



Monitoreo de la Calidad de Aguas Costeras y Estuarinas: La Transición de MODIS a VIIRS

Introducción a las Observaciones de Teledetección para el Monitoreo de la Calidad del Agua en los Estuarios

Amita Mehta, Juan Torres-Pérez, Sean McCartney

14 de septiembre de 2021

Objetivos de la Capacitación

Después de participar en la capacitación, las/los participantes podrán:

- Reconocer la importancia de las aguas costeras y estuarinas y por qué se debería monitorear la calidad del agua en ellas
- Dar ejemplos de indicadores de la calidad del agua que los satélites pueden observar
- Identificar datos satelitales actuales que son útiles para el monitoreo de la calidad del agua
- Procesar imágenes de MODIS¹ y VIIRS² usando SeaDAS³ para obtener parámetros de la calidad del agua
- Aplicar las técnicas del monitoreo de la calidad del agua en regiones costeras y estuarinas

¹MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

²VIIRS: Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

³SeaDAS: SeaWiFS Data Analysis System



Prerrequisitos

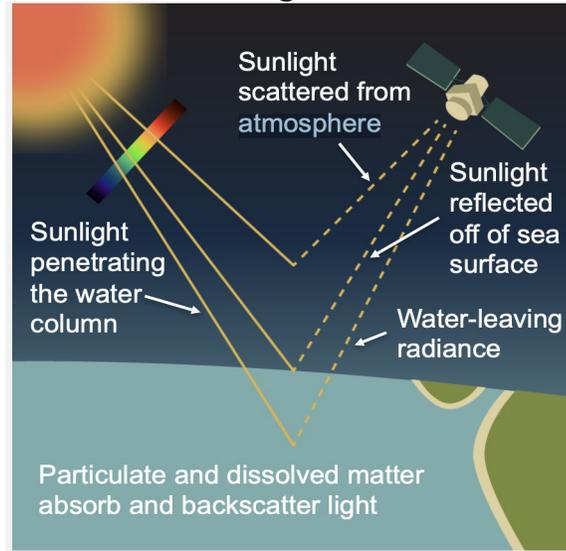
- Fundamentos de la Percepción Remota, Sesión 2C: *Fundamentos de la Teledetección Acuática*
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-fundamentals-remote-sensing>



Esquema de la Capacitación

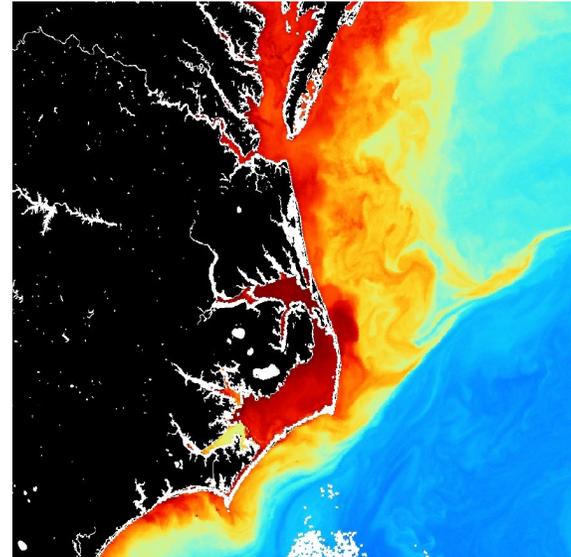
Tres sesiones de una hora y media, disponibles en español e inglés

Introducción a las Observaciones de Teledetección para el Monitoreo de la Calidad del Agua en los Estuarios



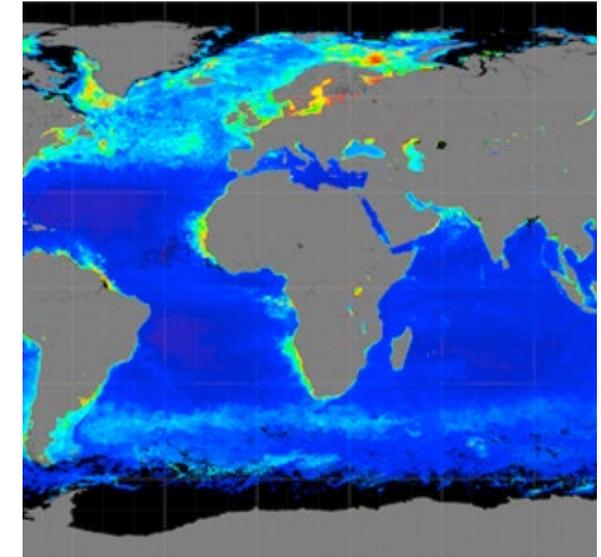
14 de septiembre de 2021

Procesamiento de Imágenes Usando SeaDAS



16 de septiembre de 2021

Monitoreo de la Calidad del Agua en base a MODIS y VIIRS



21 de septiembre de 2021



Capacitaciones de ARSET sobre la Calidad del Agua

- Teledetección de Ecosistemas Costeros:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-teledeteccion-de-ecosistemas-costeros>
- Integrando la Teledetección en un Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-integrating-remote-sensing-water-quality-monitoring-program>
- Introducción a la Teledetección de Floraciones Algales Nocivas:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/week1-span.pdf>
 - Introducción a la Teledetección para Aplicaciones Costeras y Oceánicas:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-introduction-remote-sensing-coastal-and-ocean-applications>



Tarea y Certificado

- Se asignará una tarea:
 - Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google. Acceso desde la [página web](#) de ARSET.
 - La tarea estará disponible a partir del 21 de septiembre de 2021.
 - Fecha límite para la tarea: 5 de octubre de 2021.
- Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes:
 - Asistan a todas las sesiones en vivo
 - Completen la tarea en el plazo estipulado
 - Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com

Esquema para la Sesión 1

- Acerca de ARSET
- Antecedentes: Calidad de Aguas Costeras y Estuarinas
- Teledetección de la Calidad del Agua
- Satélites y Sensores Actuales para el Monitoreo de la Calidad del Agua
- Demostración de Adquisición de Datos con MODIS y VIIRS



Fuente: [NASA](#)



Acerca de ARSET

- *ARSET brinda capacitación accesible, relevante y sin costo sobre satélites, sensores, métodos y herramientas de teledetección.*
- Nuestras capacitaciones son:
 - En línea y presenciales*
 - Abiertas a todos
 - En vivo, dictadas por instructores, o autoguiadas
 - Personalizadas para quienes tienen diferentes niveles de experiencia con la teledetección, de nivel **introductorio** a **avanzado**

*ARSET actualmente no ofrece capacitaciones presenciales debido a la pandemia de COVID-19.

NASA's Applied Remote Sensing Training Program

- ARSET ofrece capacitaciones para:
 - Desastres
 - Salud y Calidad del Aire
 - Gestión de la Tierra
 - Recursos Hídricos



Para mayor información, visitar appliedsciences.nasa.gov/arset





Antecedentes: Calidad de Aguas Costeras y Estuarinas

Aguas Costeras

- La interfaz entre los ambientes terrestres y el mar abierto
- Están conectadas a las aguas terrestres – estuarios y bahías, estrechos, puertos, ríos y ensenadas
- No están clasificadas como agua dulce ni aguas abiertas
- Incluyen áreas de surgencia



Fuente: [UGA](#)

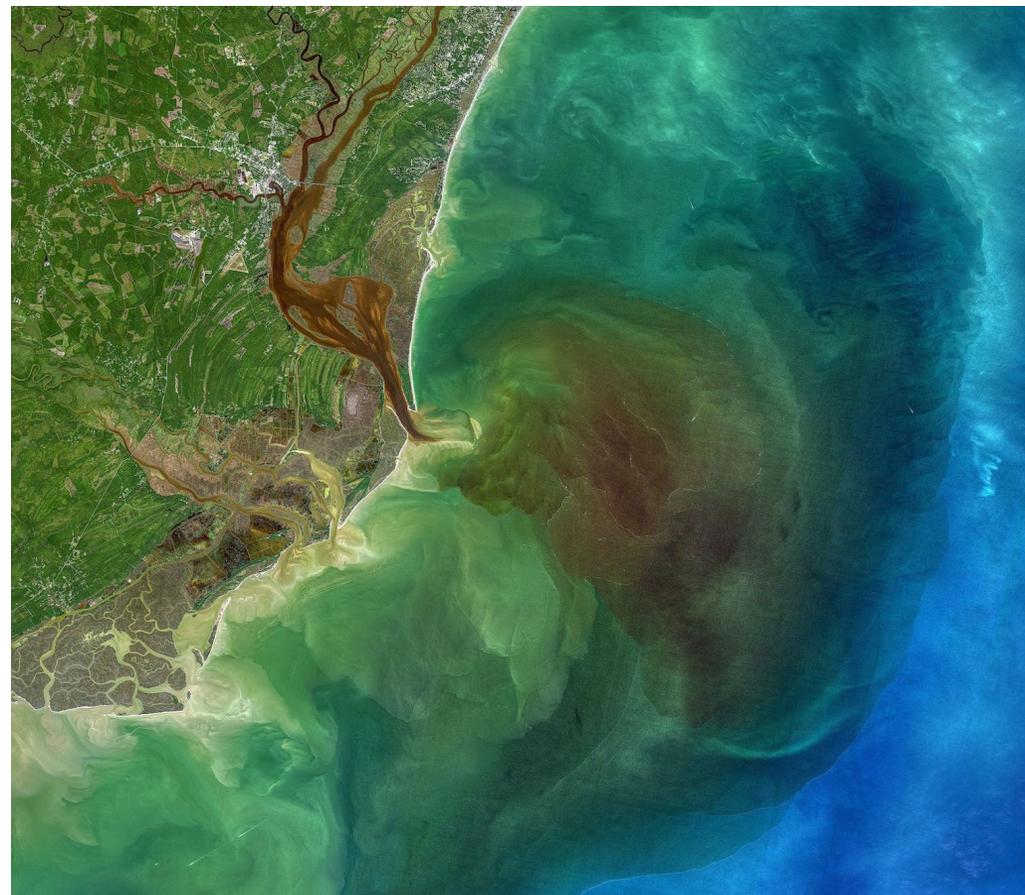
<https://www.epa.gov/report-environment/coastal-waters>

<https://www.lawinsider.com/dictionary/coastal-waters>



Estuarios

- Aguas costeras parcialmente encerradas donde el agua dulce proveniente de ríos y arroyos se mezcla con agua salada del océano.
- Son una transición de la tierra al mar, influenciados por la marea, pero protegidos de la fuerza completa de las olas, vientos y tormentas del mar.



Fuente: [NASA](#)



Regiones Costeras y Estuarinas

- Sostienen una variedad de hábitats, incluyendo:
 - Áreas abiertas poco profundas, deltas de ríos, pozas de marea
 - Marismas y pantanos de agua dulce y salada
 - Playas arenosas y orillas rocosas
 - Lodazales y arenales
 - Praderas de hierbas marinas
 - Bosques de manglares
 - Humedales costeros
 - Bosques de Kelpos
 - Arrecifes de coral
 - Arrecifes de ostras



Una mezcla única de especies marinas y terrestres vive en los ecosistemas de manglares. Foto: Jobos Bay National Estuarine Research Reserve. Fuente: [NOAA](#))



Regiones Costeras y Estuarinas en el Mundo

- Canadá tiene la línea de costa más larga del mundo.
- Hay aproximadamente 1.300 estuarios en todo el mundo ([UNEP-WCMC](#)).
- Estas regiones juegan un papel muy importante en la economía mundial.

Puesto	País	Costa (Kilómetros)	Puesto	País	Costa (Kilómetros)
1	Canadá	202,080	11	Grecia	13,676
2	Indonesia	99,083	12	Reino Unido	12,429
3	Noruega	58,133	13	México	9,330
4	Rusia	37,653	14	Italia	7,782
5	Filipinas	36,289	15	India	7,516
6	Japón	29,751	16	Brasil	7,491
7	Australia	25,760	17	Dinamarca	7,314
8	Estados Unidos	19,924	18	Turquía	7,200
9	Nueva Zelanda	15,134	19	Chile	6,435
10	China	14,500	20	Estados Federados de Micronesia	6,112

<https://www.worldatlas.com/articles/countries-with-the-most-coastline.html>



Importancia de las Regiones Costeras y Estuarinas

- Son el hábitat de miles de especies, incluso algunas de importancia comercial
- Protegen las costas contra la acción de las olas
- Brindan sustento para millones de personas alrededor del mundo
- Conservación/Patrimonio cultural
- Áreas de recreo



Fuente de la Imagen: Juan Torres-Pérez, NASA



¿Para Qué Monitorear la Calidad del Agua (CA) en Regiones Estuarinas?

- Los ecosistemas estuarinos son sensibles a un equilibrio delicado entre el agua dulce y el agua salada.
- Los indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad de las aguas estuarinas están en un estado de cambio constante.
- La Calidad del Agua (CA) en deterioro amenaza las plantas acuáticas, animales y organismos marinos.
- El monitoreo de la CA nos permite entender cómo mitigar los impactos de los cambios en el uso del suelo, eutroficación y contaminación en los sistemas estuarinos.

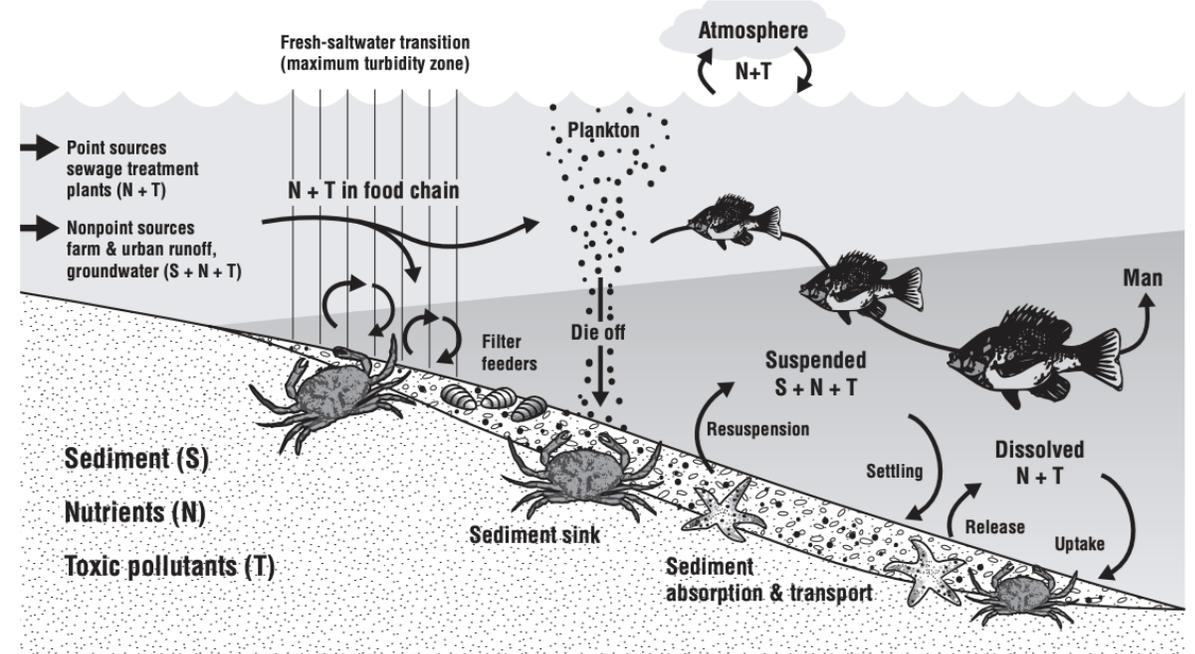


Figure 2-4. Schematic diagram of physical, chemical, and biological processes interacting in estuaries (redrawn from USEPA, 1987).

https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/2009_03_13_estuaries_monitor_chap2.pdf

<https://nerssciencecollaborative.org/water-quality>



Monitoreo de la Calidad del Agua en Regiones Costeras/ Estuarinas

- El aumento de nutrientes y sedimentos en las aguas costeras es una gran preocupación ya que ocasiona una baja en el nivel de oxígeno disuelto en el agua – hipoxia – una causa principal de la destrucción de organismos bénticos y peces.
- Indicadores de la CA estuarina incluyen:
 - Temperatura y Salinidad del Agua (pH)
 - Oxígeno Disuelto
 - Nitrógeno y Fósforo
 - Concentración de Clorofila-a
 - Turbiedad

<https://gwri.gatech.edu/sites/default/files/files/docs/2011/5.1.2Sheldon.pdf>

Coastal Hypoxia and Eutrophication



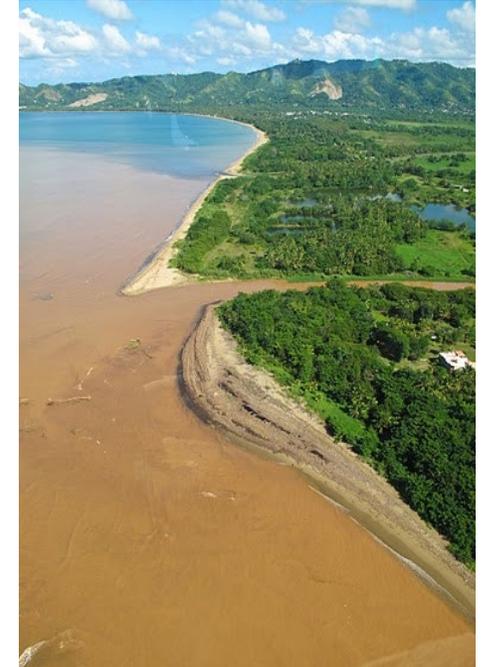
<https://gulphyoxia.net/about-hypoxia/>



Principales Factores Afectando la Calidad de Aguas Costeras/ Estuarinas

Factores Locales:

- Escorrentía Costera
- Daños Mecánicos
- Arrojar Residuos Ilegales
- Plásticos y Químicos
- Introducción de Especies Invasoras



Fuente de la Imagen: (Izq.) Juan L. Torres-Pérez, NASA; (Der.) Tom Moore, NOAA



Principales Factores Afectando la Calidad de Aguas Costeras/Estuarinas

Clima

- Ocurrencia de eventos extremos
- Aumento del nivel del mar
- Acidificación de los océanos
- Aumentos en las temperaturas superficiales marinas y globales
- Cambios en las corrientes oceánicas
- Nuevas enfermedades o un incremento de casos de enfermedades conocidas



Coral Blanqueado; Fuente: Juan L. Torres-Pérez, NASA



Contaminación resultante del huracán Florence en Carolina del Norte (septiembre 2018)

<https://www.newsweek.com/pollution-hurricane-florence-so-bad-you-can-see-it-space-1137656>



Ejemplos de Observaciones *In Situ* de la Calidad del Agua

- Temperatura del Agua
- Salinidad
- Oxígeno Disuelto
- Alcalinidad
- pH
- Color
- Nutrientes (p.ej., Nitrógeno)
- Pruebas para Contaminantes Específicos (p.ej., Compuestos Orgánicos Industriales)
- Metales Pesados
- Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM por sus siglas en inglés)
- Sólidos en Suspensión - Turbiedad
- Bacterias (p.ej., *E. coli*)
- Claridad del Agua
- Cianobacterias
- Patógenos e Indicadores de Patógenos
- Toxinas Producidas por Algas
- Microesferas de Plástico
- Clorofila
- Anomalías de Clorofila
- Pigmentos Algales

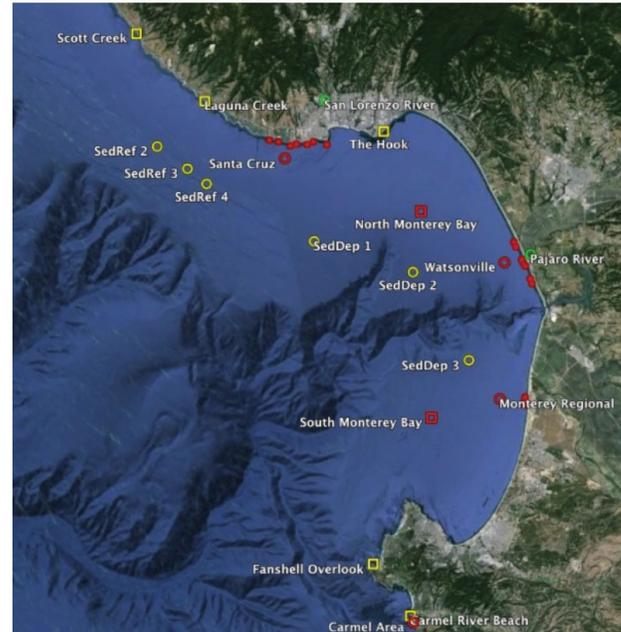




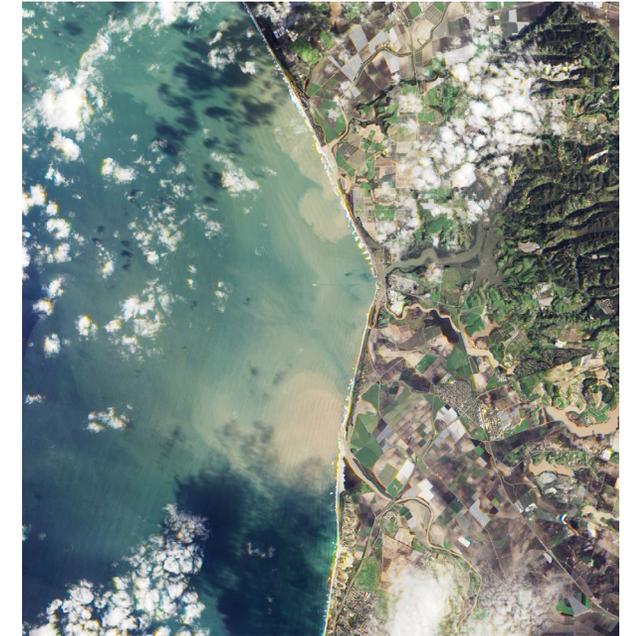
Teledetección de la Calidad del Agua

¿Para Qué Usar la Teledetección para Monitorear la Calidad del Agua?

- Brinda observaciones regulares y consistentes sobre grandes extensiones
- Tiene una frecuencia de revisita consistente para el análisis de series de tiempo bien estructuradas
- Hay un gran número de productos de datos disponibles
- Complementa el muestreo *in situ*
- Por lo general es gratuita de acceso abierto



[Sitios de Muestreo](#)



[NASA Earth Observatory](#)



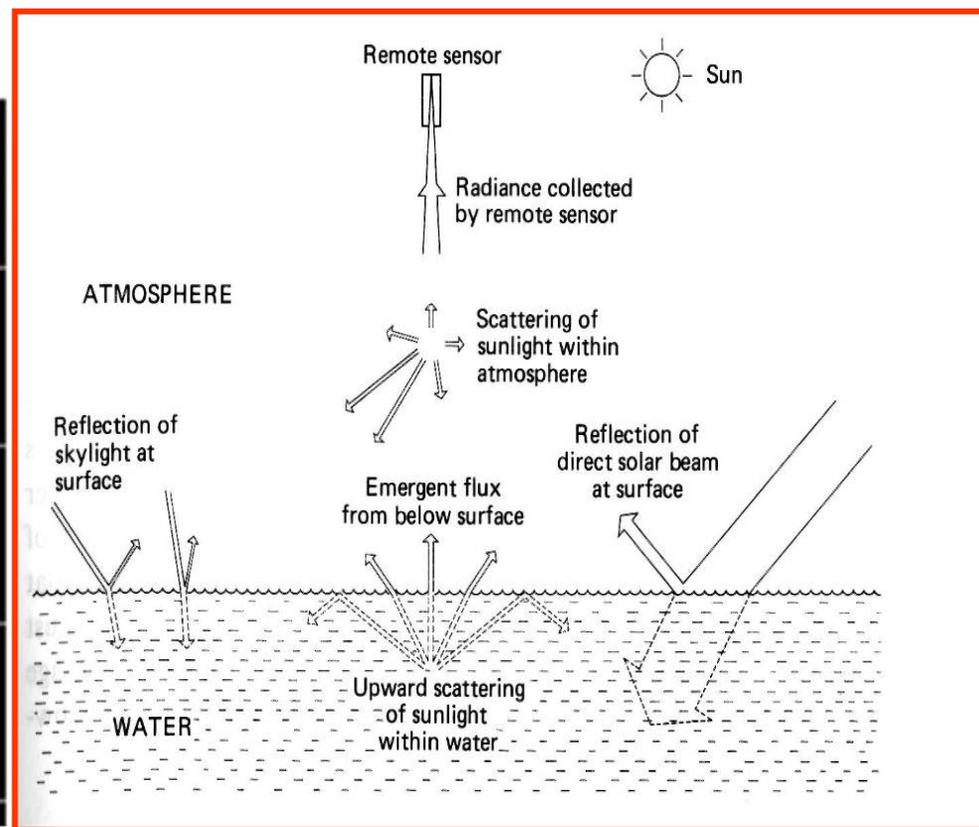
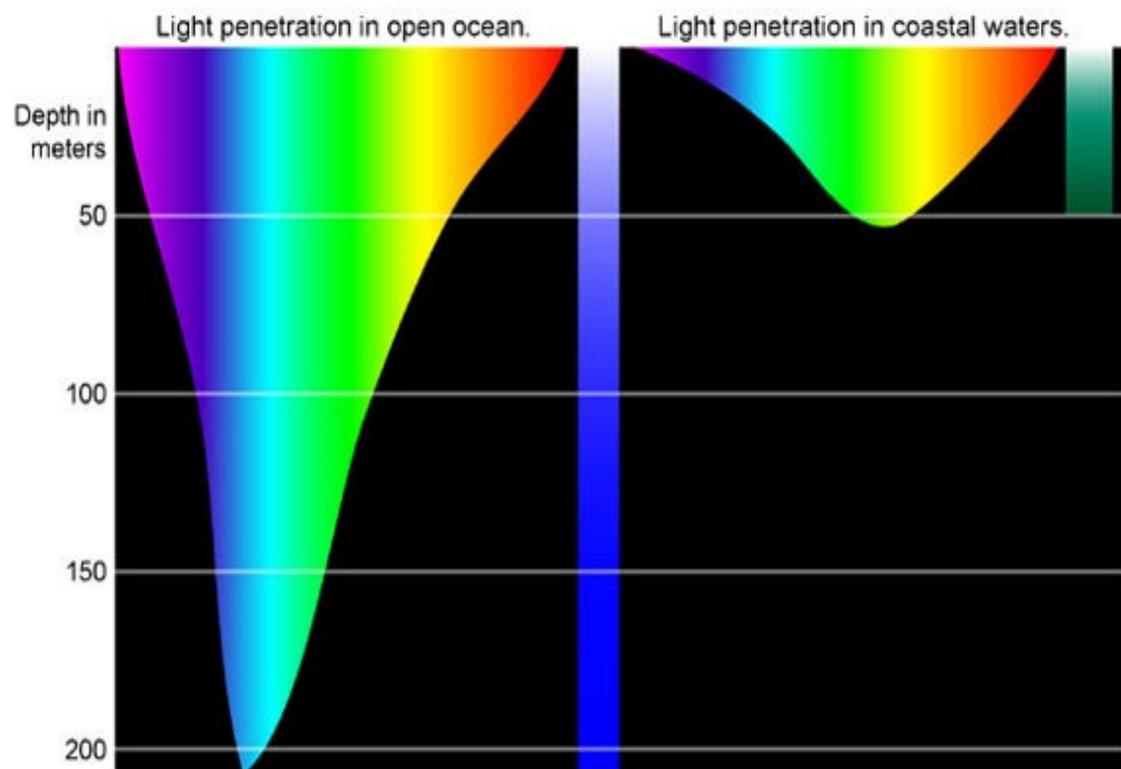
Correspondencia entre Observaciones *In Situ* y de Satélites

<i>In Situ</i>	Satélite
Temperatura del Agua	Temperatura Superficial Marina (SST)
Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM)	Absorción por CDOM (a_{dg})
Sólidos en Suspensión – Turbiedad	Atenuación de la Luz Difusa at 490 nm (K_d)
Claridad del Agua	Clorofila-a, Altura de la Línea de Fluorescencia Normalizada (nFLH)
Cianobacterias	Índice de Cianobacterias (CI)
Pigmentos Algales	Profundidad de Zona Eufótica (Z_{eu}) Algoritmos Experimentales Tipo Funcional para Fitoplancton



La Calidad del Agua Afecta Sus Propiedades Ópticas

El agua naturalmente contiene materia ópticamente activa. El monitoreo mediante la teledetección de la reflectancia de la luz de la superficie del agua puede indicar la calidad del agua.



Cómo la Luz Interactúa con el Agua

La Reflectancia Teledetectada (R_{rs}) o Color Oceánico

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

Propiedades Ópticas Inherentes:

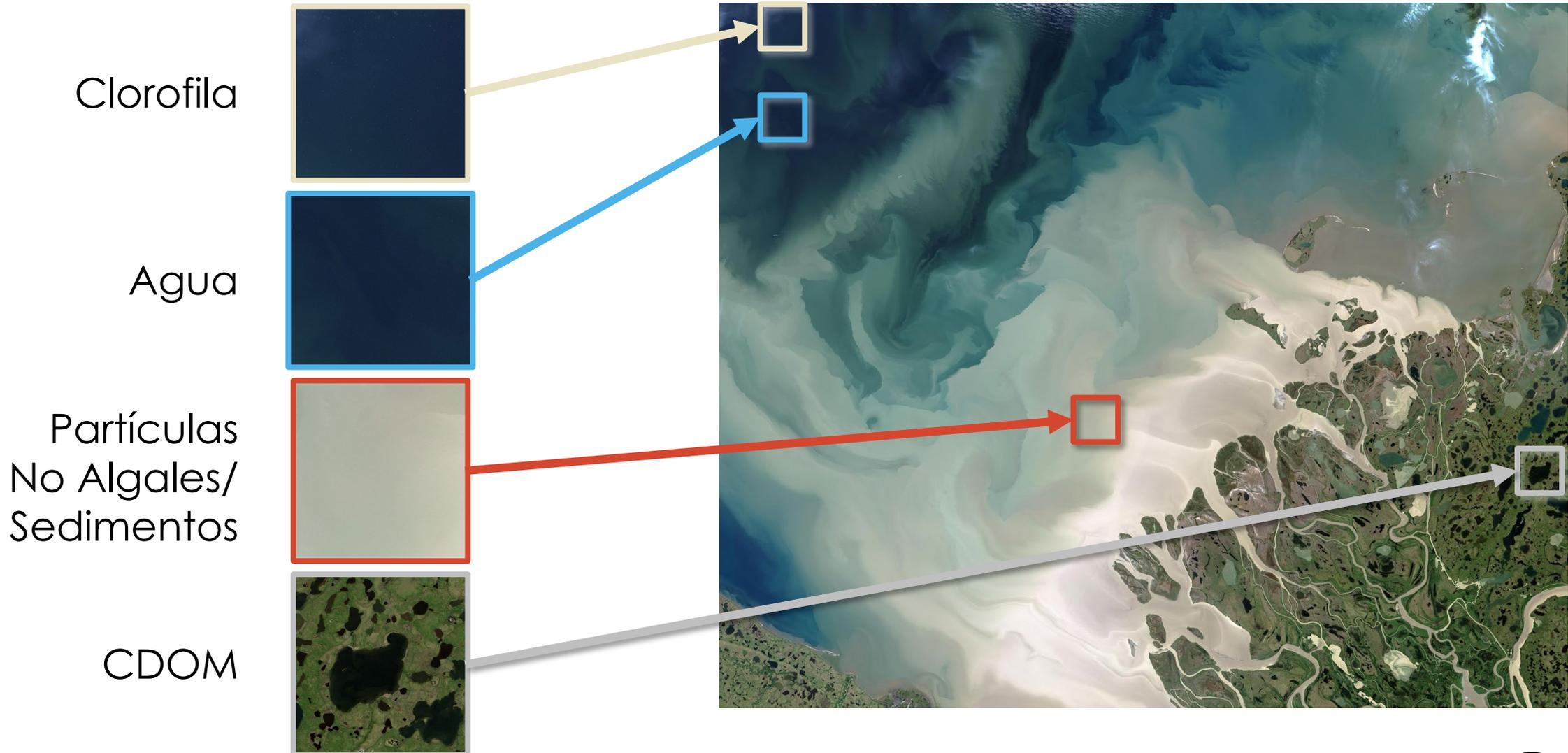
- a = Absorción por...
 - Fitoplancton (ph)
 - Partículas No-Algales (nap)
 - Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM)
 - Agua (w)
- b = Dispersión hacia adelante (f) y en sentido contrario (b)

Propiedades Ópticas Aparentes:

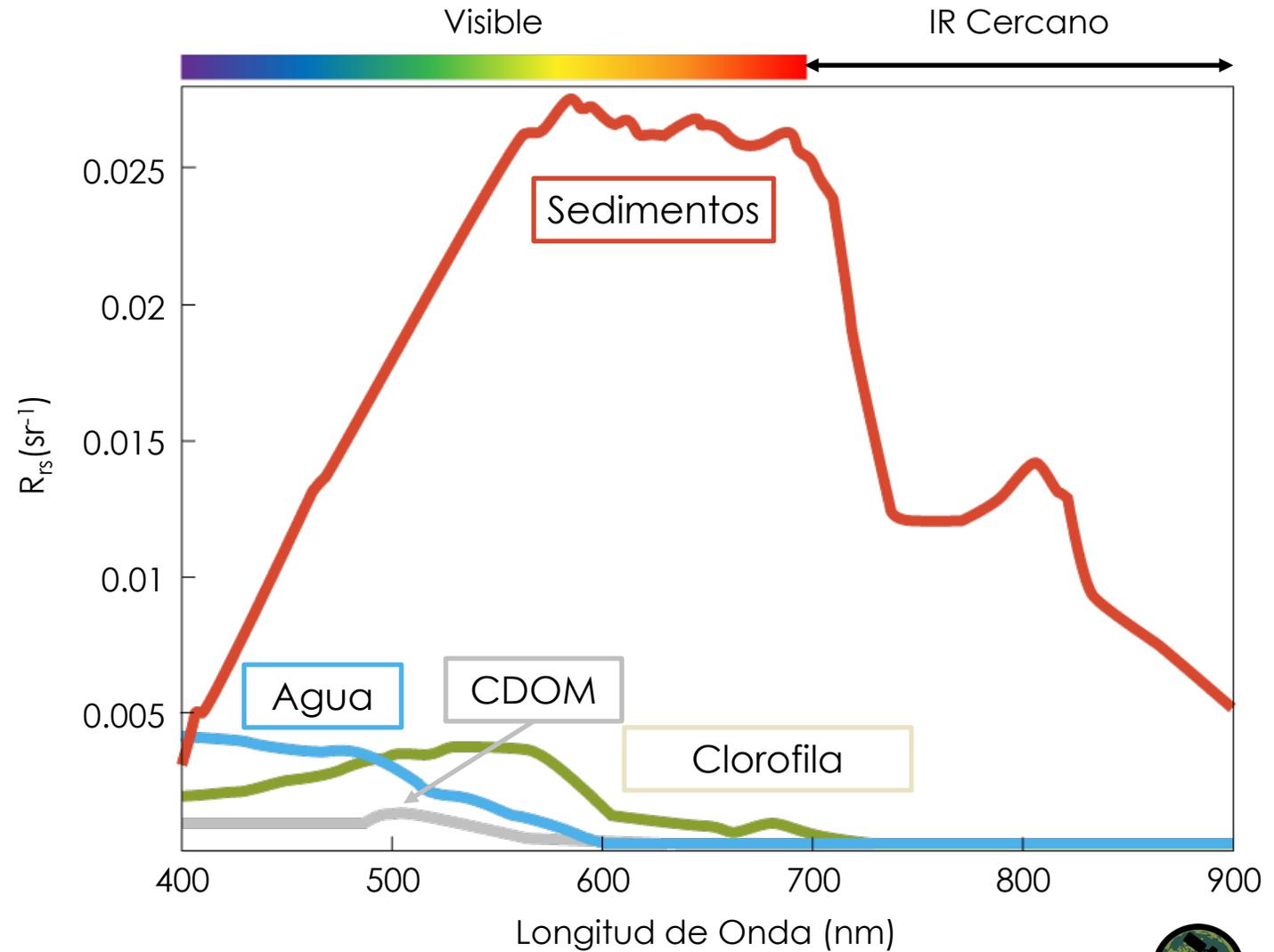
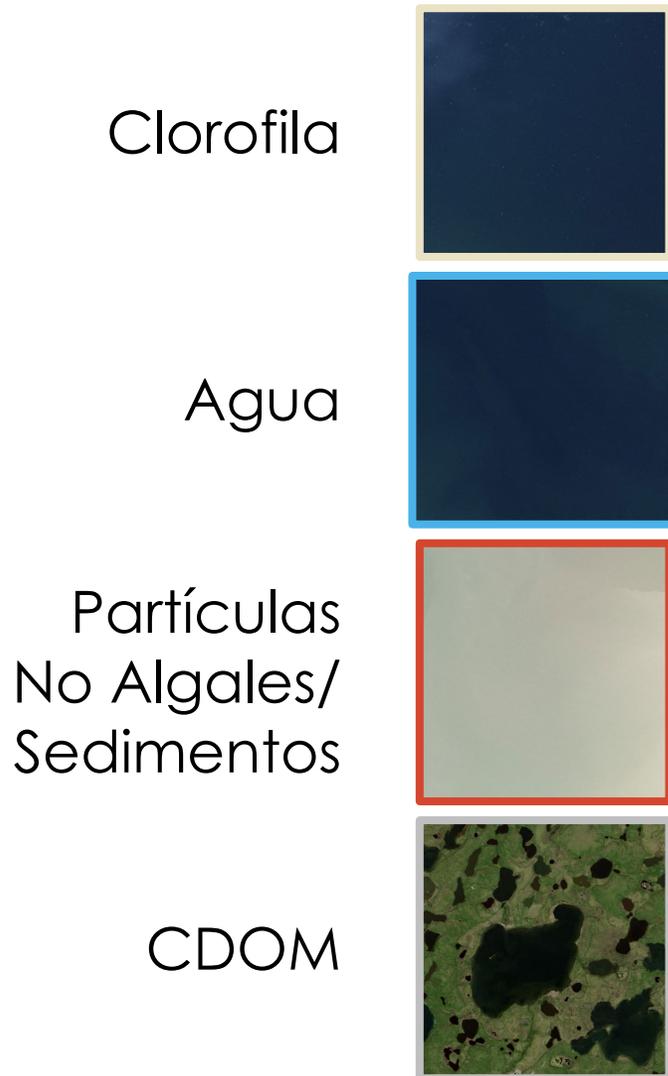
- L_w = Radiancia Partiendo del Agua
- L_u = Radiancia de Surgencia
- E_d = Irradiancia hacia el agua
- R_{rs} = Reflectancia Teledetectada(rs)



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



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



Indicadores de la Calidad del Agua Medibles por Satélites

- Materia Orgánica Disuelta Coloreada (CDOM)
- Temperatura Superficial Marina (Sea Surface Temperature o SST)
- Clorofila-a (fitoplancton)
- Salinidad
- Sólidos Suspendidos Totales (TSS o Total Suspended Solids)
- Altura de la Línea de Fluorescencia
- Profundidad Eufótica
- Atenuación de la Luz Difusa



Fuente de la Imagen: Un río de aguas negras se encuentra con el mar [Text.Article]. (2018, 27 de octubre). Fuente: [NASA Earth Observatory](#)





Satélites y Sensores Actuales Relevantes al Monitoreo de la Calidad del Agua

Satélites y Sensores para el Monitoreo de la Calidad del Agua

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

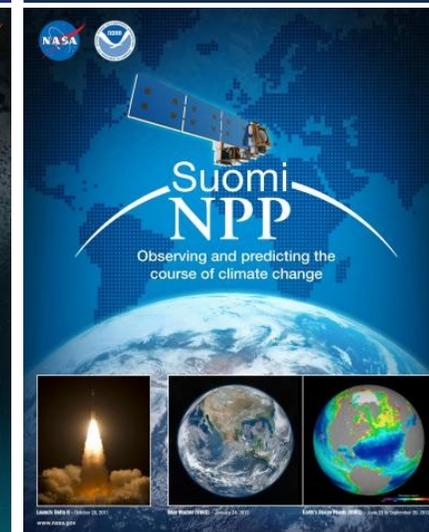
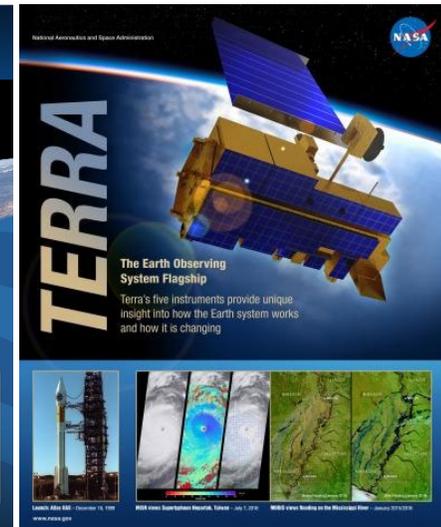
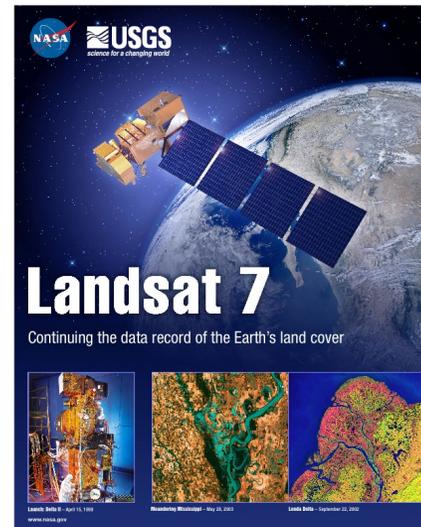
¹SNPP: Suomi National Polar-orbiting Partnership

²JPSS: Joint Polar Satellite System



Misiones Satelitales Actuales para el Monitoreo de la Calidad del Agua

- Landsat 7 (4/15/1999 – Hoy)
- Landsat 8 (2/1/2013 – Hoy)
- Terra (12/18/1999 – Hoy)
- Aqua (5/4/2002 – Hoy)
- SNPP (11/21/2011 – Hoy)
- JPSS (11/18/2017 – Hoy)
- Sentinel-2A (6/23/2015 – Hoy)
- Sentinel-2B (3/7/2017 – Hoy)
- Sentinel-3A (2/16/2016 – Hoy)
- Sentinel-3B (4/25/2018 – Hoy)



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)

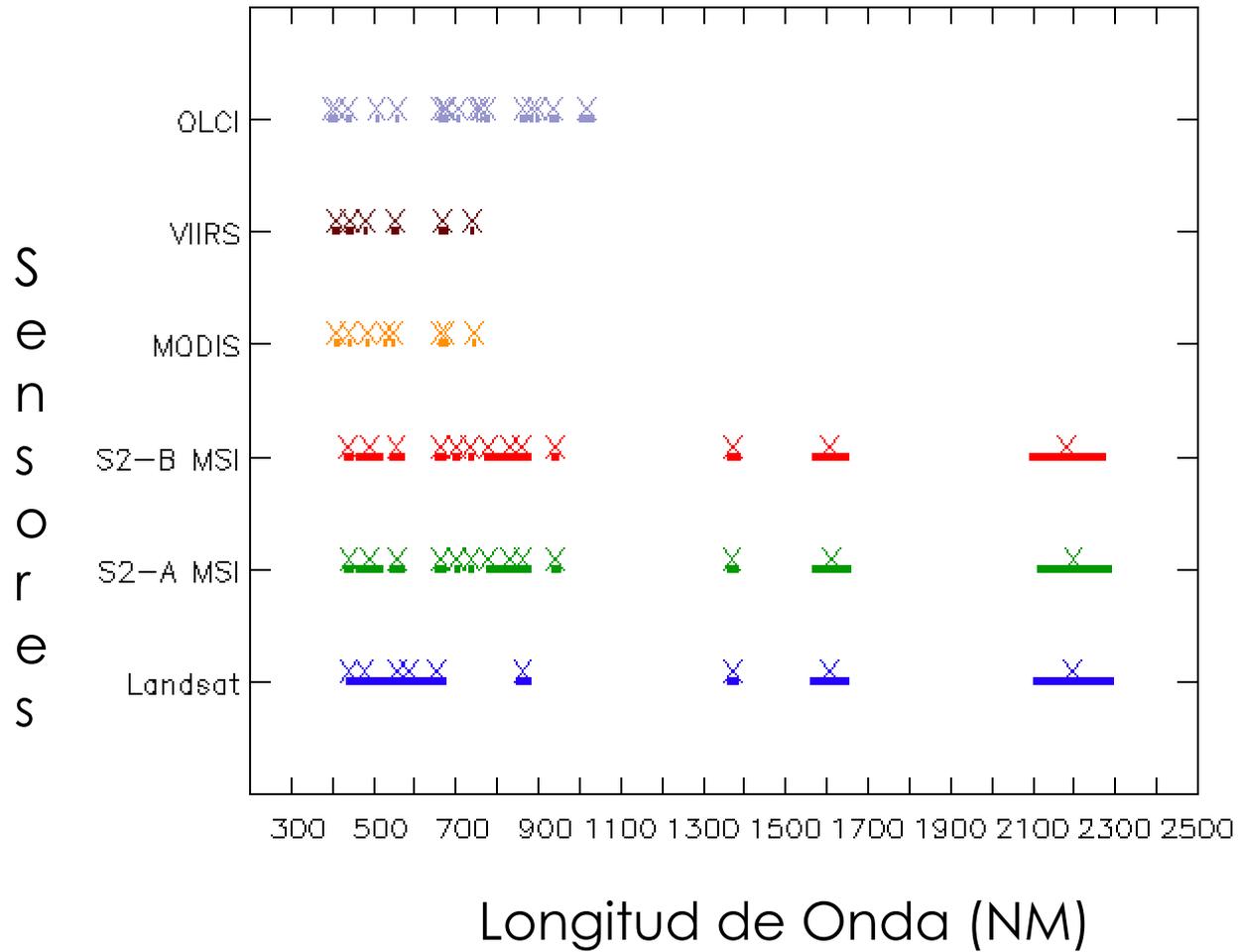
SBG: Surface Biology and Geology

<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



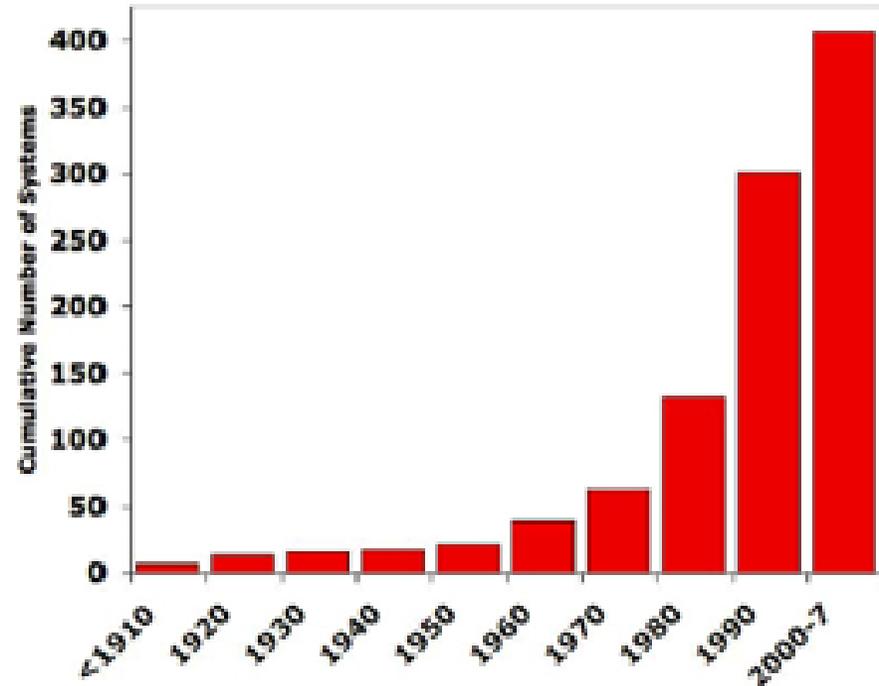
Bandas Espectrales de los Sensores



Monitoreo de Cambios en a Calidad del Agua a lo Largo del Tiempo

- Es importante monitorear los estuarios en varias escalas de tiempo:
 - A corto plazo (días a semanas) para comprender y mitigar las variaciones de la CA debido a eventos climáticos (p.ej., escorrentía de tormentas) y causas antrópicas (p. ej., escorrentía industrial, fugas de tanques sépticos).
 - Monitoreo multiaño para comprender y mitigar los cambios de la CA relacionados con los impactos climáticos (por ejemplo, aumento del nivel del mar, aumento de la temperatura) y cambios en el uso de la tierra (p. ej., urbanización).

Zonas Muertas por Década en Aguas Costeras y Estuarinas a Nivel Mundial



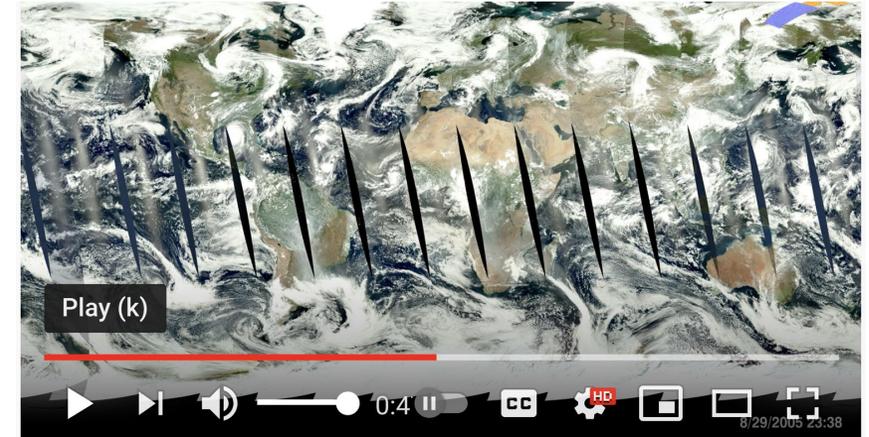
https://www.vims.edu/research/topics/dead_zones/trends/index.php



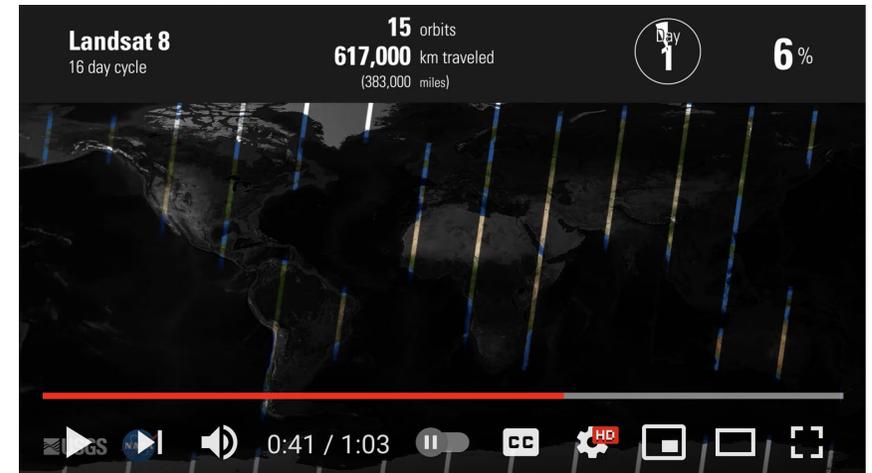
Misiones Satelitales a Largo Plazo para el Monitoreo de la CA

- Landsat (~50 años) y MODIS (~20 años) son misiones a largo plazo.
- Landsat tiene una mayor resolución espacial (30 m), pero franjas angostas (185 km) y menor resolución temporal (16 días).
- MODIS tiene una resolución espacial mediana (250 m a 1 km) pero franjas más anchas (2330 km) y mayor resolución temporal (1 a 2 veces por día).
- Ambos tienen una resolución espectral mediana.

Aqua MODIS



Landsat 8



Misiones Satelitales a Largo Plazo para el Monitoreo de la CA

- El lanzamiento de Landsat 9 está planificado para septiembre de 2021, continuando con la serie de tiempo.
- La serie de tiempo MODIS la extiende VIIRS, un sensor similar a SNPP y JPSS.
- VIIRS tiene una franja más ancha (3,040 km), resolución mediana (375 a 750 m), y cobertura frecuente (1-2 veces por día), o sea comparable a MODIS.

Imagen Global de VIIRS

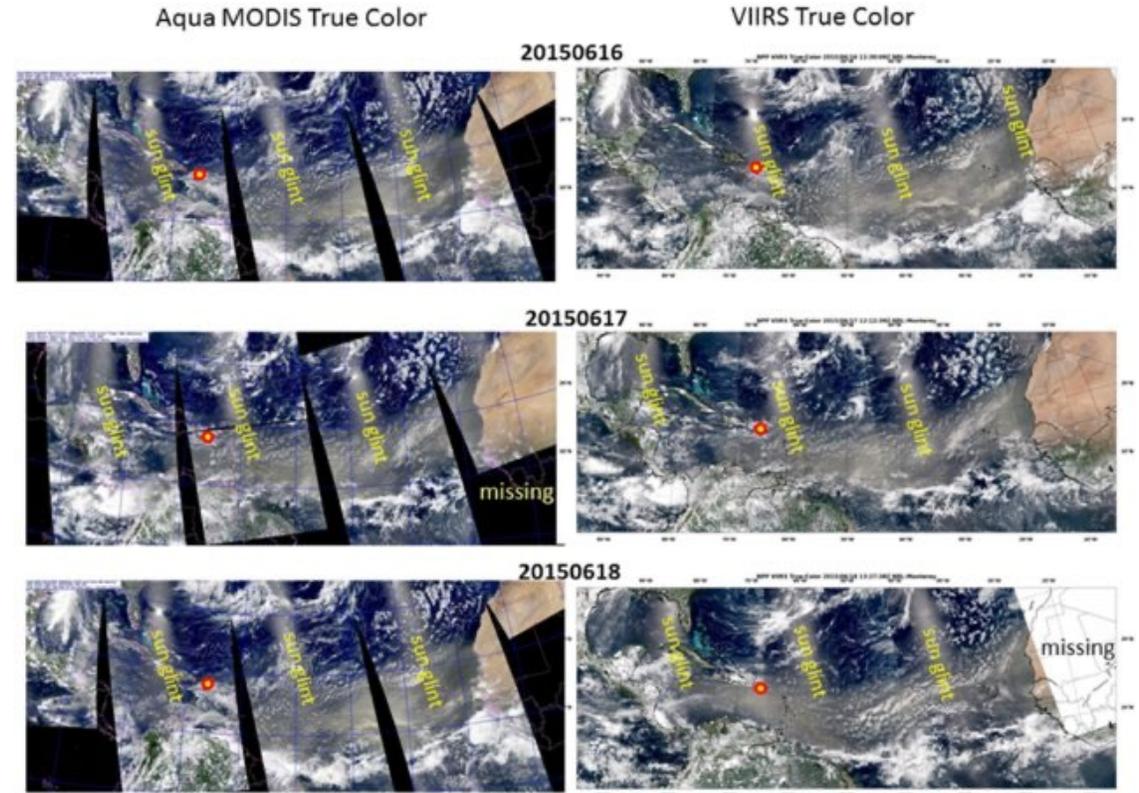


<https://earthobservatory.nasa.gov/images/76674/first-global-image-from-viirs>



Comparación de MODIS y VIIRS

- VIIRS tiene franjas más anchas y produce resoluciones de mayor resolución y más precisos de la temperatura de la superficie marina. También tiene una capacidad operativa para observaciones y productos del color oceánico.
- Varios estudios han comparado los productos de MODIS y VIIRS en cuanto a continuidad (p.ej., Hu, 2014; Lander, et al. 2014; Levy et al. 2015; Li et al., 2015; Cao et al., 2018).



Levy et al. 2015 ([DOI](#))
Li et al. 2015 ([DOI](#))

<https://www.jpss.noaa.gov/viirs.html>



Comparación de MODIS y VIIRS

- Lander et al. (2018) comparó los productos de MODIS y VIIRS con datos *in situ* en el Golfo de México y concluye que los productos de VIIRS serán una continuación adecuada y podrán servir de remplazo para MODIS para el monitoreo del color oceánico.
- Las incertidumbres en la intercomparación son resultado de correcciones atmosféricas, errores de muestreo, (comparaciones entre píxeles y puntos, y variaciones en la superficie marina) y errores en algoritmos bio-ópticos costeros.

MODIS & VIIRS QAA Total Backscattering @551/547nm – MissBight – 2/15/2014

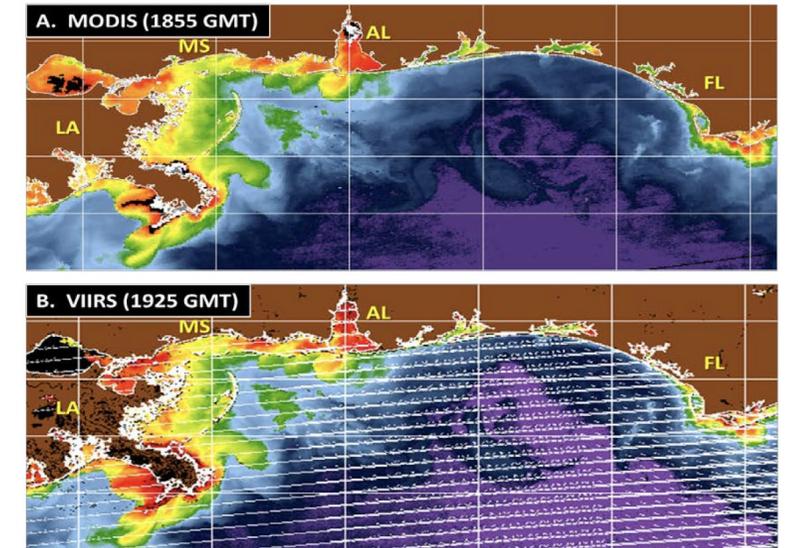


Figure 1 shows a comparison between VIIRS and MODIS Aqua derived total backscatter QAA @ 551nm (VIIRS) and 547nm (MODIS Aqua) product for November 20, 2013 covering the Mississippi Sound in the Northern Gulf of Mexico. Note that the derived total backscattering for both sensors is very similar and a small resolution improvement for VIIRS at 750m as compared to MODIS Aqua is at 1 kilometer. Blue dots represent flowthru data sample locations and red dots above water rrs.



Aprenda a Utilizar Datos de MODIS y VIIRS para Monitorear la CA

Estudios de Caso:

- Regiones Estudiadas:
 - Bahías de Chesapeake
 - Río de la Plata
- Buscar y obtener datos Nivel-1 de MODIS y VIIRS de NASA Ocean Color Web
- Derivar datos Nivel-2 de MODIS y VIIRS
 - Reflectancia Espectral
 - Parámetros Geofísicos (p.ej., temperatura de la superficie marina, concentración de clorofila-a, coeficiente de atenuación)

Bahía de Chesapeake



Río de la Plata



Fuente: [NASA](#)

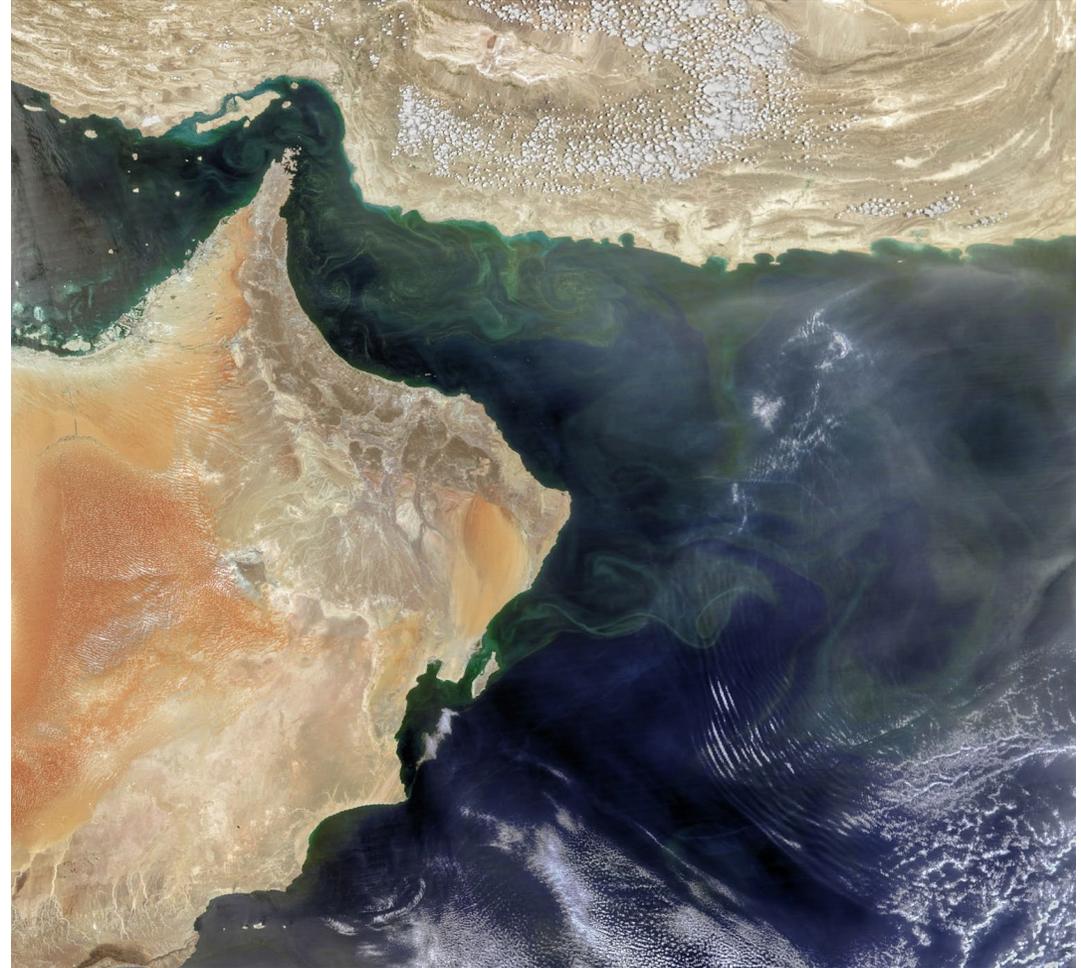




Demostración de Adquisición de Datos de MODIS y VIIRS

Preguntas

- Por favor escriban sus preguntas en el cuadro para preguntas. Las responderemos en el orden que las recibimos.
- Publicaremos las preguntas y respuestas en la página web de la capacitación después de la conclusión del webinar.



Fuente:
[NASA](#)



Contactos

- Capacitadores:
 - Amita Mehta: amita.v.mehta@nasa.gov
 - Juan Torres-Pérez: juan.l.torresperez@nasa.gov
 - Sean McCartney: sean.mccartney@nasa.gov
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-monitoring-coastal-and-estuarine-water-quality-transitioning>
- Página de ARSET:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>



Longitud de Onda de las Bandas Espectrales de los Sensores (Anchos de Banda) en Nanómetros

Landsat 8 OLI	Sentinel 2A MSI	Sentinel 2B MSI	Sentinel 3A/3B OLCI	Terra/Aqua MODIS	SNPP/JPSS VIIRS
443.0 (20)	442.7 (21)	442.3 (21)	400. (15)	412.5 (15)	412.0 (20)
482.0 (65)	492.4 (66)	492.1 (66)	412.5 (10)	443.0 (10)	445.0 (18)
561.0 (75)	559.8 (36)	559.0 (36)	442.5(10)	488.0 (10)	483.0 (10)
655.0 (50)	664.6 (31)	665.0 (31)	442.0 (10)	531.0 (10)	555.0 (20)
865.0 (40)	704.1 (16)	703.8 (16)	510.0(10)	551.0 (10)	672.0 (20)
1609.0 (100)	740.5 (15)	739.1 (15)	560.0 (10)	667.0 (10)	742.0 (6)
2201.0 (200)	782.8 (20)	779.7 (20)	665.0 (10)	678.0 (10)	
590 (180)	832.8 (106)	833.0 (106)	674.5 (7.5)	748.0 (10)	
1375 (30)	864.7 (22)	864.0 (22)	681.25 (7.5)		
10800 (1000)	945.1 (21)	943.2 (21)	708.75 (10)		
12000 (1000)	1373.5 (30)	1376.9(30)	753.75 (7.5)		
	1613.7 (94)	1610.4 (94)	761.25 (2.5)		
	2202.4 (185)	2185.7(185)	764.38 (3.5)		
			764.5 (2.5)		
			778.75 (15)		
			865.0 (20)		
			885.0 (10)		
			900.0 (10)		
			940.0 (20)		
			1020.0 (40)		





¡Gracias!

