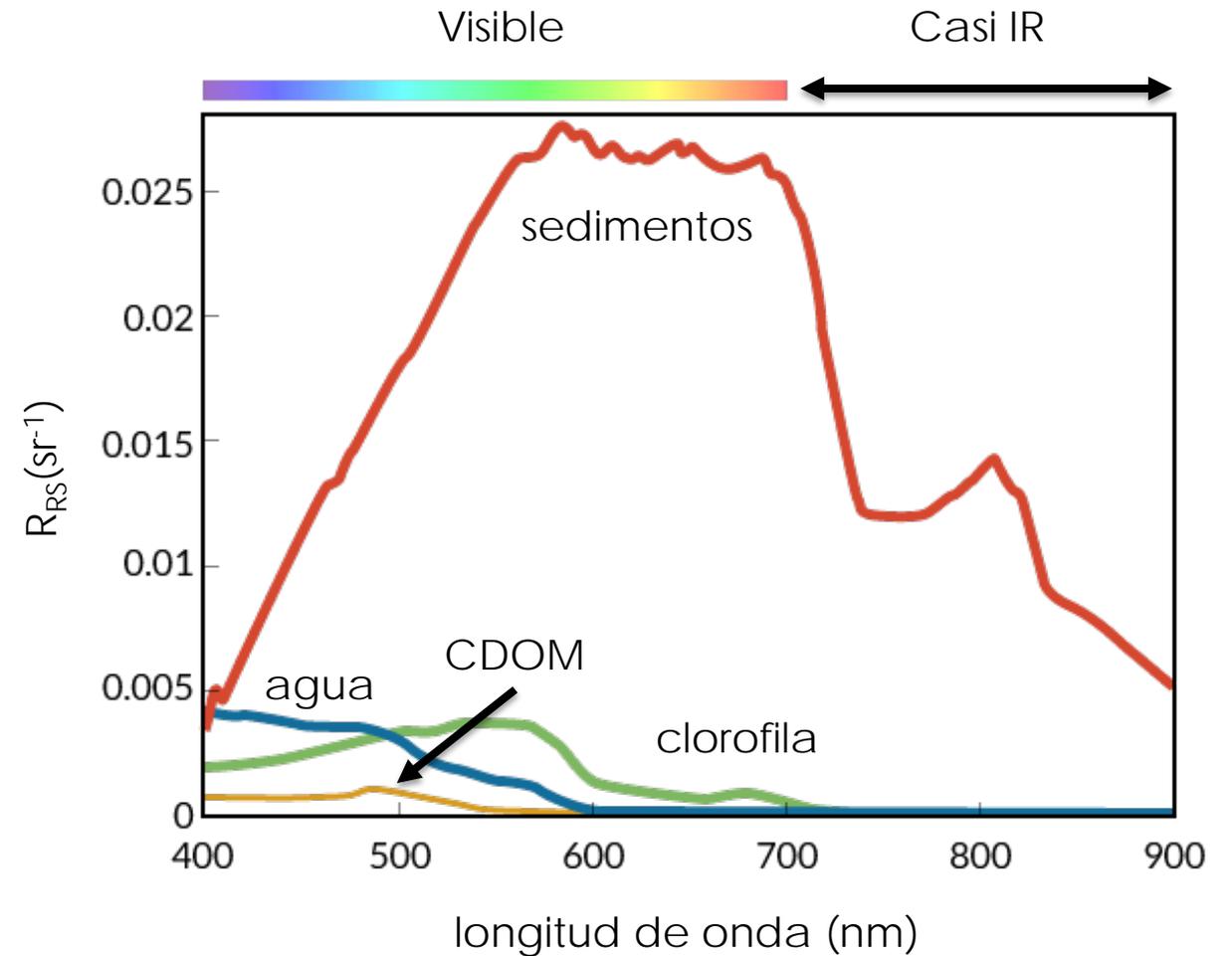
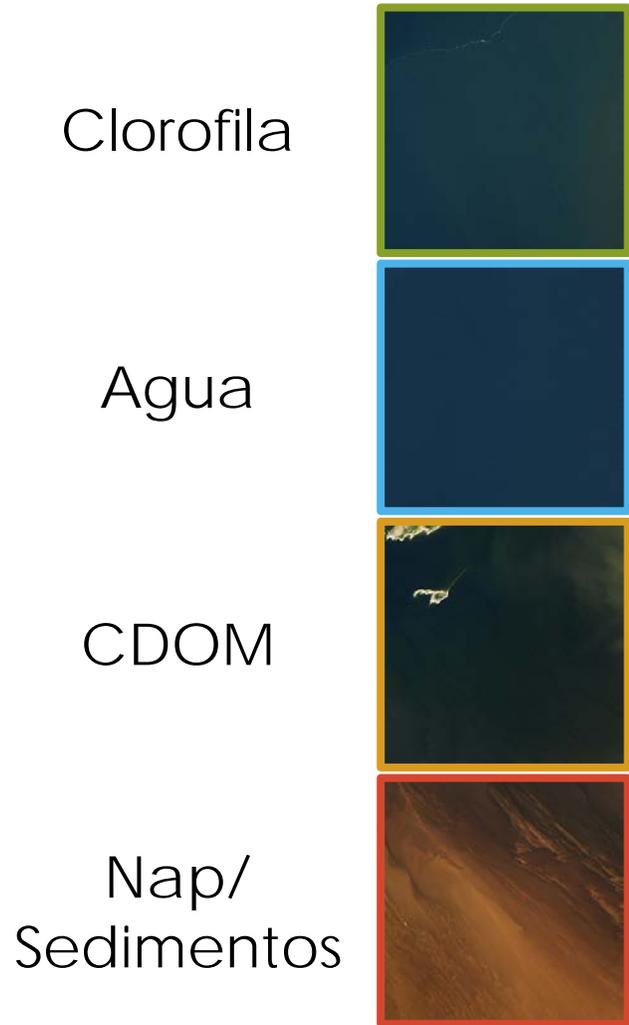
$$b = b_f + b_b$$



Las Propiedades Ópticas Inherentes (IOPs) y el 'Color' del Agua



Las Propiedades Ópticas Inherentes (IOPs) y el 'Color' del Agua



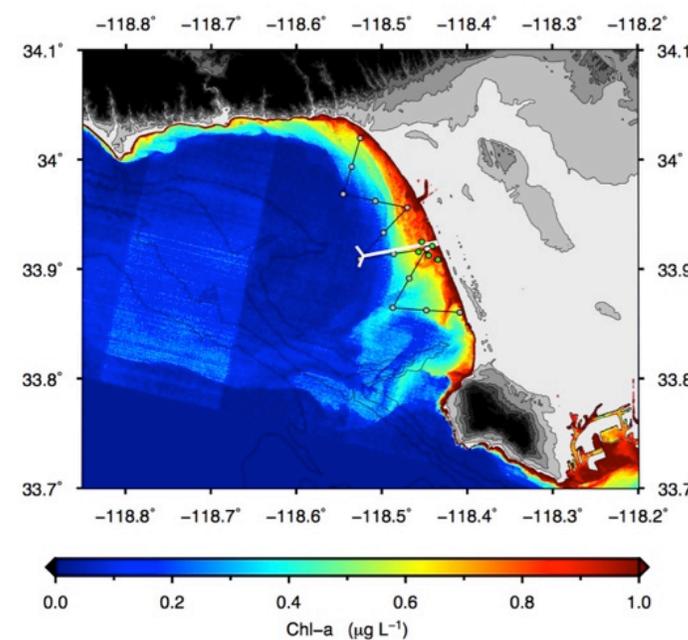
La Teledetección de Masas de Agua

Técnicas

1. Interpretación de una imagen sencilla para derivar **información cualitativa** sobre la calidad del agua



2. Diferentes algoritmos combinan imágenes satelitales corregidas de efectos atmosféricos con mediciones para derivar **información cuantitativa** sobre la calidad del agua

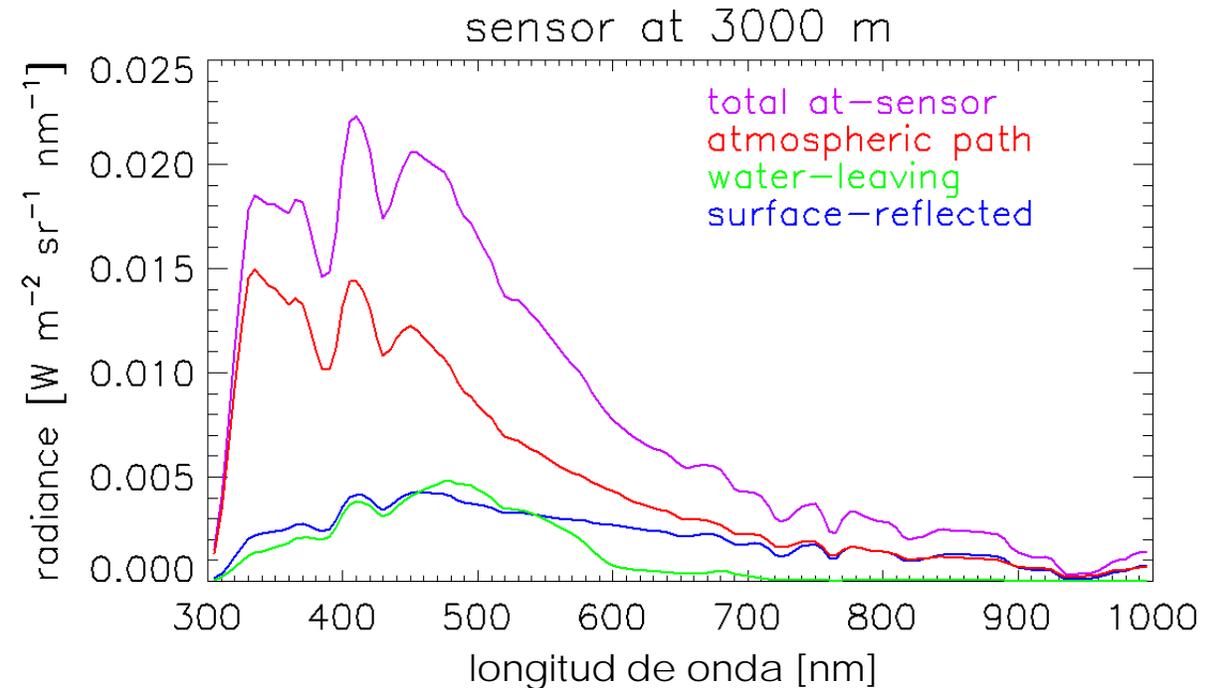


*Requiere
observaciones
in situ*



La Teledetección de Masas de Agua

- Sensores satelitales miden radiancias en la cima de la atmósfera (TOA por sus siglas en inglés)
- Las radiancias TOA son resultado de una combinación de condiciones superficiales y atmosféricas, incluso los efectos de las nubes y partículas de aerosoles
- La radiancia partiendo del agua depende de:
 - la retrodispersión y absorción de la radiación por el agua, sedimentos, fitoplancton y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM)



Fuente de la Imagen: http://www.oceanopticsbook.info/view/remote_sensing/the_atmospheric_correction_problem



La Corrección Atmosférica para el Monitoreo de la Calidad del Agua

- Hay que corregir las observaciones satelitales de niveles de reflectancia debido a los efectos atmosféricos para obtener la reflectancia en la superficie del agua
- Existen varias técnicas de corrección atmosférica
- Requiere modelos de transferencia radiativa junto con información de condiciones atmosféricas, nubes y aerosoles

Ejemplos:

- Algoritmo del NASA Ocean Biology Processing Group:
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/technical/NASA-TM-2016-217551.pdf>
- ***6S**: **S**econd **S**imulation of the Satellite **S**ignal in the **S**olar **S**pectrum: <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

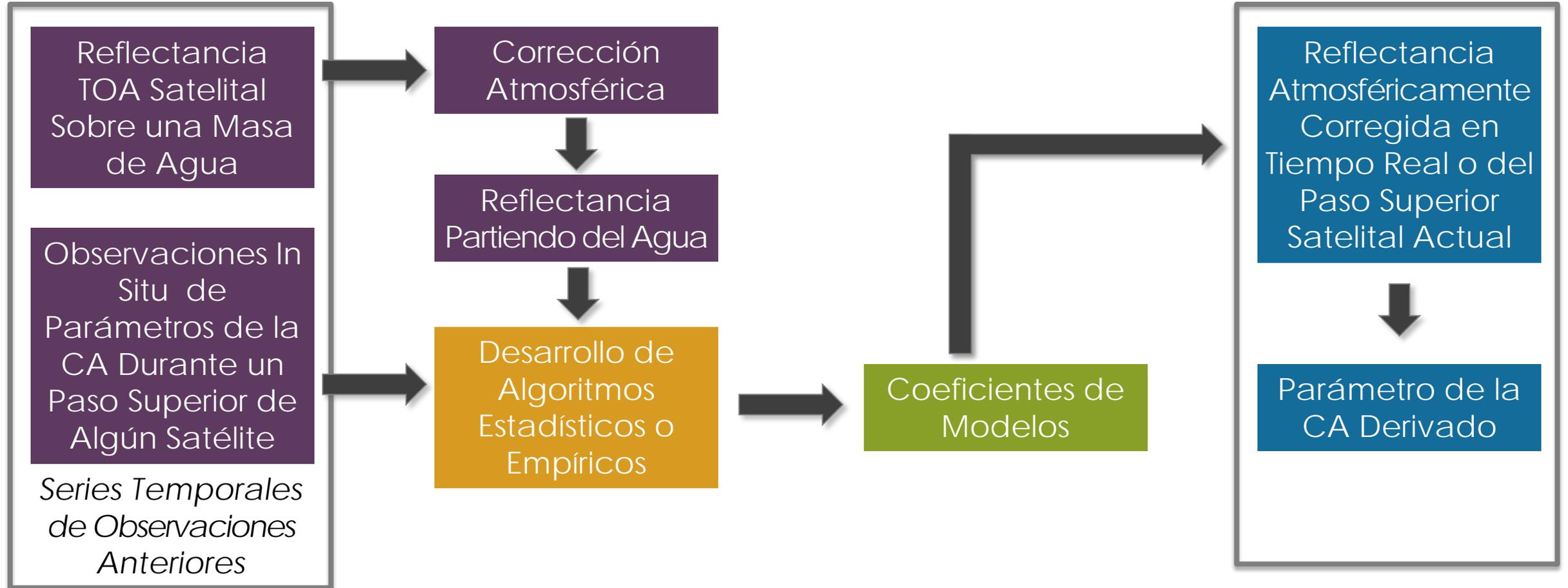
*Vermote, E.E., D. Tanré, J.L. Deuzé, M. Herman y J.-J. Morcrette, [Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview](#), *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 35, No. 3, p. 675-686., 1997. [r12_Stumpf_Tomlinson.pdf](#)



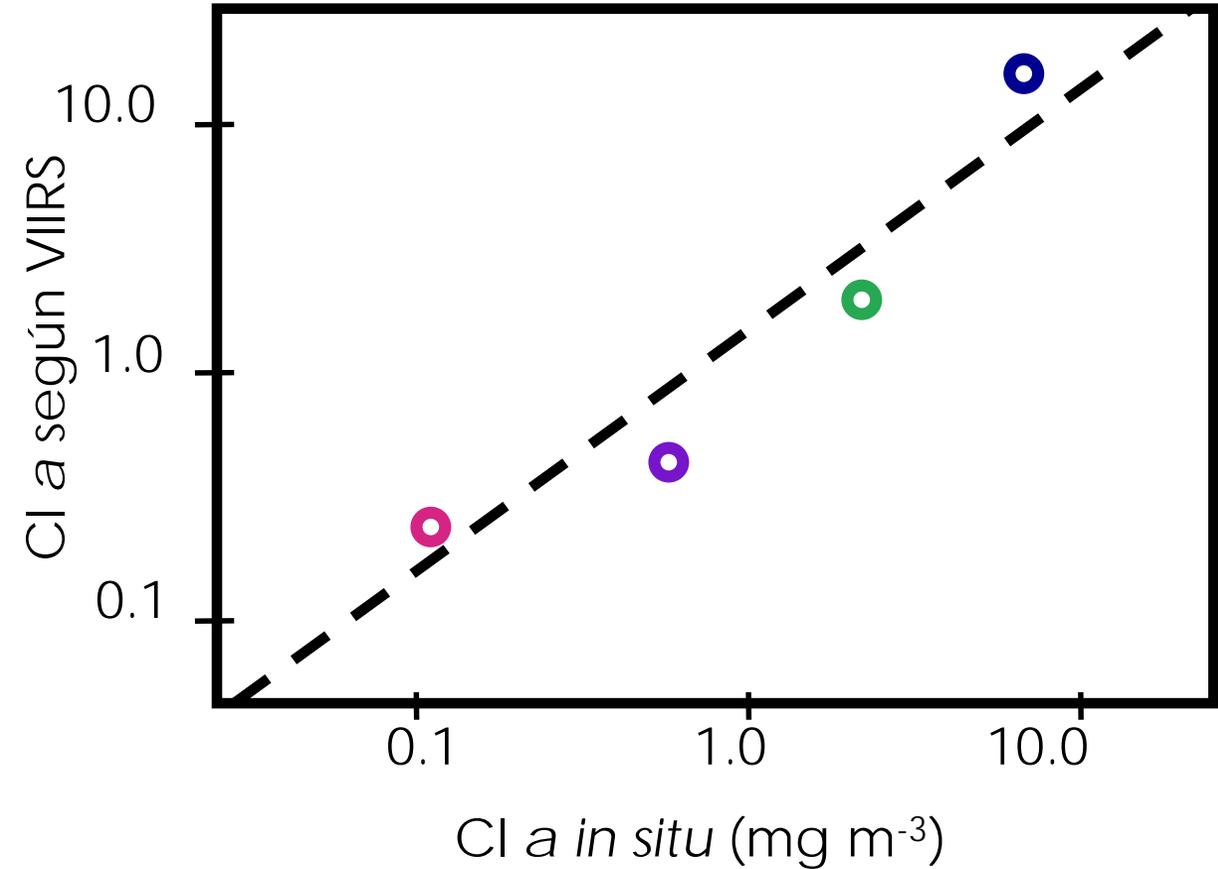
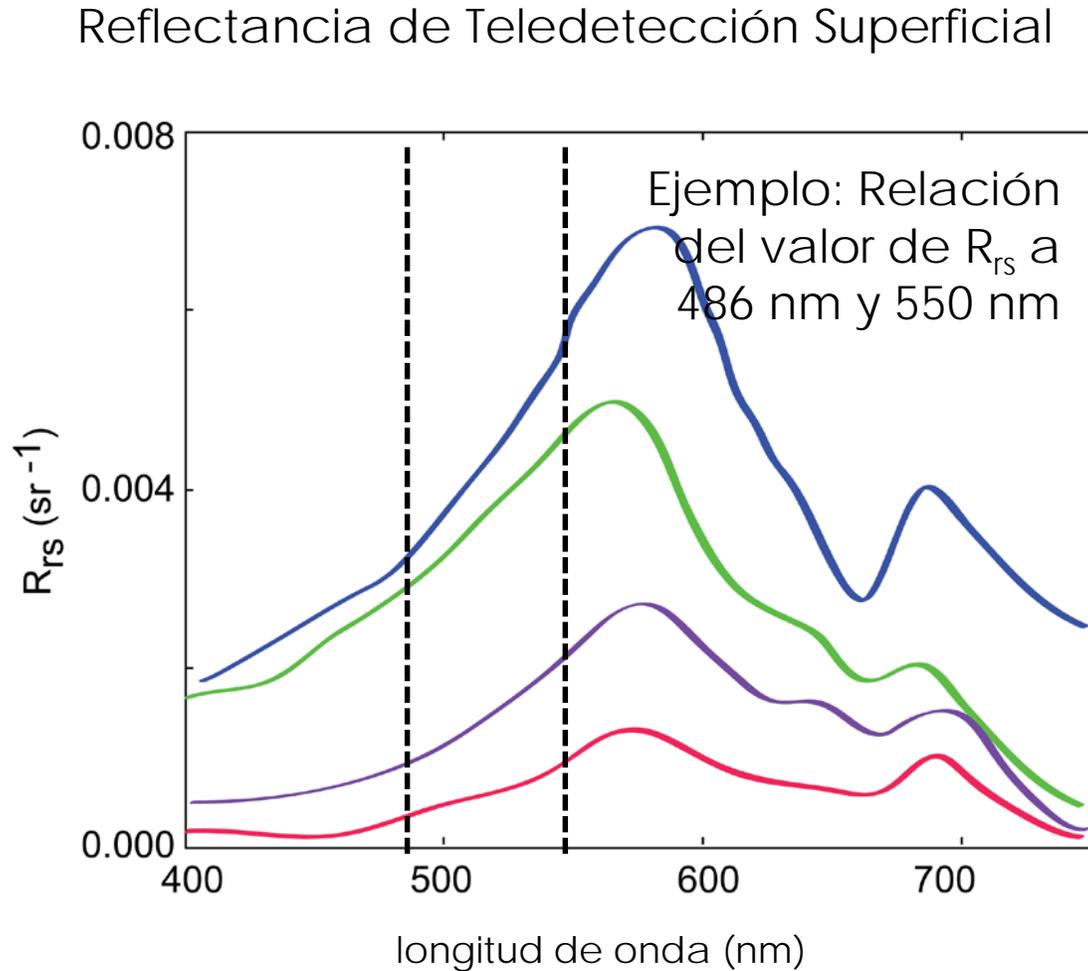
Parámetros de la Calidad del Agua a partir de Observaciones por Teledetección

Técnica Cuantitativa

Desarrollo del Algoritmo

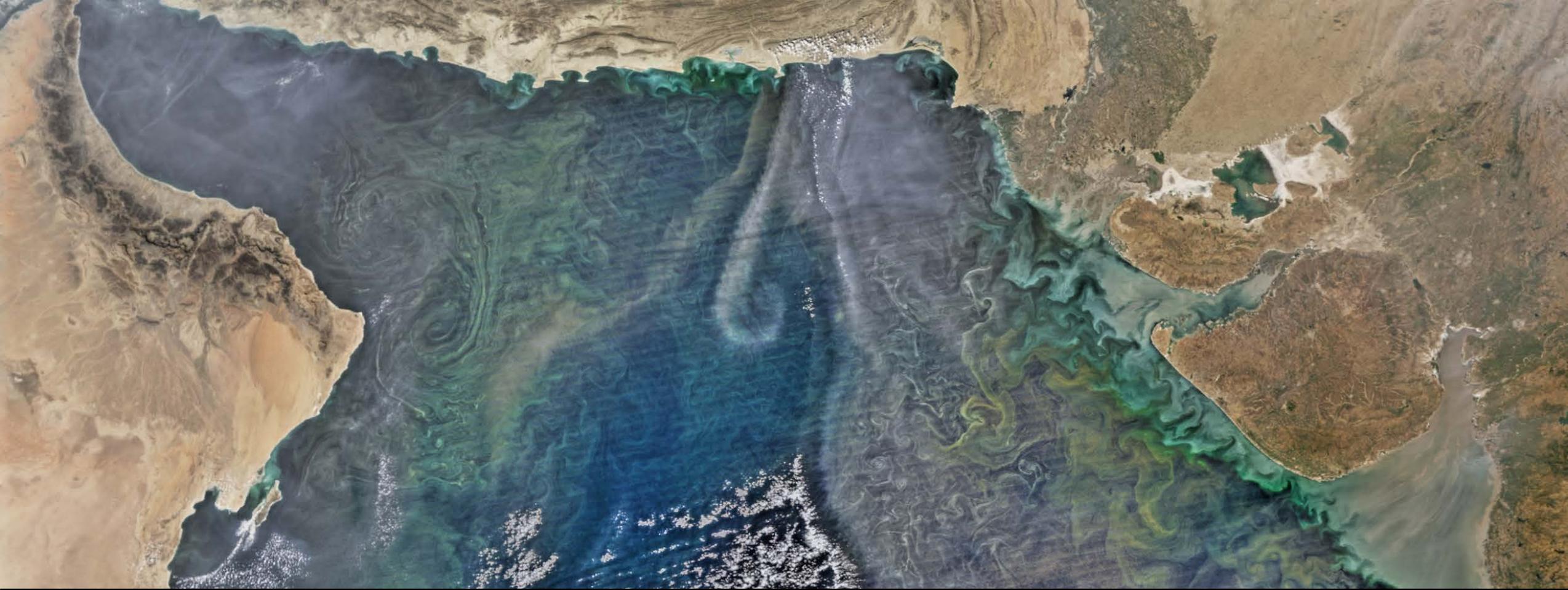


Ejemplo: Estimaciones de Clorofila-a a partir de Relaciones de Reflectancia



Descripción del Algoritmo: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/atbd/chlor_a





Monitoreando la CA en Aguas Costeras y
Continental

Consideraciones sobre Fuentes de Datos por Teledetección

- ¿Cuáles son las condiciones **geográficas y atmosféricas** (especialmente cobertura nubosa persistente) que existen?
- ¿Cuál es la **resolución espacial** de los datos y cuán apropiada es, relativo al tamaño de la masa de agua a ser monitoreada?
- ¿Cuál es la **resolución temporal** en términos de posible frecuencia de adquisición de observaciones sin nubes comparada con la frecuencia de monitoreo deseada?
- ¿Cuáles son las **regiones espectrales** y las bandas dentro de ellas y cómo se relacionan éstas con la posibilidad de distinguir la calidad del agua?
- ¿Cuál es la **longevidad de duración del archivo de imágenes** – satisface las necesidades de mapeo histórico?
- ¿Cuáles son las **implicaciones para el costo** de estos datos en cuanto a adquisición y análisis?
- ¿Cuáles son los compromisos de **desarrollo de satélites futuros** y su lanzamiento?



NASA Ocean Color Web del Ocean Biology Processing Group

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

- Fue diseñado principalmente para océanos costeros y alta mar
- Es útil para el monitoreo de lagos y estuarios 'grandes'
- Informa datos históricos y actuales de varios satélites y sensores
- Enfocado en procesar imágenes por teledetección para derivar **Concentración de Clorofila (Ch)** y **Temperatura Superficial Marina (SST)**



Datos de NASA Ocean Color

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/>

- Los algoritmos se derivan en base a relaciones entre bandas espectrales y mediciones in situ de SeaBASS
 - <https://seabass.gsfc.nasa.gov>

Standard Ocean Color Products

Chlorophyll *a* (chlor_a; mg m⁻³)

The concentration of the photosynthetic pigment chlorophyll *a*.

Diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance at 490 nm (Kd_490; m⁻¹)

The diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance over the first optical attenuation layer.

Inherent Optical Properties (IOPs; m⁻¹)

The spectral marine absorption and backscattering coefficients of water column constituents.

Particulate Organic Carbon (POC; mg m⁻³)

The concentration of particulate organic carbon.

Particulate Inorganic Carbon (PIC; mol m⁻³)

The concentration of particulate inorganic carbon.

Photosynthetically Available Radiation (PAR; Einstein m⁻² d⁻¹)

Daily mean photosynthetically available radiation (PAR) at the ocean surface.

Instantaneous Photosynthetically Available Radiation (iPAR; Einstein m⁻² s⁻¹)

PAR the ocean surface at the time of the satellite observation. (MODIS only)

Normalized Fluorescence Line Height (nFLH; mW cm⁻² μm⁻¹ sr⁻¹)

Relative measure of water-leaving radiance associated with chlorophyll fluorescence. (MODIS only)

Remote Sensing Reflectance (Rrs; sr⁻¹)

The at-surface spectral remote-sensing reflectances observed by the satellite instrument after atmospheric correction. The aerosol optical thickness and Ångström data products are also described.

Standard Sea Surface Temperature Products

11 μm Sea Surface Temperature (SST; °C)

Sea surface temperature derived from long-wave (11-12 μm) thermal radiation. (MODIS & VIIRS)

4 μm Sea Surface Temperature (SST4; °C)

Sea surface temperature derived from short-wave (3-4 μm) thermal radiation. (MODIS only)



Algoritmos de Productos de Datos de NASA Ocean Color

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/>

- Algoritmos para derivar productos de Ocean Color (OC) a partir de MODIS y VIIRS
- El algoritmo OC es una relación polinomial de cuarto orden entre un cociente de R_{rs} y $chlor_a$

$$\log_{10}(chlor_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left(\log_{10} \left(\frac{R_{rs}(\lambda_{blue})}{R_{rs}(\lambda_{green})} \right) \right)^i$$

- Las SST se derivan de radiancias de ventanas infrarrojas (11 y 4 micrones)

- El algoritmo para Carbono Orgánico Particulado (POC por sus siglas en inglés) es una relación que sigue una ley potencial entre una relación de R_{rs} de MODIS y POC

$$poc = a \times (R_{rs}(443) / R_{rs}(557))^b$$

- Carbono Inorgánico Particulado (PIC)
 - método que utiliza dos bandas: radiancias partiendo del agua normalizadas en dos bandas cerca de 443 y 555 nm
 - método de 3 bandas: reflectancia en la cima de atmósfera espectral a tres longitudes de onda cerca de 670, 750 y 870 nm



Algoritmos para Productos de Datos del Color Oceánico de la NASA

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/>

- Kd490, un coeficiente de atenuación difusa:
 - Indica cuán fuertemente se atenúa la intensidad de la luz de cierta longitud de onda dentro de la columna de agua
 - Es útil para
 - caracterizar las propiedades ópticas del agua
 - clasificar tipos de agua (por ejemplo, Caso 1 o 2)
 - Es un parámetro crítico para la estimación exacta de la intensidad de la luz en la profundidad
 - Es útil para medir la turbiedad y transparencia del agua
 - Se deriva por medio de una relación empírica entre Kd(490) y la tasa de radiancia partiendo del agua azul-verde normalizada (NASA Ocean Color Processing Group)



Algoritmos para Productos de Datos del Color Oceánico de la NASA

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/>

- Altura de la Línea de Fluorescencia Normalizada (normalizada respecto a la irradiancia solar)
 - Es una medida de la emisión de fluorescencia de la clorofila de fitoplancton inducida por el sol a ~678 nm
 - Sirve para mejorar estimaciones de fotosíntesis en el océano
 - Ayuda a resolver interacciones entre el clima y el fitoplancton
 - Caracteriza el estrés férrico en el océano global
- Se deriva de la diferencia entre el $nLw(678)$ observado y un $nLw(678)$ linealmente interpolado de dos bandas colindantes. (NASA Ocean Color Processing Group)



Algoritmos de Productos de la Calidad del Agua

- Se utilizan varias combinaciones espectrales en diferentes algoritmos para derivar los parámetros de la calidad del agua (Gholizadeh et al. 2016)
- Aparte de los datos de NASA Ocean Color en base a MODIS y VIIRS, varios estudios han utilizado Landsat 5, 7 y 8 para derivar parámetros de la calidad del agua



Floraciones de Algas Nocivas (HABs por sus siglas en inglés)

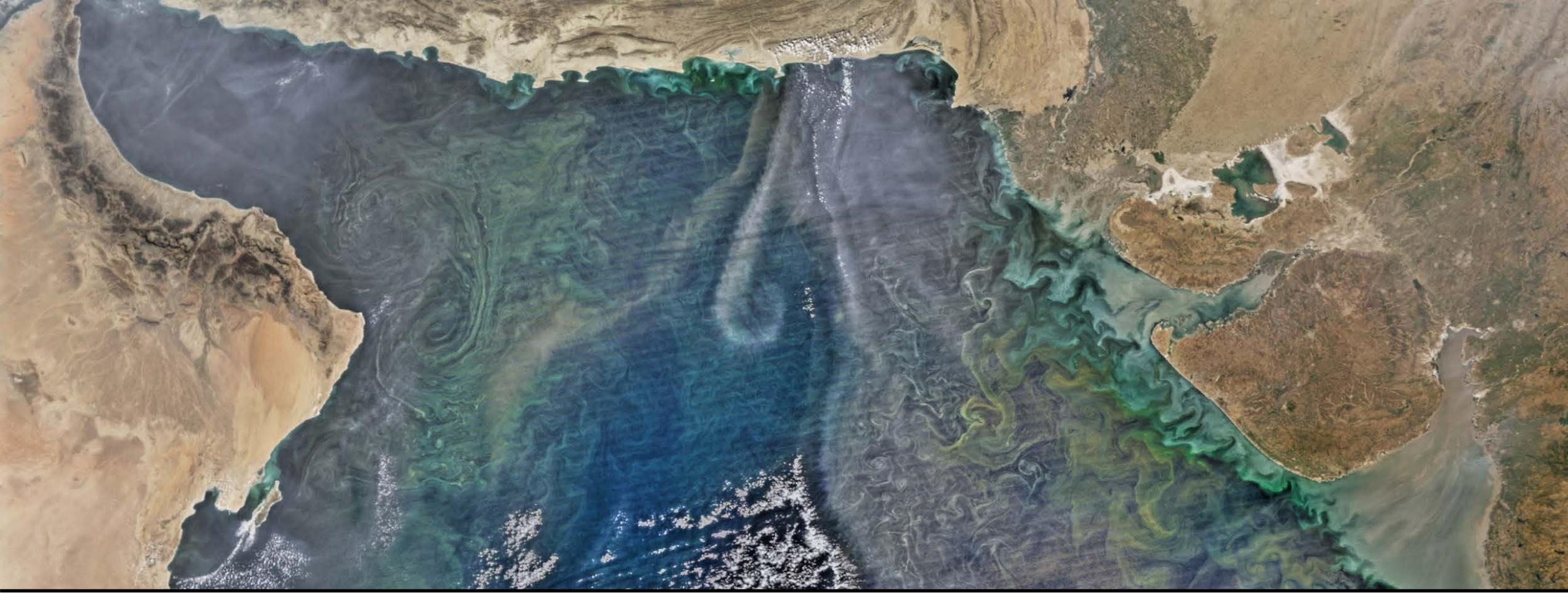
<https://arset.gsfc.nasa.gov/water/webinars/HABs17>

- Las HABs ocurren cuando colonias de algas crecen fuera de control
 - algas: plantas simples de agua dulce y marina
- Las HABs:
 - Producen toxinas
 - Causan pérdidas económicas
 - Contaminan el agua potable
 - Asfixian organismos bentónicos
 - Agotan el oxígeno
 - Atenúan la luz que llega a la vegetación subacuática o corales
- Generalmente, la clorofila_a sirve de indicador de HABs
- También se puede utilizar anomalías (desviaciones del valor medio) de clor_a y propiedades ópticas inherentes como indicadores de HABs



Imagen: Landsat 8 (OLI) Aug 1, 2014





Demostración de Herramientas en Línea de la NASA para el Acceso a Datos de la Calidad del Agua

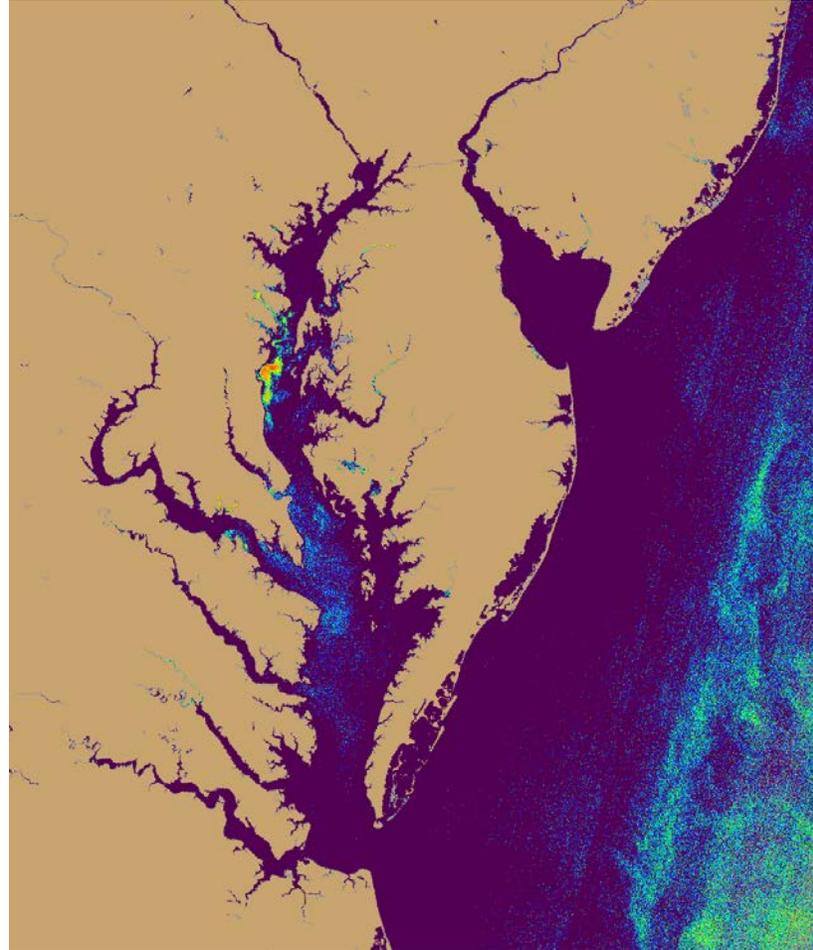
Herramientas en Línea

- Búsqueda de datos, creación de sub-sets espaciales y temporales, análisis y visualización:
 - Giovanni: <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
 - OceanColor Web: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>



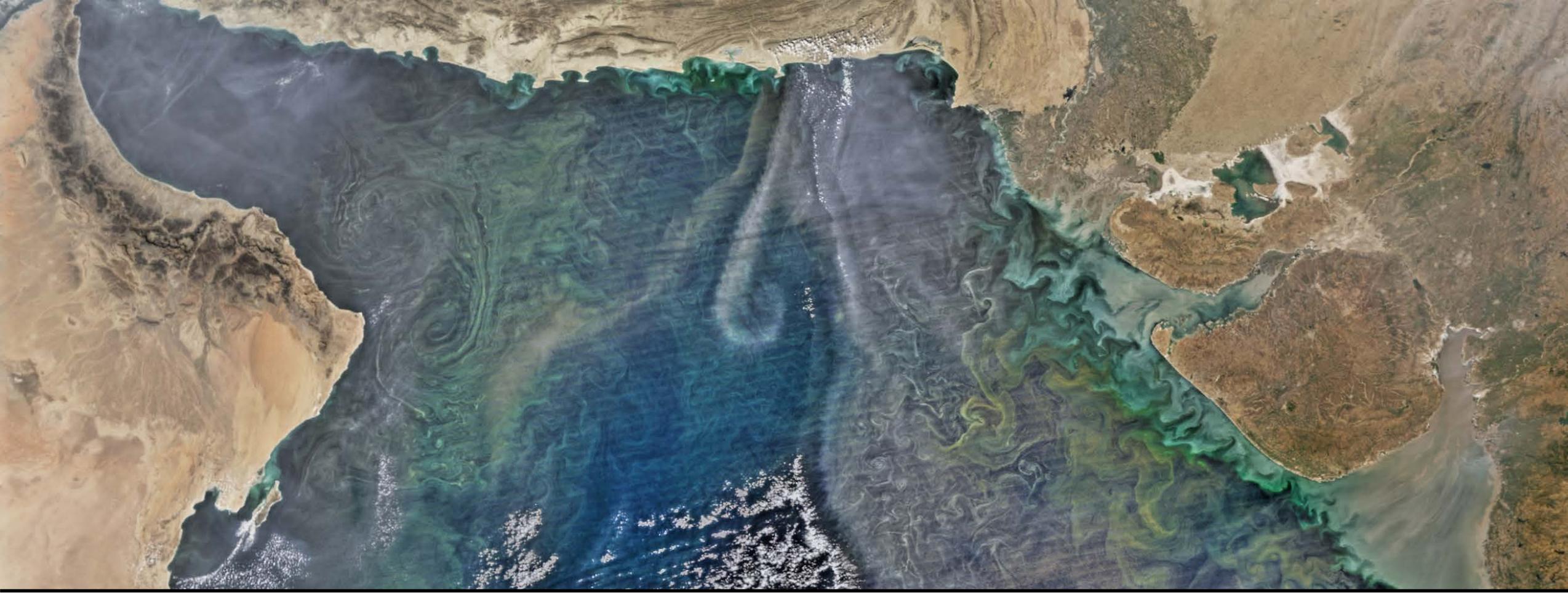
Estudio de Caso: Floración de Algas en la Bahía de Chesapeake - Primavera 2018

<http://eyesonthebay.dnr.maryland.gov/eyesonthebay/habs.cfm>

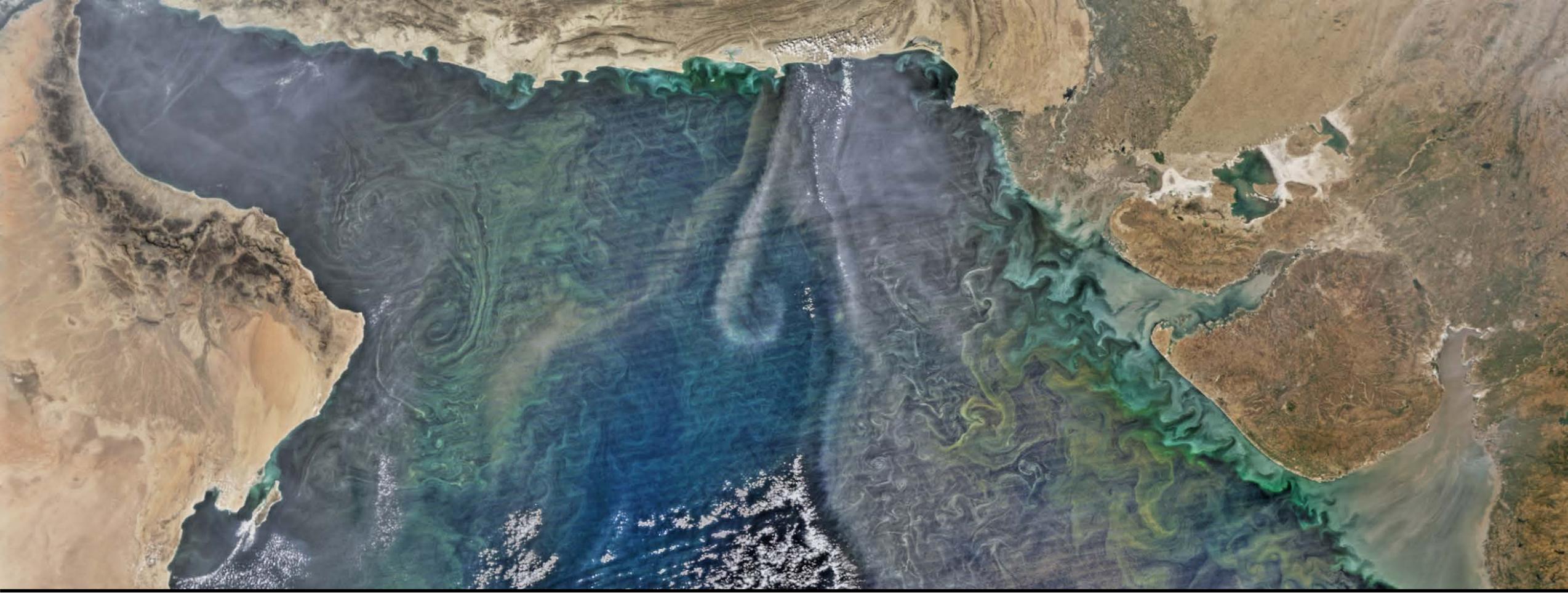


Detección por satélite de la floración de algas en la bahía de Chesapeake el 1º de mayo de 2018. Fuente: NOAA, Sentinel 3





Ejercicio: El Lago Victoria



Apéndice A

Bandas de Landsat

Landsat 7 ETM+

Banda	Gama de Longitudes de Onda (μm)	Resolución Espacial (m)
1	0,45 – 0,515	30
2	0,525 – 0,605	
3	0,63 – 0,69	
4	0,775 – 0,90	
5	1,55 – 1,75	
6	10,4 – 12,5	60
7	2,08 – 2,35	30
8	0,52 – 0,9	15

Landsat 8 OLI

Banda	Gama de Longitudes de Onda (μm)	Resolución Espacial (m)
1	0,433 – 0,453	30
2	0,450 – 0,515	
3	0,525 – 0,60	
4	0,630 – 0,680	
5	0,845 – 0,885	
6	2,10 – 2,30	
7	0,500 – 0,680	
8	2,08 – 2,35	15
9	1,36 – 1,39	30

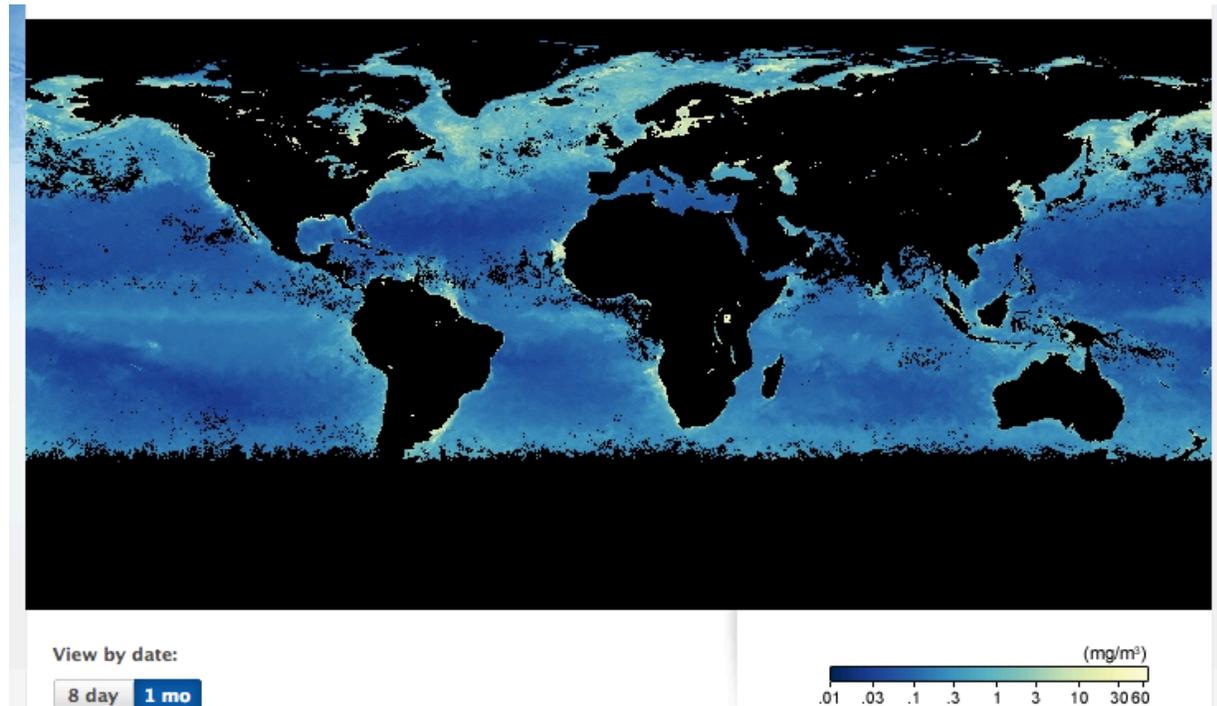


Bandas de MODIS Relevantes al Monitoreo de HABs

Banda	Gama μm
8	0,405-0,420
9	0,438-0,448
10	0,483-0,493
11	0,526-0,536
12	0,546-0,556
13	0,662-0,672
14	0,673-0,683
15	0,743-0,753

Resolución Espacial: 1 km

Concentración de Clorofila según Aqua
MODIS, Junio 2017

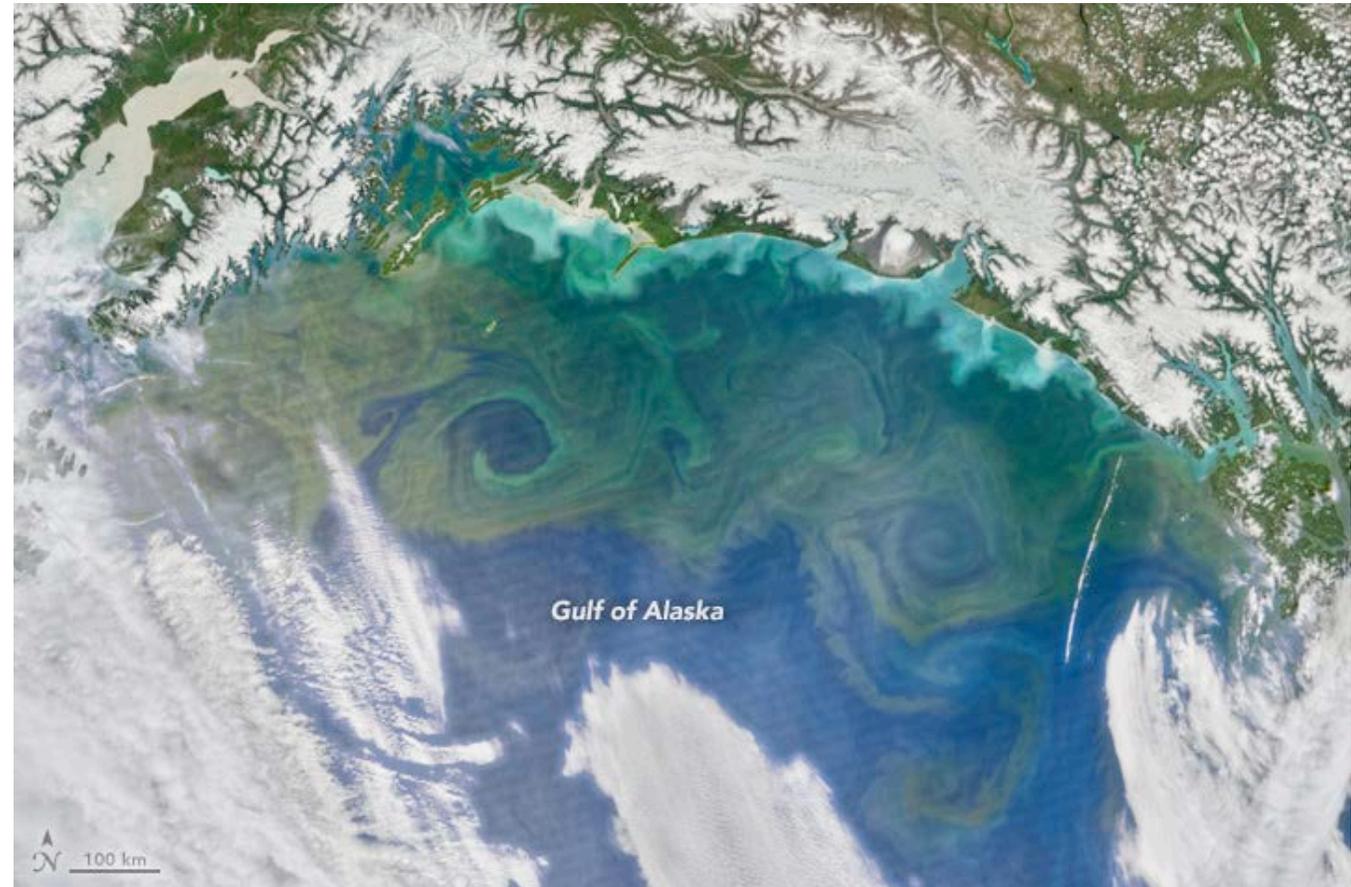


Bandas de VIIRS Relevantes para el Monitoreo de HABs

Floración de Fitoplancton en el Golfo de Alaska, desde VIIRS, 9 de Junio de 2016

Banda	Gama μm
M1	0,402-0,422
M2	0,436-0,454
M3	0,478-0,488
M4	0,545-0,565
M5	0,662-0,682
M6	0,739-0,745

Resolución Espacial: 750 m



Bandas de MSI

<https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>

Band Number	S2A		S2B		Spatial resolution (m)
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	
1	443.9	27	442.3	45	60
2	496.6	98	492.1	98	10
3	560.0	45	559	46	10
4	664.5	38	665	39	10
5	703.9	19	703.8	20	20
6	740.2	18	739.1	18	20
7	782.5	28	779.7	28	20
8	835.1	145	833	133	10
8a	864.8	33	864	32	20
9	945.0	26	943.2	27	60
10	1373.5	75	1376.9	76	60
11	1613.7	143	1610.4	141	20
12	2202.4	242	2185.7	238	20

Floración de Algas en Medio del Mar Báltico, Sentinel-2 MSI, 7 Ago. 2015

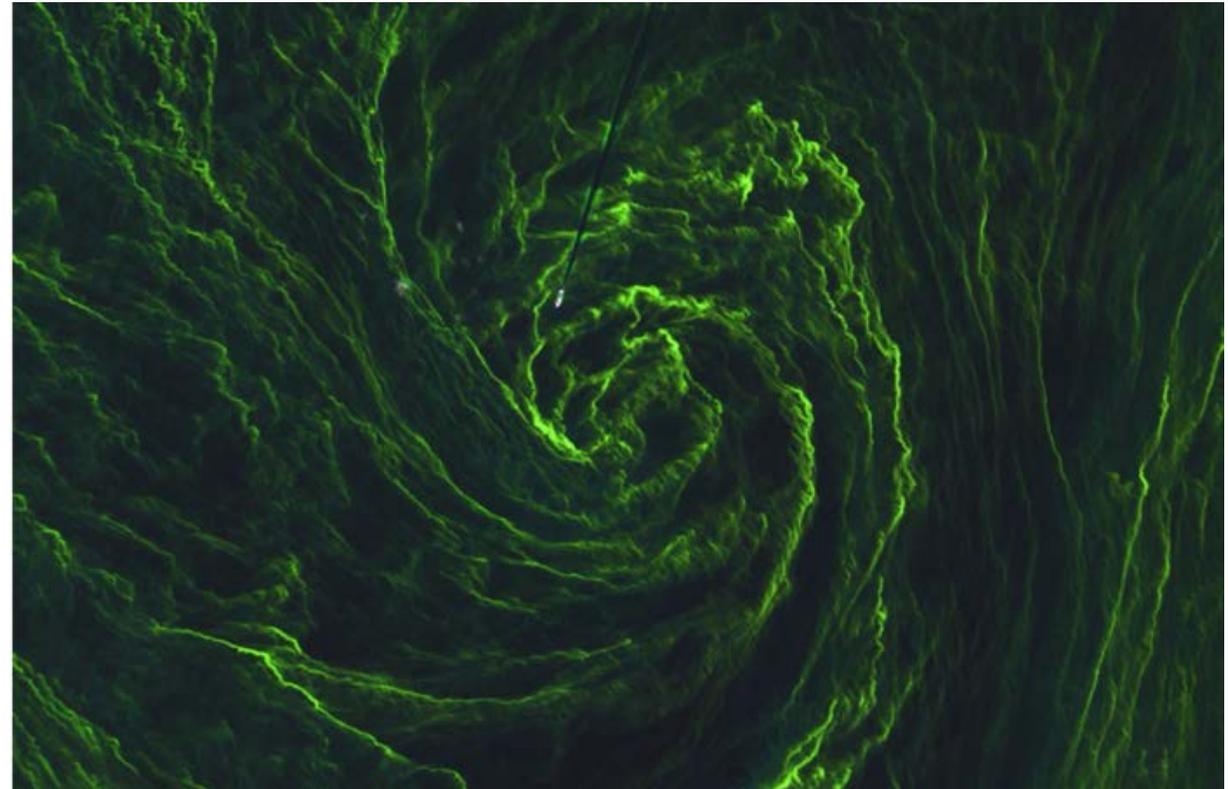


Imagen: Datos de Copernicus Sentinel (2015)/ESA, [CC BY-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)



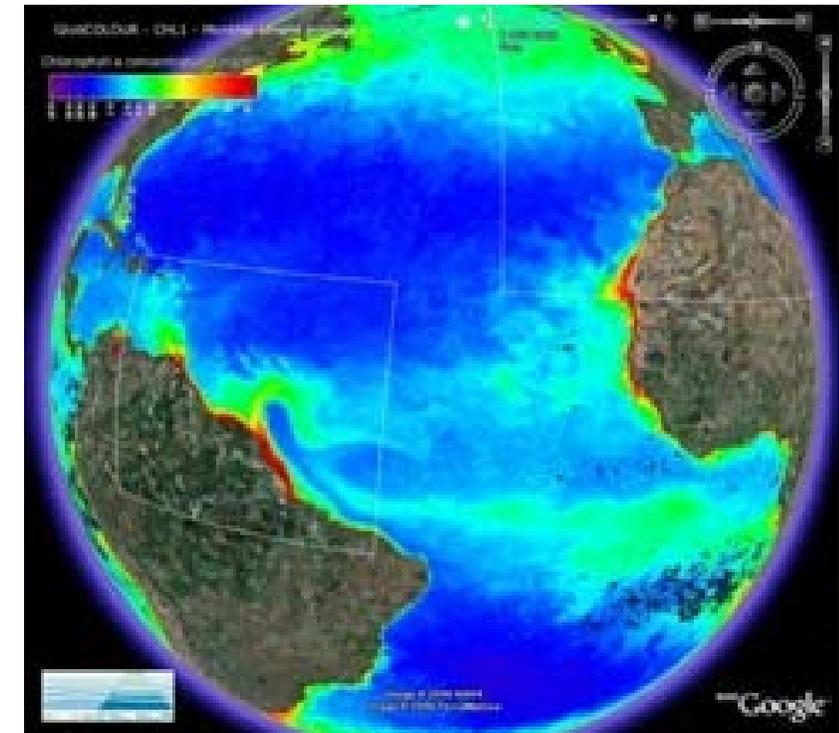
Bandas de OLCI

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci>

Band	λ centre (nm)	Width (nm)
Oa1	400	15
Oa2	412.5	10
Oa3	442.5	10
Oa4	490	10
Oa5	510	10
Oa6	560	10
Oa7	620	10
Oa8	665	10
Oa9	673.75	7.5
Oa10	681.25	7.5
Oa11	708.75	10
Oa12	753.75	7.5

Band	λ centre (nm)	Width (nm)
Oa13	761.25	2.5
Oa14	764.375	3.75
Oa15	767.5	2.5
Oa16	778.75	15
Oa17	865	20
Oa18	885	10
Oa19	900	10
Oa20	940	20
Oa21	1 020	40

Concentración de Clorofila en Base a Sentinel-3 OCL



Fuente de la Imagen: ESA/ACRI-ST





Gracias