

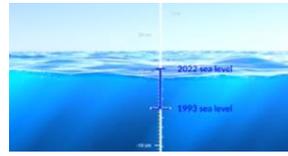
# Teledetección con satélites

## Aplicaciones oceánicas



Lidia Cristina Escudero Fernández  
lescudero@aemet.es  
*DIS-CTNDO*

19-09-2023



## Temperatura

- Fundamentos teóricos
- Temperatura superficial del mar (TSM)
- Anomalía de TSM

## Salinidad

- Fundamentos teóricos
- Salinidad superficial del mar (SSS)

## Clorofila

- Fundamentos teóricos
- Concentración de clorofila-a (color del océano)

## Viento

- Fundamentos teóricos
- Vientos sobre la superficie del mar

## Altimetría

- Fundamentos teóricos
- Anomalía de altura nivel del mar

## Hielo marino

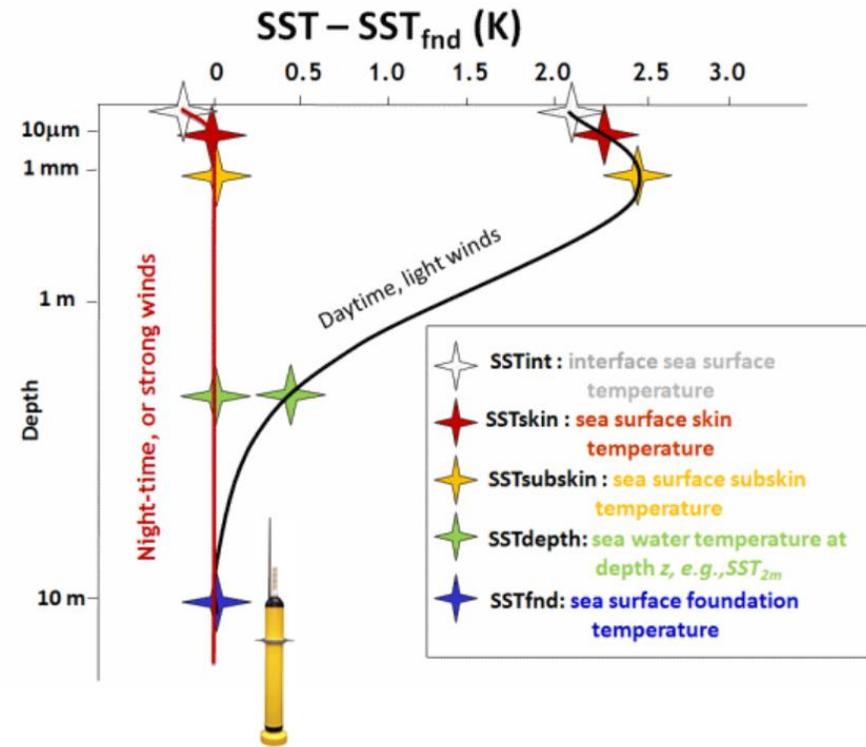
- Fundamentos teóricos
- Extensión de hielo marino

# Temperatura: Fundamentos teóricos

La temperatura superficial del mar (TSM, SST, Sea Surface Temperature) es un parámetro difícil de definir debido a todos los procesos que ocurren en la superficie del océano (primeros 10 metros).

La temperatura en esta capa está sometida a variaciones debido a los ciclos noche-día, vientos, precipitaciones, nubes... por lo que la medida puede variar bastante según el momento del día que se tome.

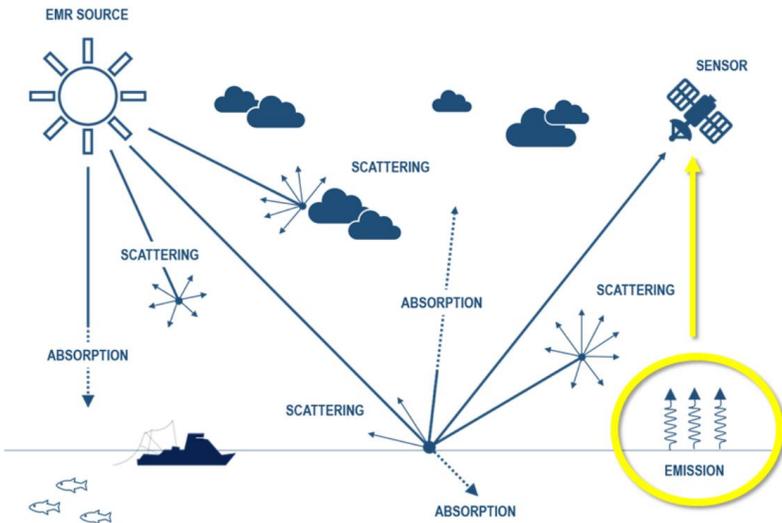
Cuando se mide esta temperatura con un satélite, esta depende de la frecuencia del instrumento utilizado. Los radiómetros infrarrojos miden la temperatura a una profundidad de unos 20  $\mu\text{m}$  (SST<sub>skin</sub>), mientras que los radiómetros microondas llegan a una profundidad de unos pocos mm (SST<sub>sub-skin</sub>).



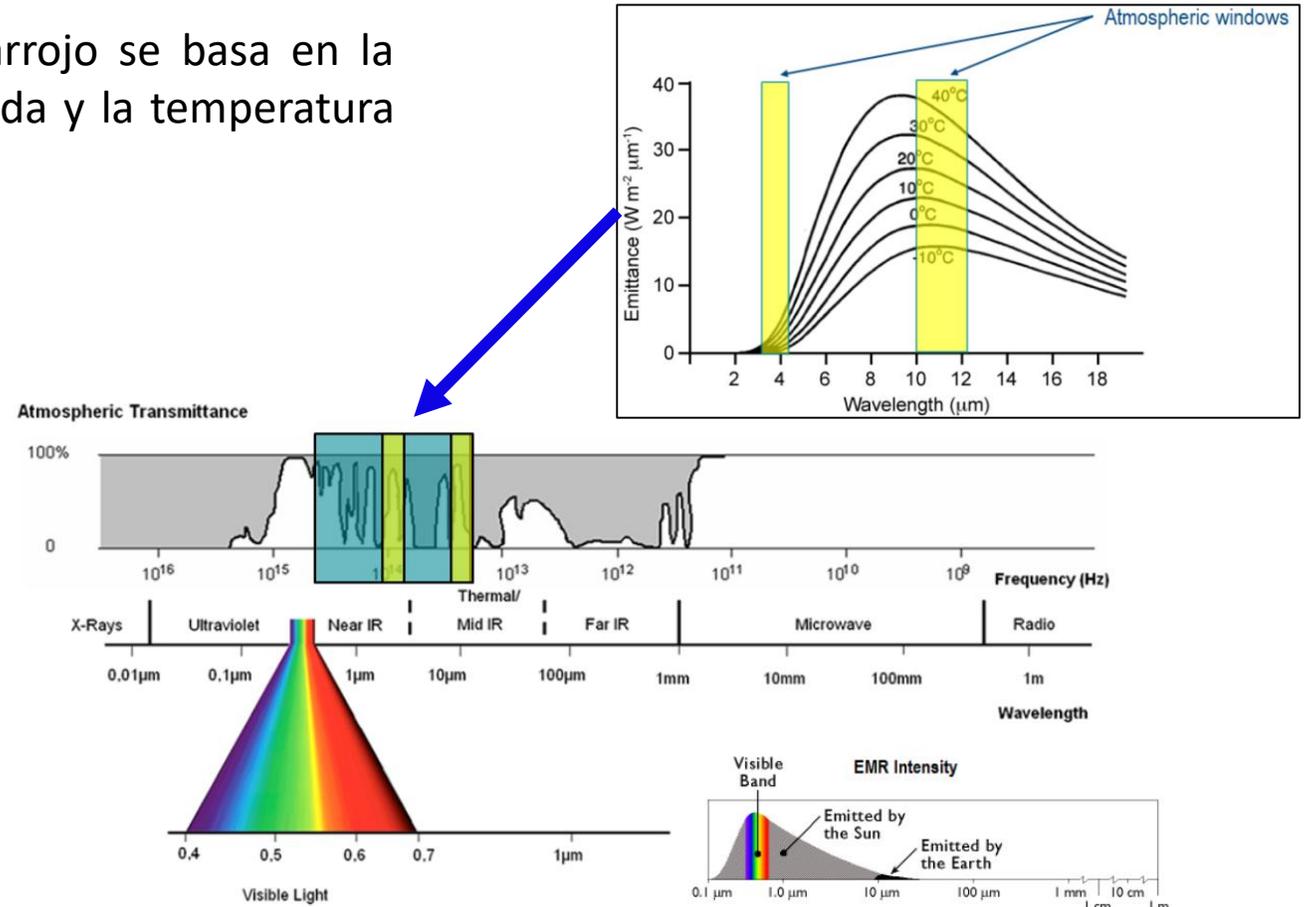
From [www.ghrsst.org](http://www.ghrsst.org)

# Temperatura: Fundamentos teóricos

La medida de la TSM con radiómetros en el infrarrojo se basa en la relación que existe entre la energía infrarroja emitida y la temperatura de un cuerpo (ley de Planck).  
Limitación: presencia de nubes



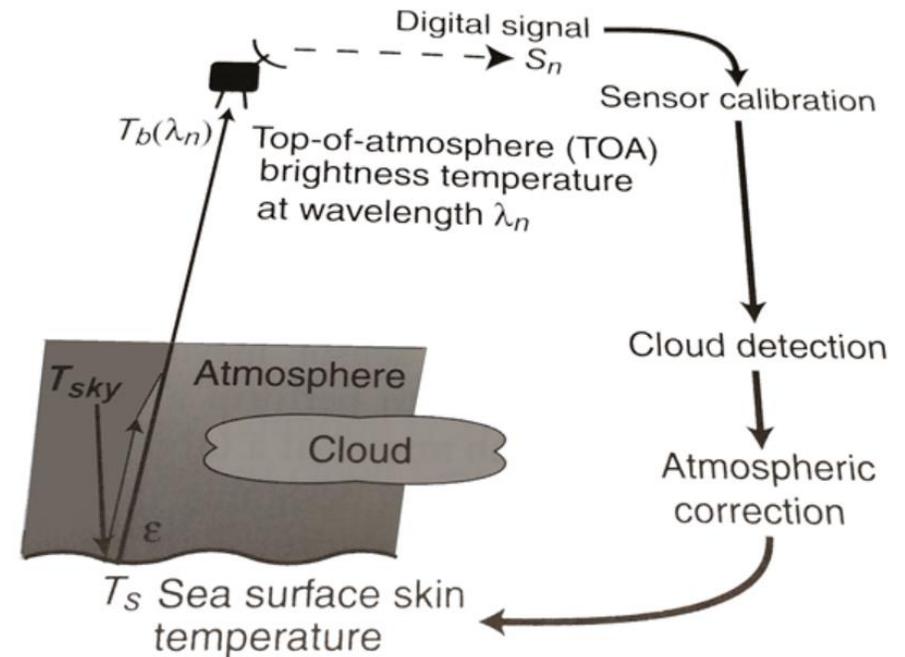
<https://coastwatch.gitbook.io/satellite-course/lectures/sea-surface-temperature>



# Temperatura: Fundamentos teóricos

Por ejemplo, los pasos principales para la obtención de la TSM que se siguen con el radiómetros infrarrojo AVHRR a bordo de los satélites Metop son los siguientes:

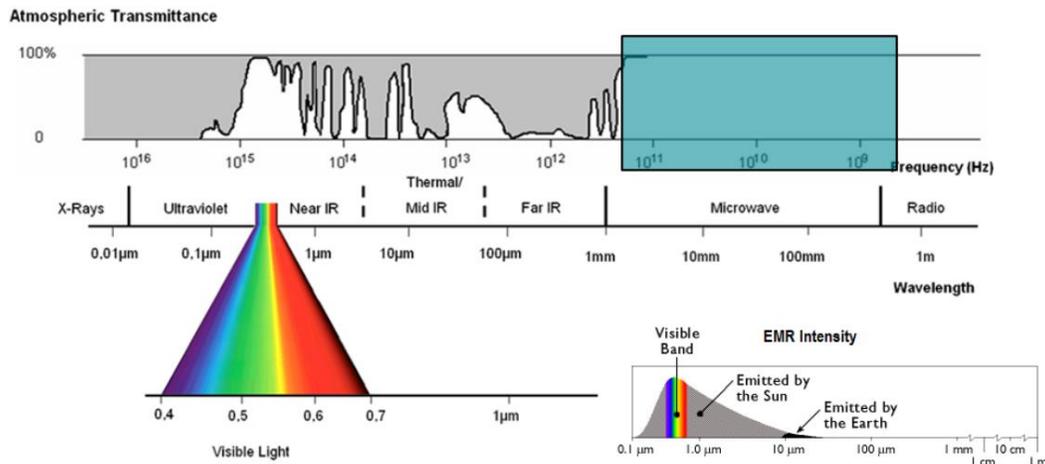
1. Calcular la radiación de la observación actual de las unidades de satélite. Se suelen usar los canales infrarrojos medio y térmico (3-5 y 11-13  $\mu\text{m}$ ), aprovechando las ventanas atmosféricas.
2. Encontrar la temperatura (sin corregir) de la observación a partir de la radianza.
3. Detectar píxeles con nubes y corregir los efectos atmosféricos y artefactos del sensor.



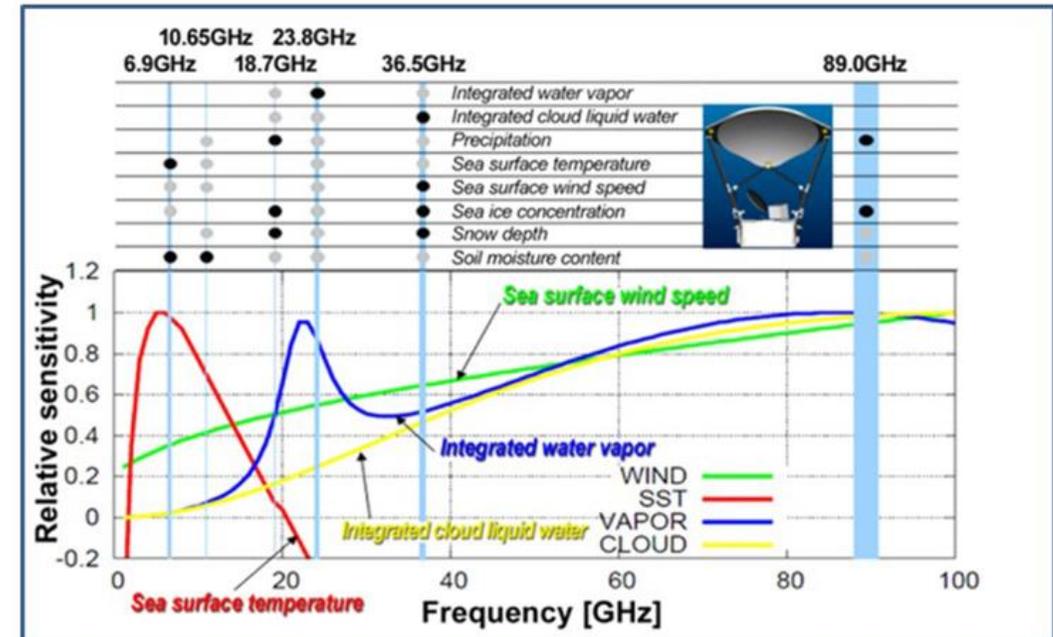
From Robinson 2004

# Temperatura: Fundamentos teóricos

También se puede medir la TSM usando radiómetros microondas que operen en la banda de 6-11 GHz. La ventaja principal frente a los radiómetros infrarrojos es que la medición no se ve afectada por nubes sin precipitación. Su resolución espacial es mayor que los infrarrojos.



AMSR2 Channel Specification and Products

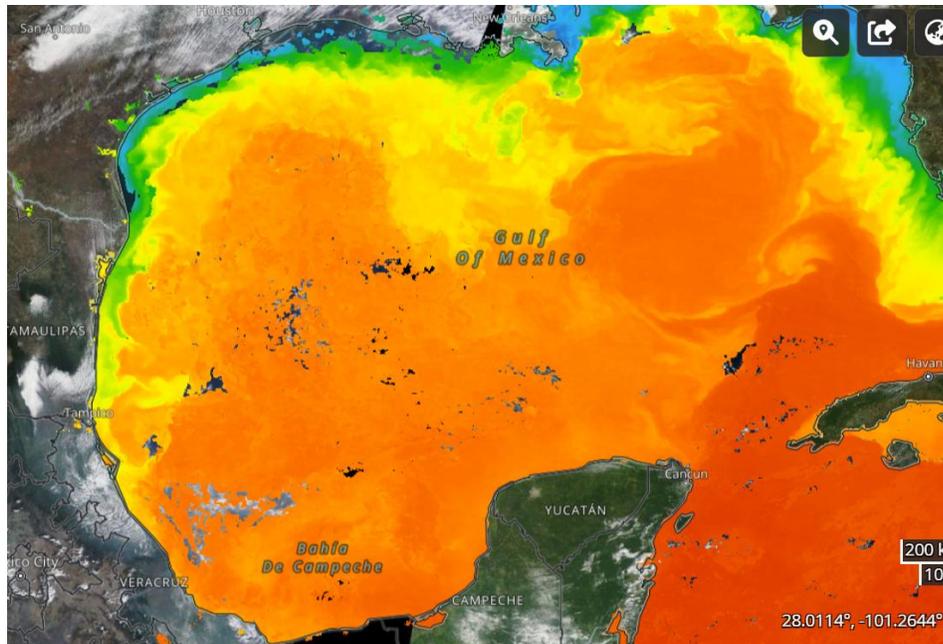


[www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/gpds/about\\_amsr2.html](http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/gpds/about_amsr2.html)

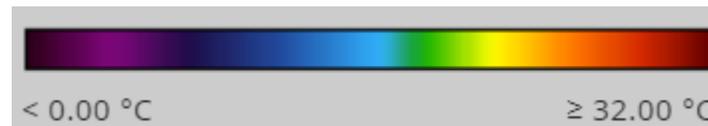
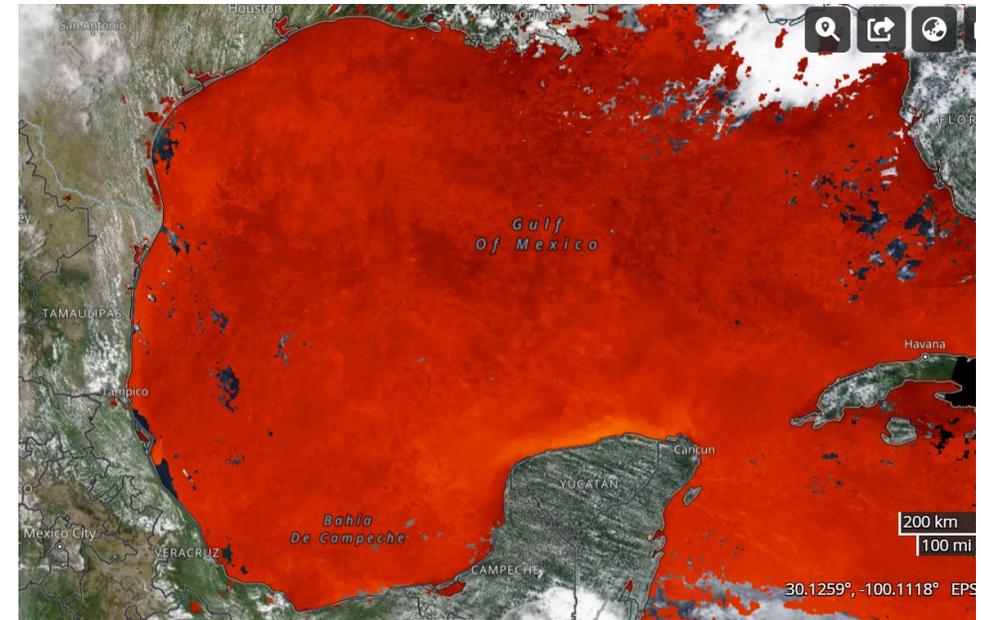
# Temperatura Superficial del Mar

Imágenes de Metop B y C Sea Surface Temperature (L3, Daily, Metop-B, radiómetro AVHRR)

Golfo de México 11 enero 2023

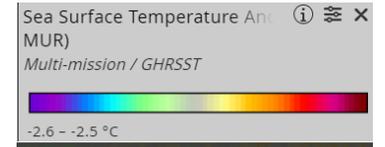


Golfo de México 3 julio 2022

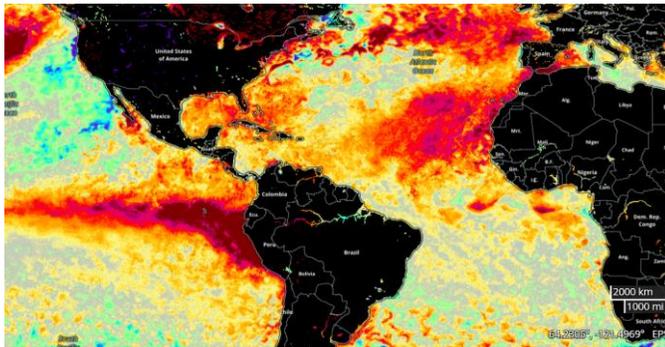


# TSM: Anomalía

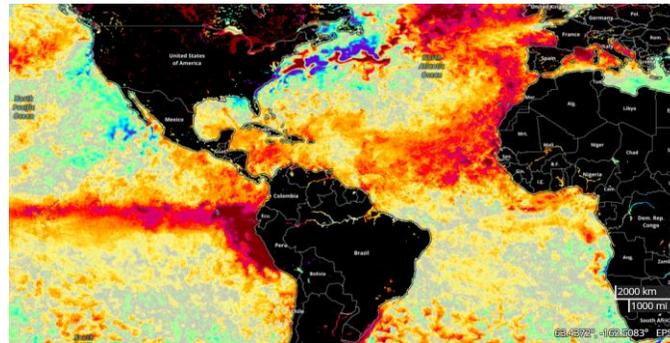
Sea Surface Temperature Anomalies (L4, MUR). Se basa en mediciones nocturnas de varios radiómetros infrarrojos y microondas, así como de observaciones in situ.



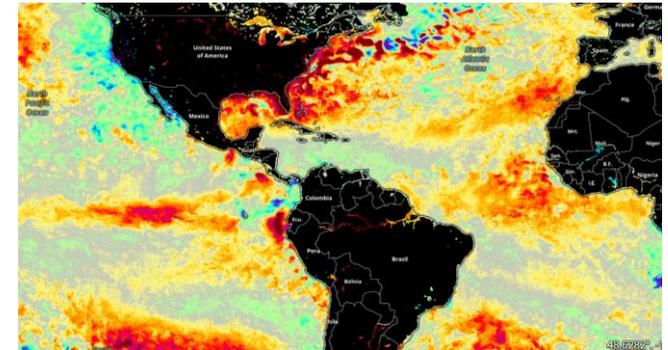
Anomalía a 5 julio 2023



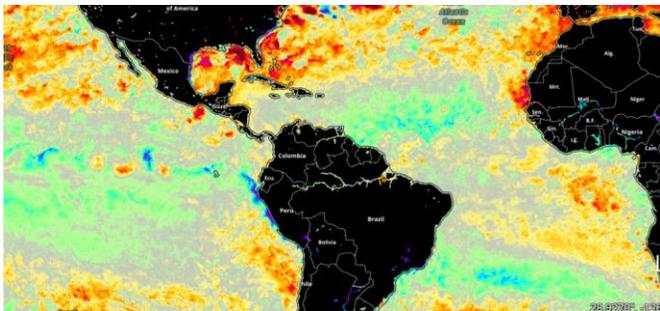
Anomalía a 5 junio 2023



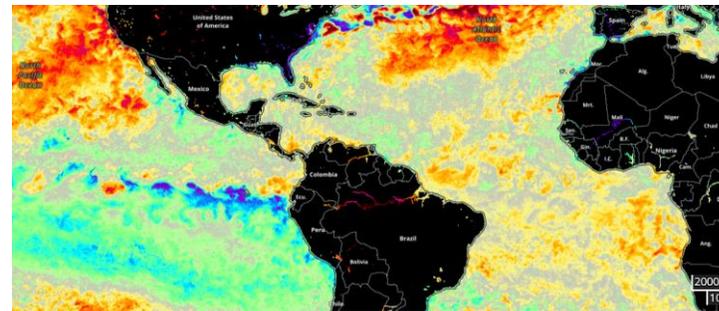
Anomalía a 5 marzo 2023



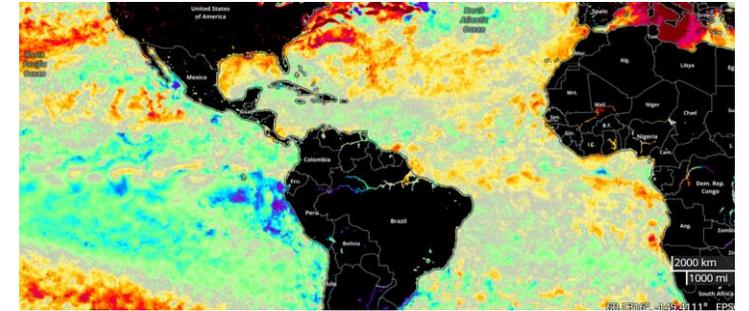
Anomalía a 5 enero 2023



Anomalía a 5 octubre 2022

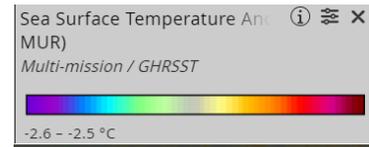


Anomalía a 5 junio 2022



# TSM: Anomalía

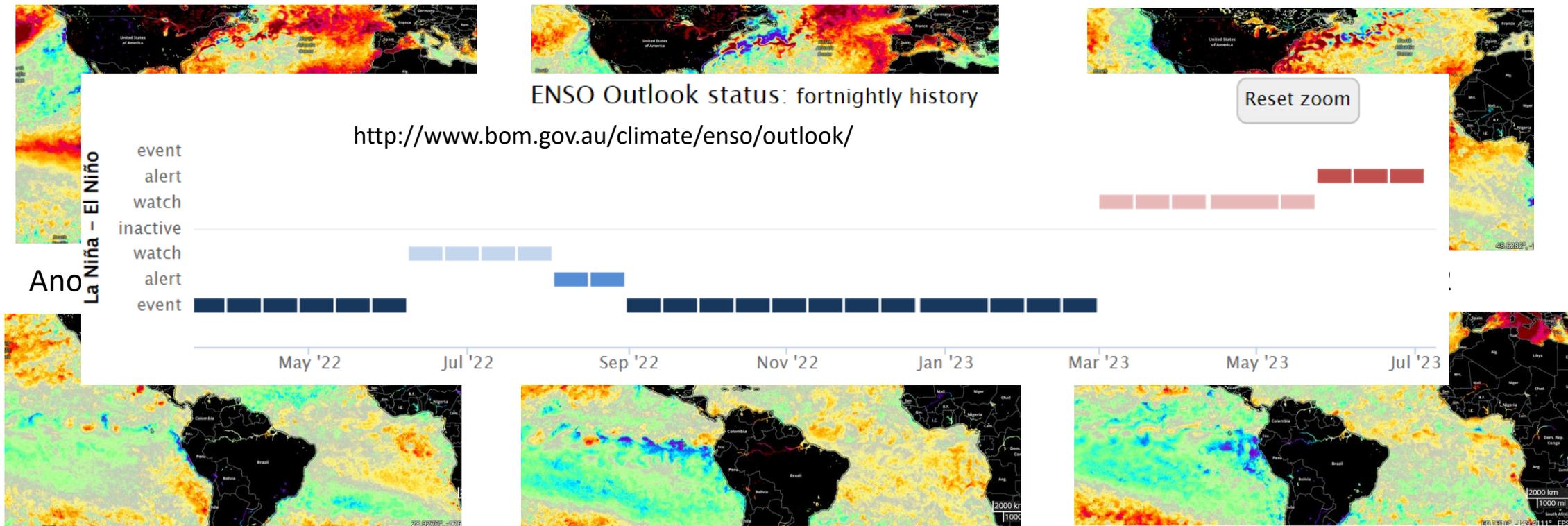
Sea Surface Temperature Anomalies (L4, MUR). Se basa en mediciones nocturnas de varios radiómetros infrarrojos y microondas, así como de observaciones in situ.



Anomalía a 5 julio 2023

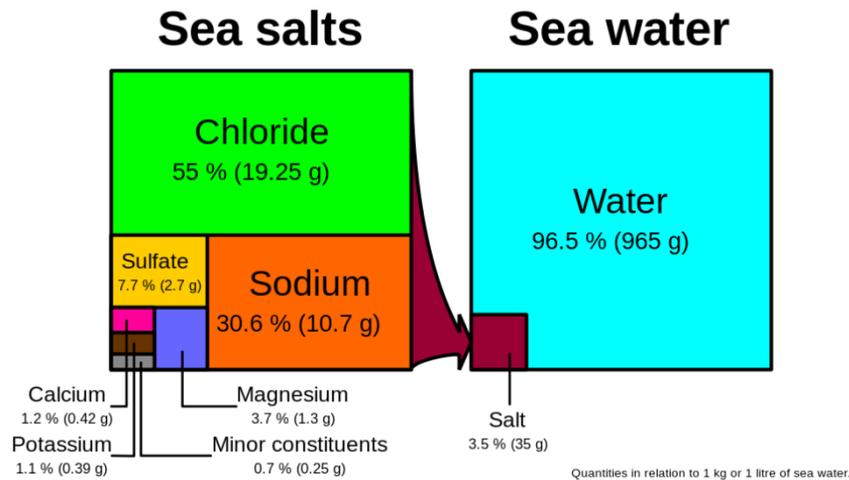
Anomalía a 5 junio 2023

Anomalía a 5 marzo 2023

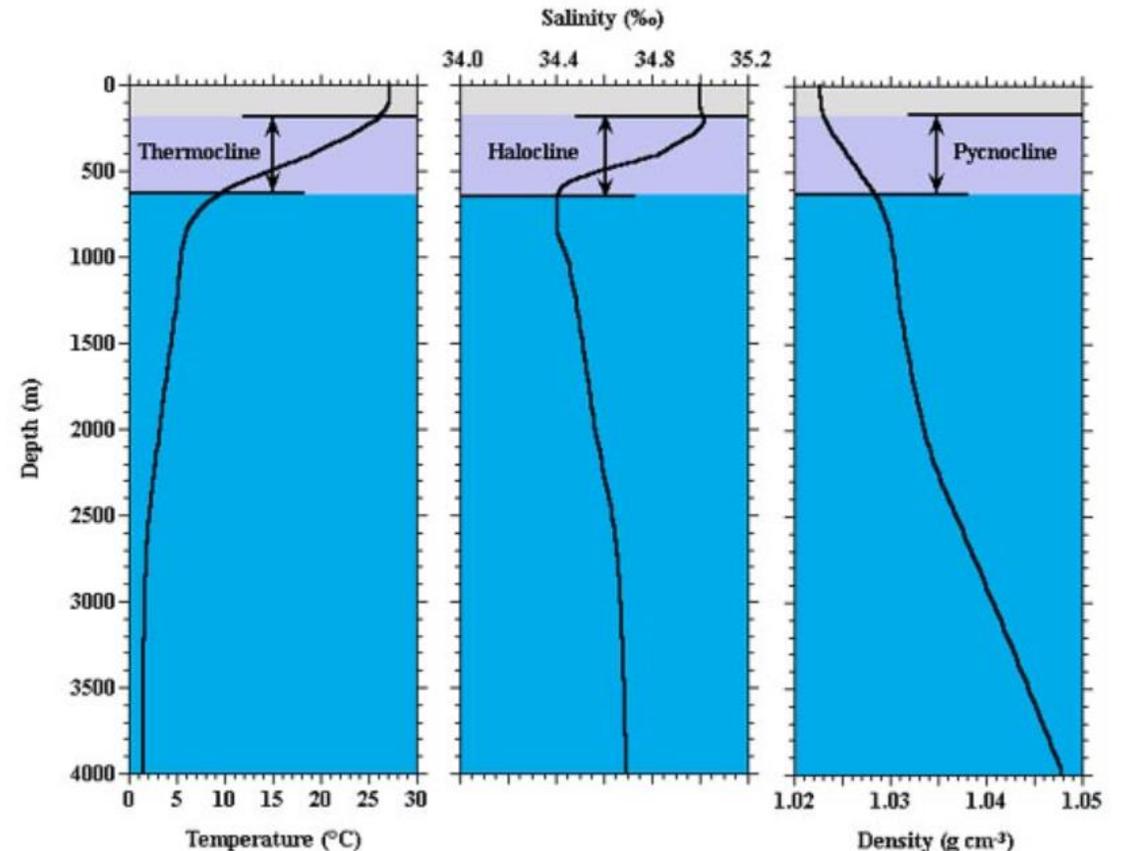


# Salinidad: Fundamentos teóricos

La Salinidad Superficial del Mar (SSS, SSM, Sea Surface Salinity), es una variable oceanográfica de gran relevancia, ya que es crucial para estimar el balance hídrico global, las tasas de evaporación y para conocer el comportamiento de las corrientes marinas.



<https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/5-3-salinity-patterns/>



[http://ocp.ldeo.columbia.edu/climatekidscorner/whale\\_dir.shtml](http://ocp.ldeo.columbia.edu/climatekidscorner/whale_dir.shtml)

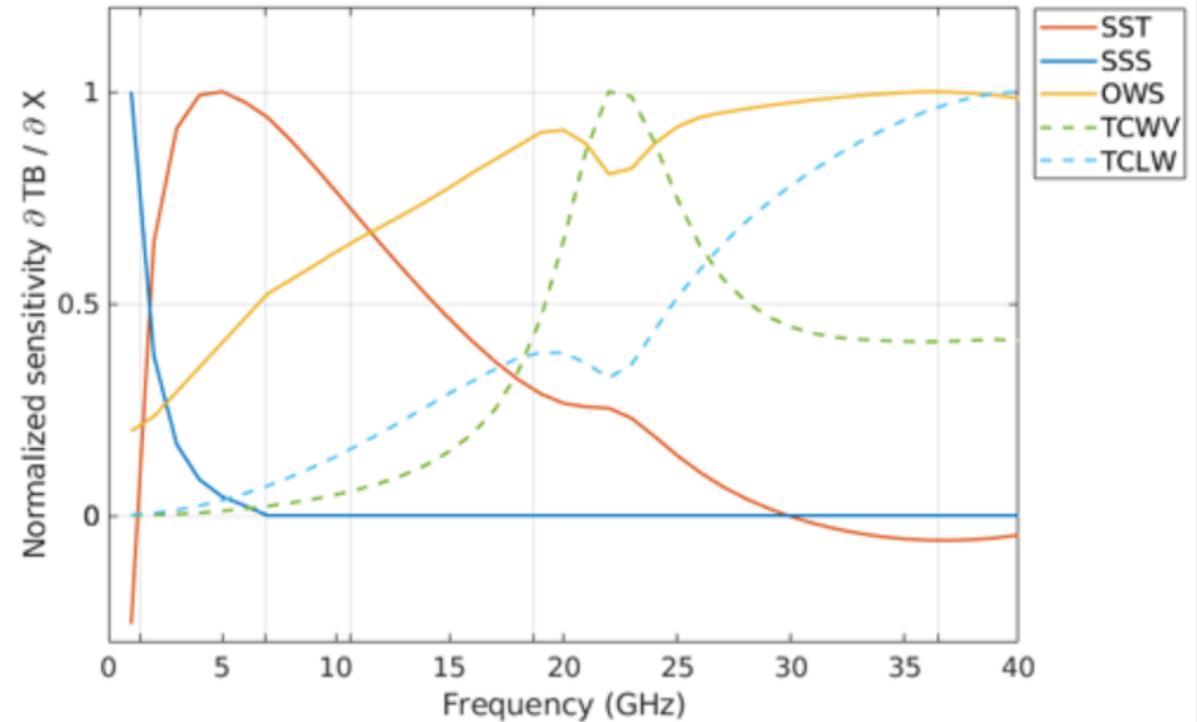
# Salinidad: Fundamentos teóricos

La Salinidad Superficial del Mar (SSS, SSM, Sea Surface Salinity), es una variable oceanográfica de gran relevancia, ya que es crucial para estimar el balance hídrico global, las tasas de evaporación y para conocer el comportamiento de las corrientes marinas.

¿Cómo se mide?

- Observaciones in situ: medidas basadas en la conductividad del agua.
- Por satélite: usando sensores capaces de detectar la radiación microondas en 1.4 GHz (banda L). Esta radiación es capaz de penetrar en torno a 1 cm en el océano, siendo parcialmente absorbida y reemitiéndose de nuevo.

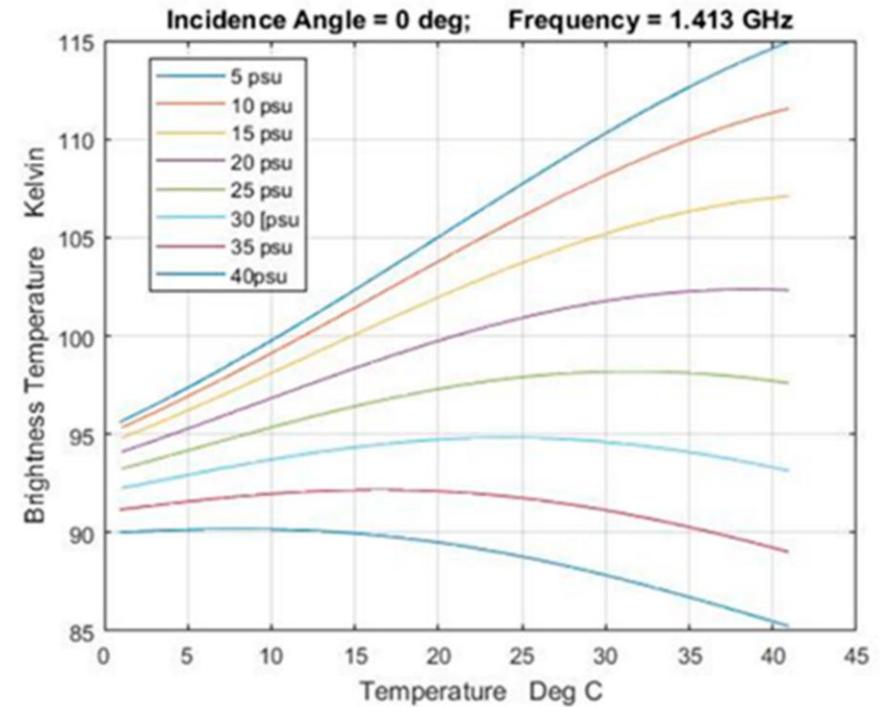
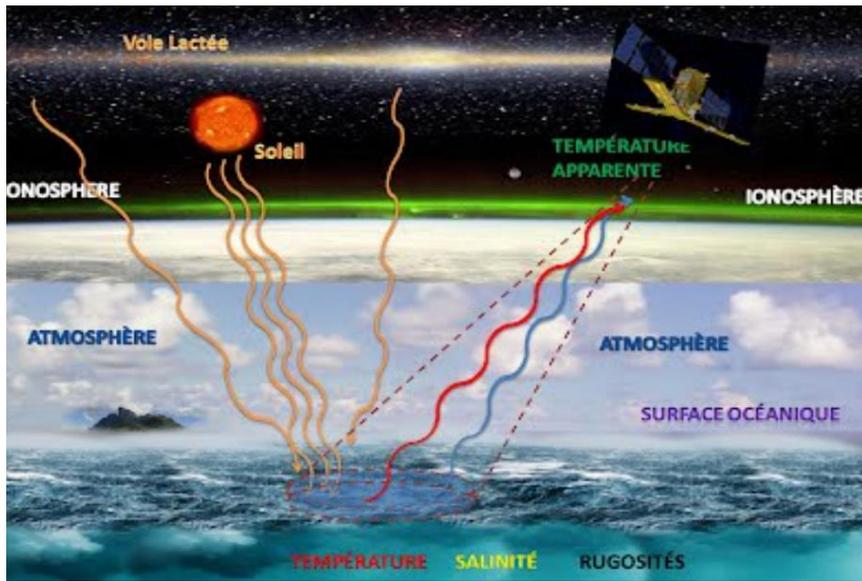
Sensibilidades normalizadas para parámetros oceánicos (SST, SSS, OWS) y atmosféricos (TCWV, TCLW) en función de la frecuencia para un ángulo de incidencia de 55°



<https://os.copernicus.org/articles/17/455/2021/>

# Salinidad: Fundamentos teóricos

La radiación emitida en la banda L va a depender tanto de la temperatura superficial del mar como de la salinidad. Además, la rugosidad del mar afecta muy significativamente a la emisión en esta banda ya que modifica el ángulo de incidencia.

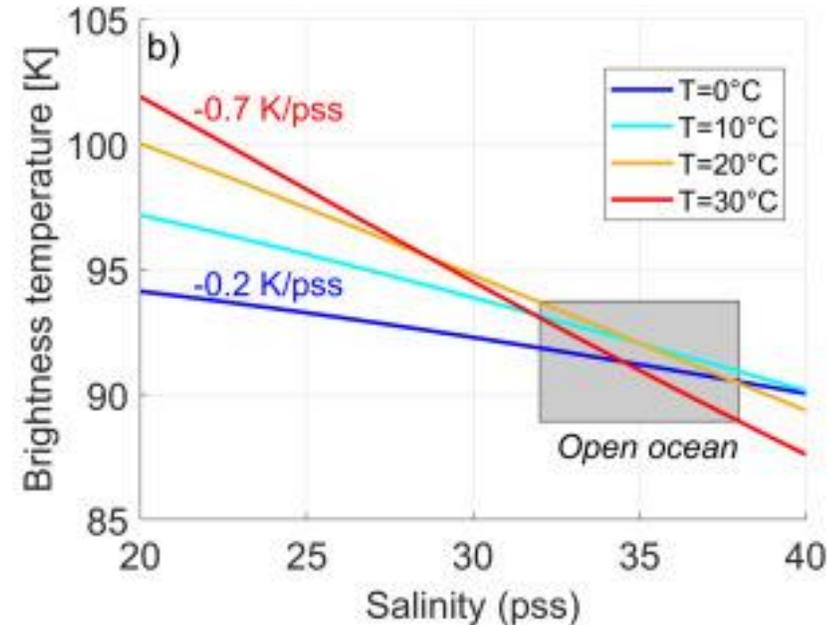
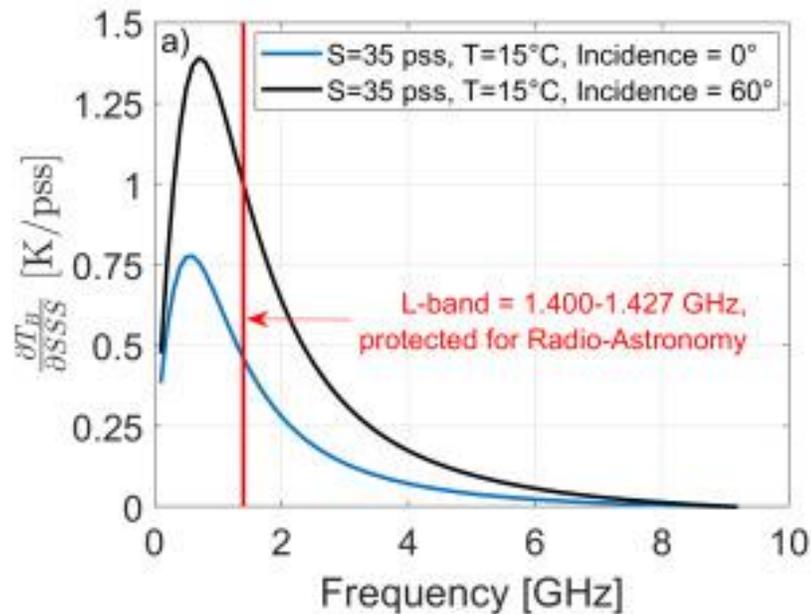


<http://www.salinityremotesensing.ifremer.fr/salinity-remote-sensing/how-it-works>

<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/9/1381>

# Salinidad: Fundamentos teóricos

La radiación emitida en la banda L va a depender tanto de la temperatura superficial del mar como de la salinidad. Además, la rugosidad del mar afecta muy significativamente a la emisión en esta banda ya que modifica el ángulo de incidencia.

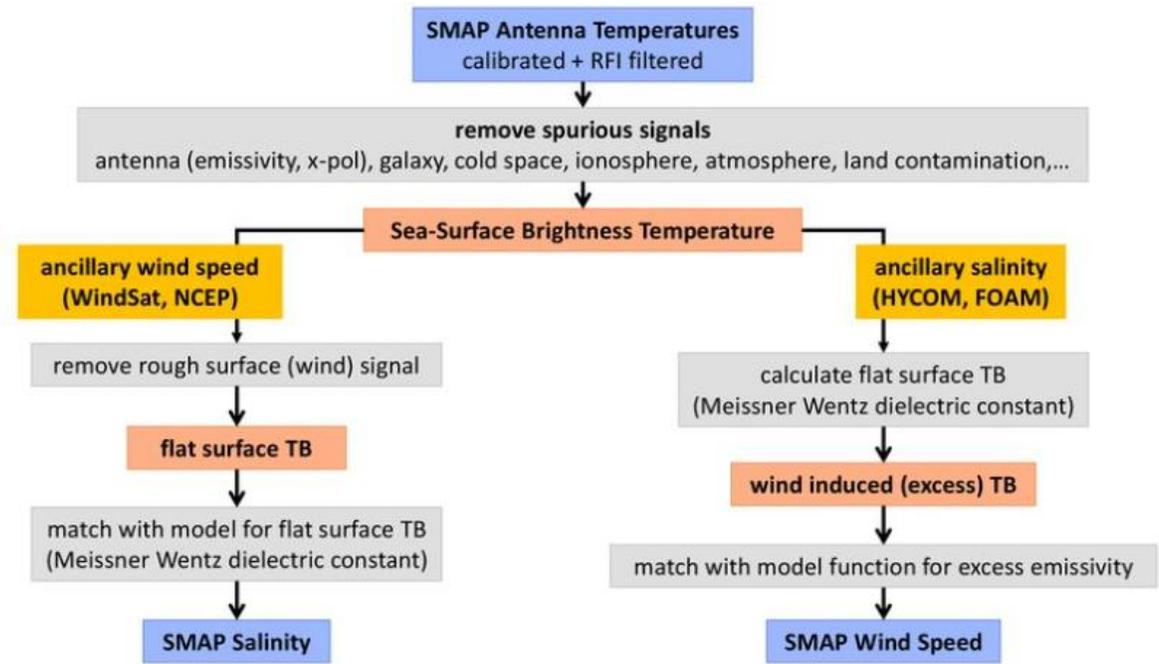


<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720301395>

# Salinidad: Fundamentos teóricos

Ejemplo de misiones que miden la salinidad superficial del mar:

- NASA SMAP (Soil Moisture Active Passive) lanzado en abril 2015, usa un radiómetro microondas que opera en la frecuencia 1.41 GHz (banda L). Continuó la misión que empezó con Aquarius (agosto 2011).
- ESA: SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity): instrumento MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis). Opera en la frecuencia de 1.413 GHz (banda L, 21 cm)

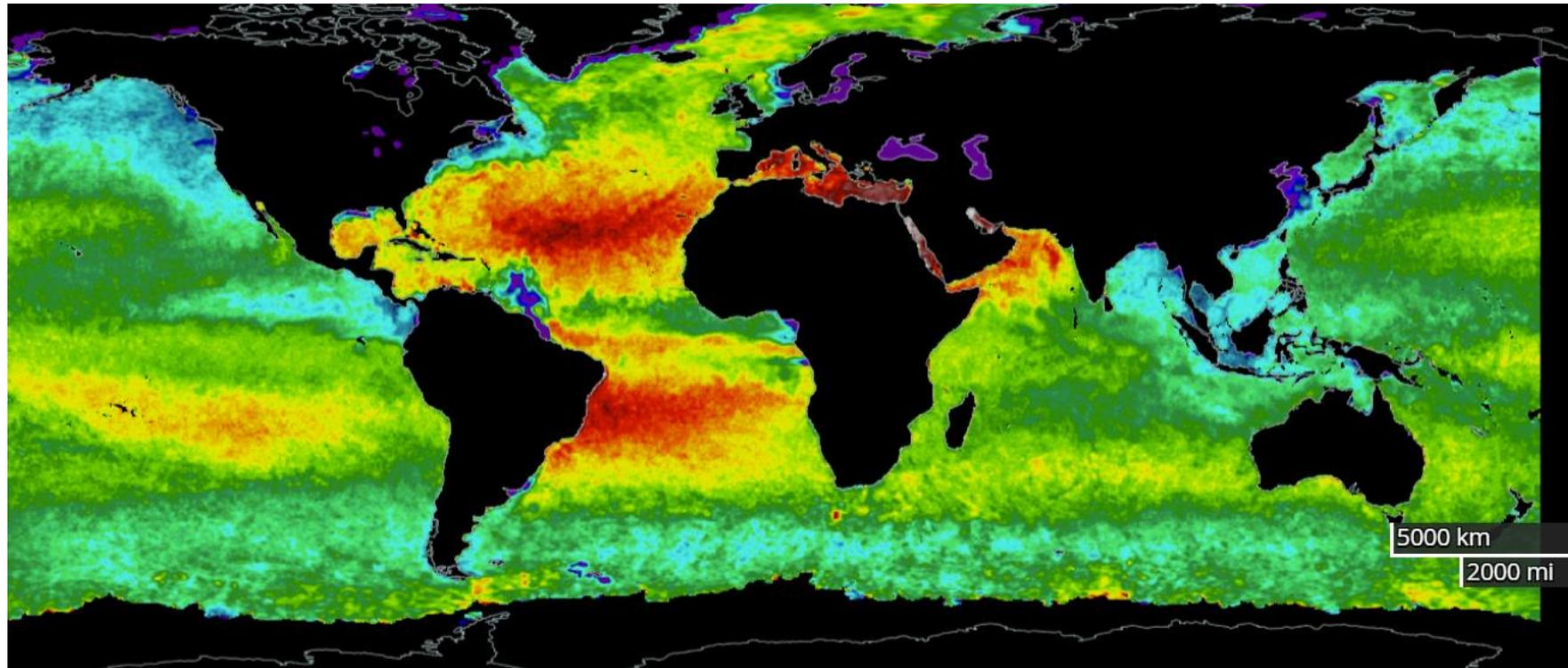


<https://slideplayer.com/slide/14326226/>

# Salinidad superficial del mar (SSS)

Salinidad superficial del mar (SSS) de SMAP, media de 8 días

21 de junio de 2023

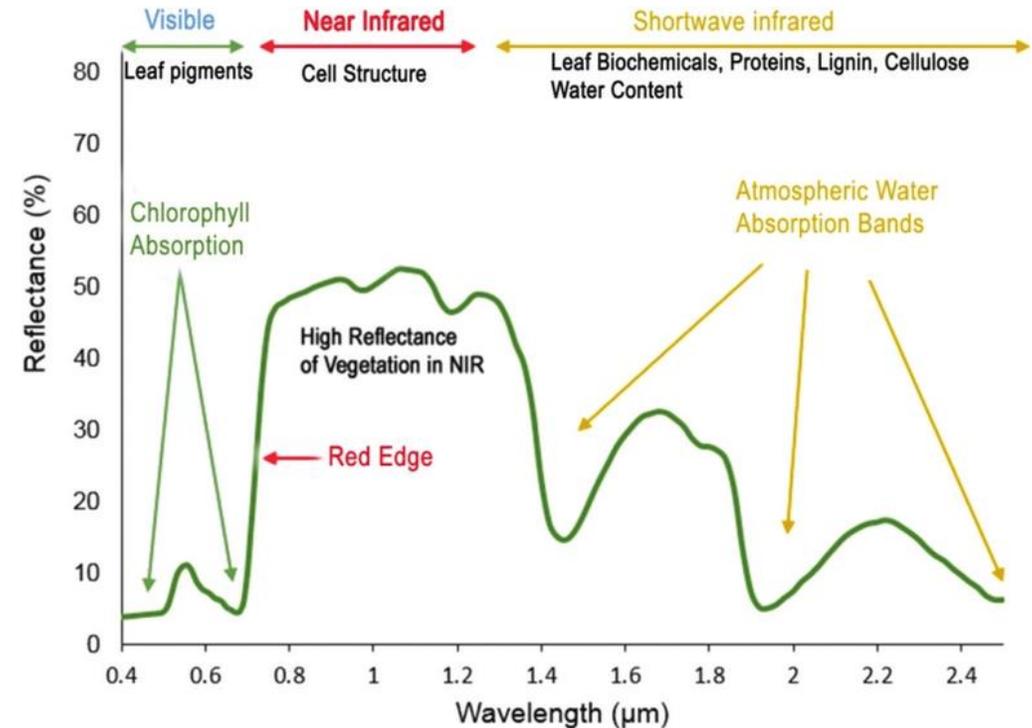


PSU: Practical Salinity Units  
 $1 \text{ PSU} = 10^{-3} \text{ g/kg}$

# Clorofila: Fundamentos teóricos

La clorofila es una sustancia que permite a las plantas y algas extraer la energía del sol y realizar por tanto la fotosíntesis. La clorofila a es un indicador de producción primaria, y por lo tanto también lo es del fitoplancton, que se encuentra en la base de la pirámide alimentaria marina. Además, el fitoplancton ejerce una función de control del clima mediante la denominada ‘bomba biológica de carbono’, que permite el ‘secuestro’ del carbono en las profundidades marinas.

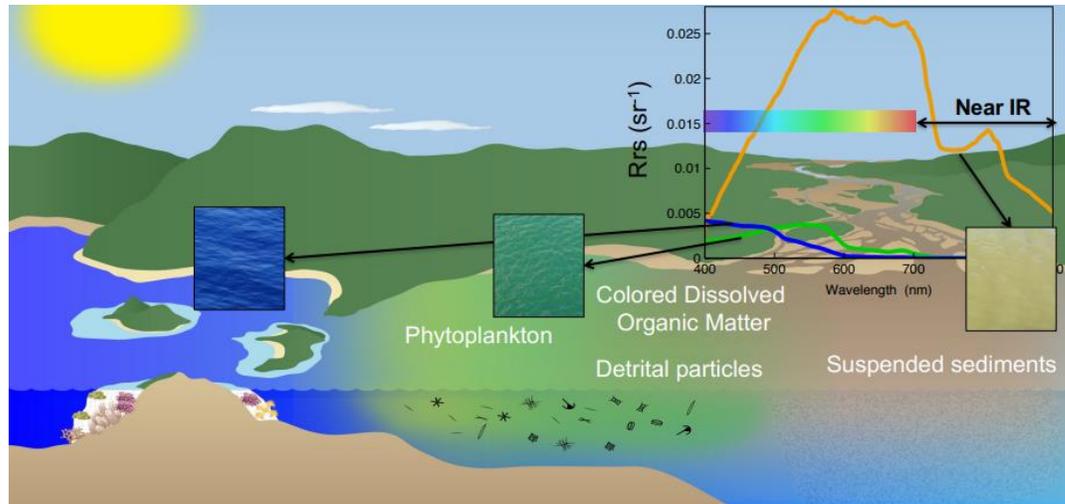
La clorofila se detecta principalmente en el espectro visible e infrarrojo cercano.



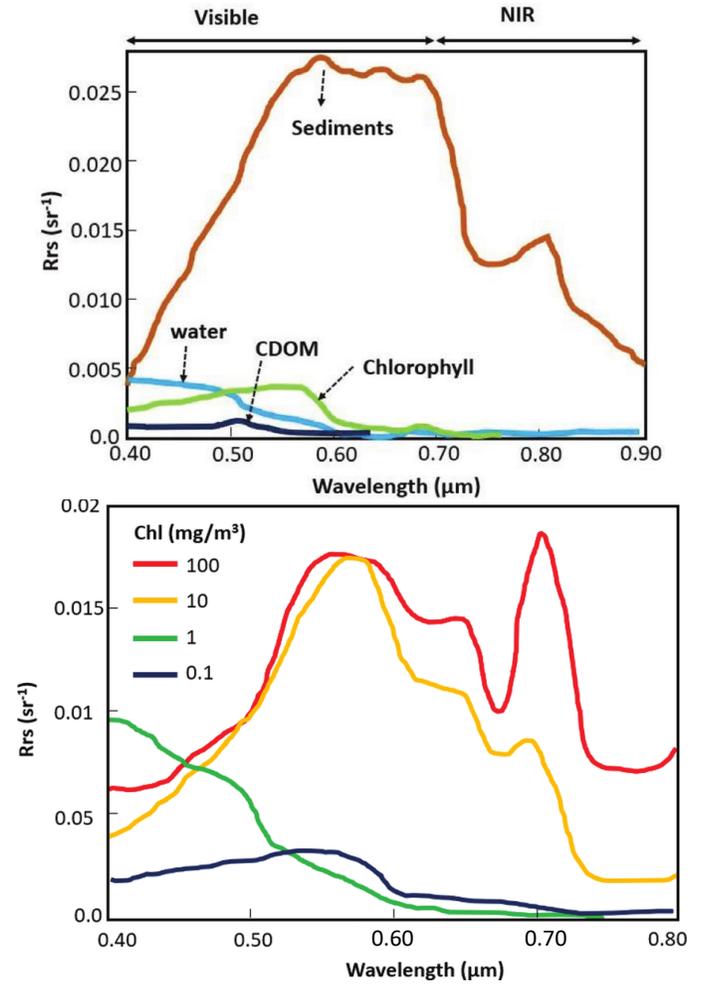
[https://www.researchgate.net/figure/The-spectral-reflectance-curve-of-vegetation-The-major-absorption-and-reflectance\\_fig4\\_315797574](https://www.researchgate.net/figure/The-spectral-reflectance-curve-of-vegetation-The-major-absorption-and-reflectance_fig4_315797574)

# Clorofila: Fundamentos teóricos

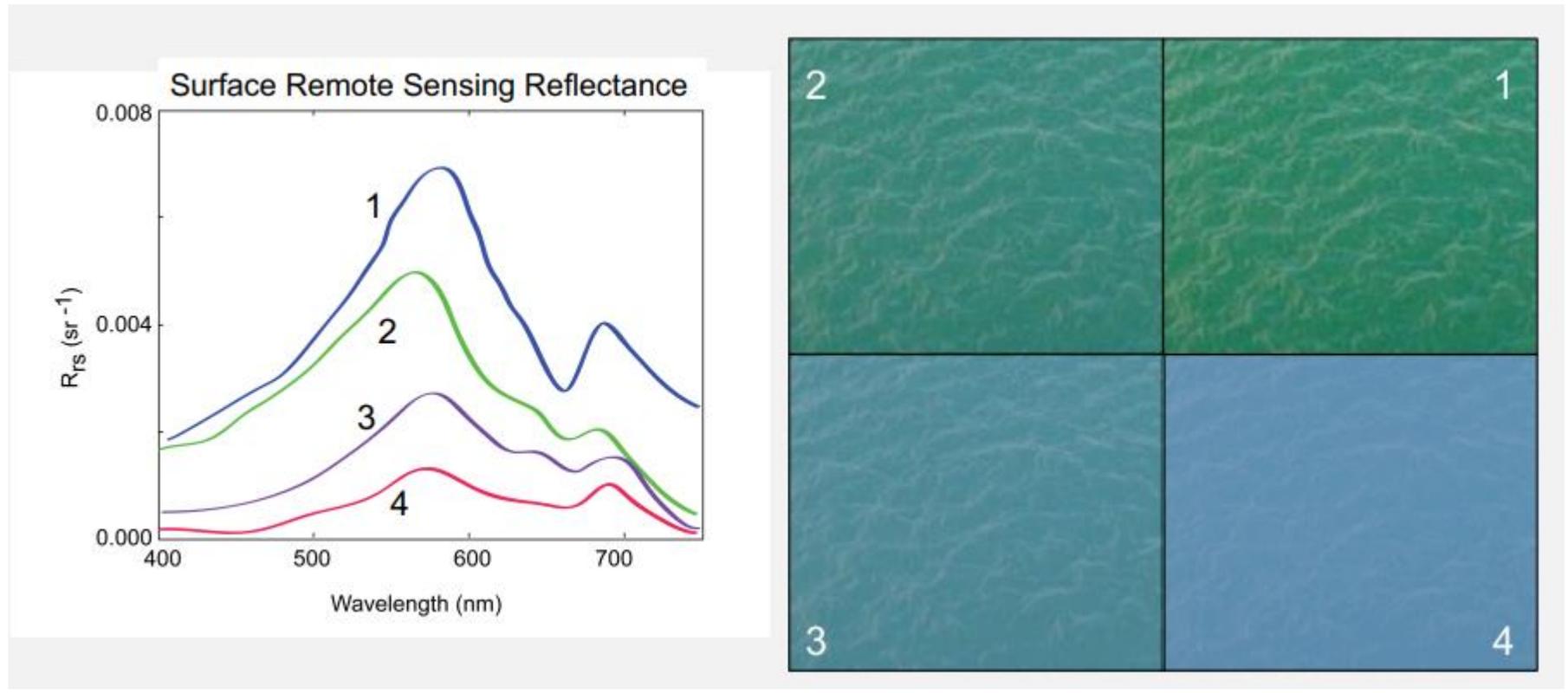
Por tanto, la clorofila se puede obtener a partir de las reflectancias obtenidas por radiómetros que operen en el rango visible y infrarrojo cercano. Según su concentración y la presencia de materia orgánica coloreada (CDOM) y de sedimentos la señal medida variará.



[https://www.researchgate.net/figure/Changing-spectral-response-of-water-with-different-levels-of-chlorophyll-concentration\\_fig4\\_329395305](https://www.researchgate.net/figure/Changing-spectral-response-of-water-with-different-levels-of-chlorophyll-concentration_fig4_329395305)



# Clorofila: Fundamentos teóricos

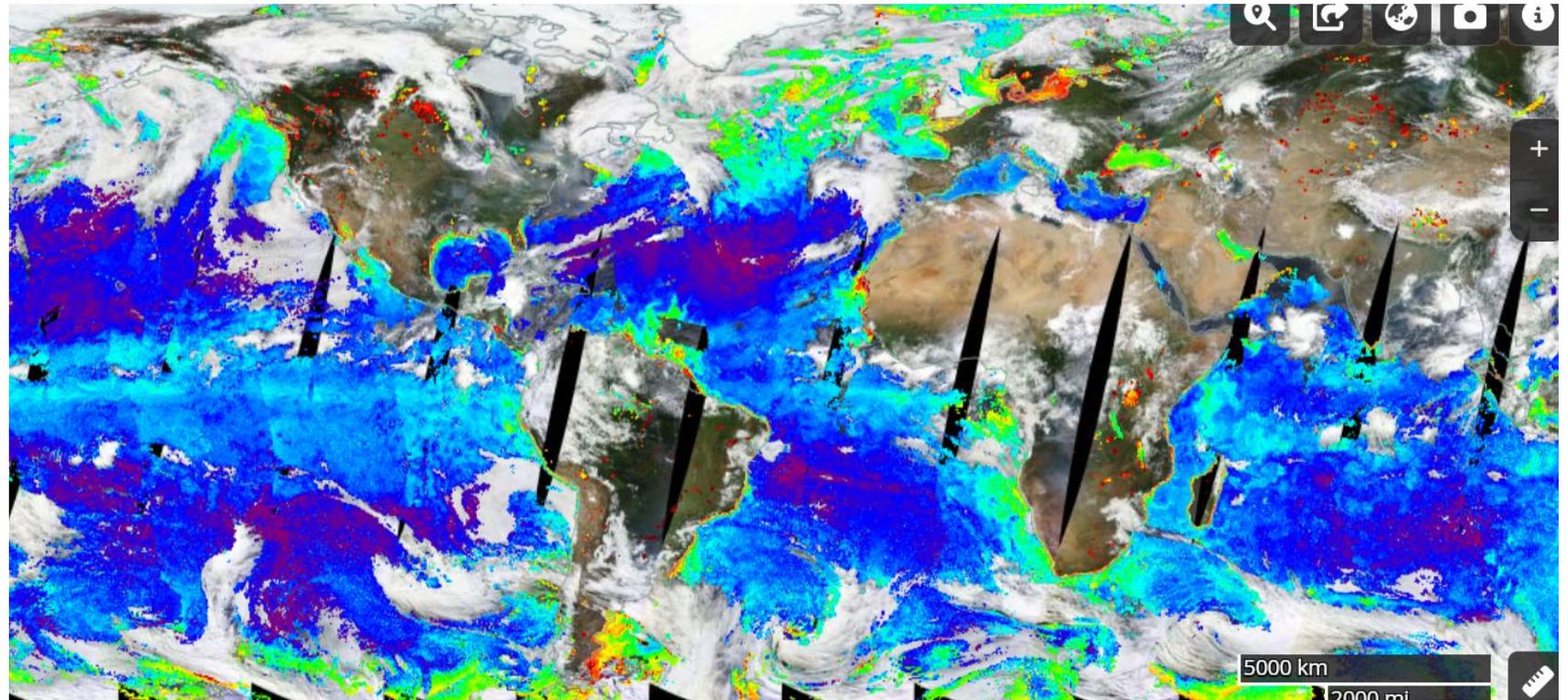
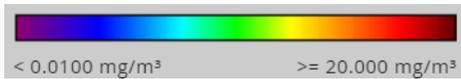


<https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/fundamentals-aquatic-web.pdf>

# Concentración de clorofila

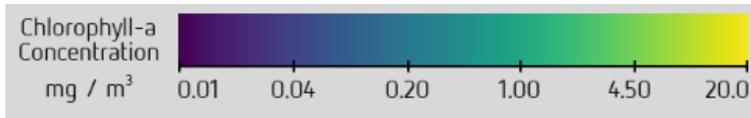
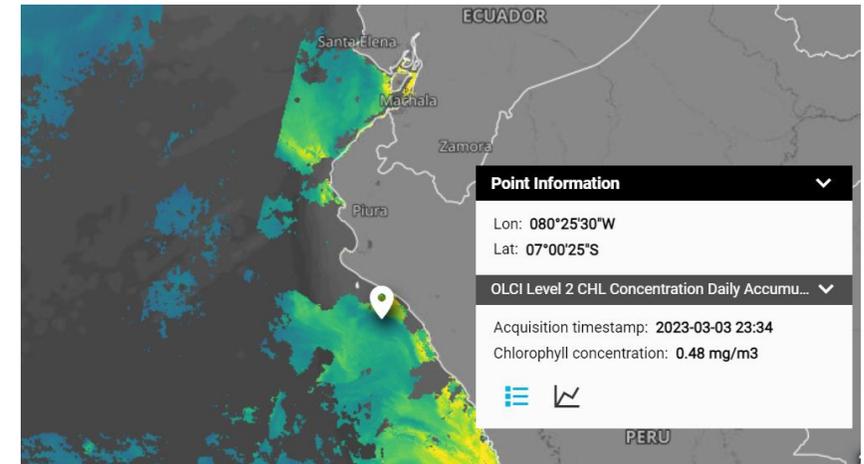
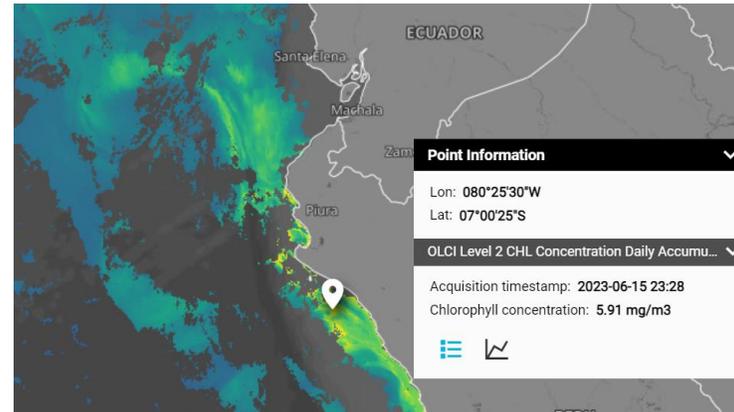
Concentración de clorofila-a (color del océano, ocean color). Calculo con MODIS (Terra, Aqua): algoritmo usa la reflectancia en el siguiente rango de bandas: 440 - 670nm

6 junio 2023



# Concentración de clorofila

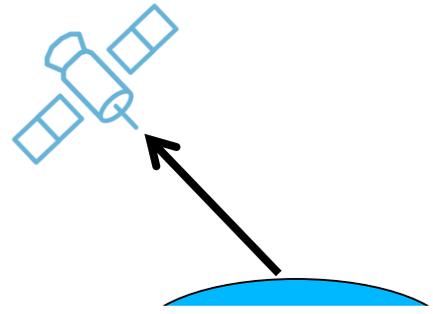
Concentración de clorofila-a (color del océano, ocean color). Calculo con OLCI (Sentinel - 3): algoritmo usa la reflectancia de bandas: 443, 490 y 510 nm



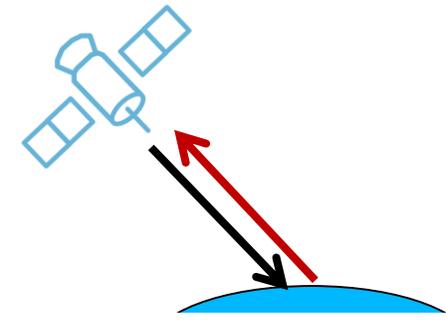
# Vientos sobre el mar: fundamentos teóricos

El viento oceánico se define como el movimiento de la atmósfera en relación con la superficie del océano. Por lo general, los vientos oceánicos se miden muy cerca de la superficie del océano mediante boyas, plataformas y barcos. La altura de referencia más común para las mediciones del viento oceánico cerca de la superficie es de 10 metros sobre el nivel del mar. Las mediciones satelitales del viento oceánico se realizan utilizando instrumentos pasivos y activos.

Pasivo

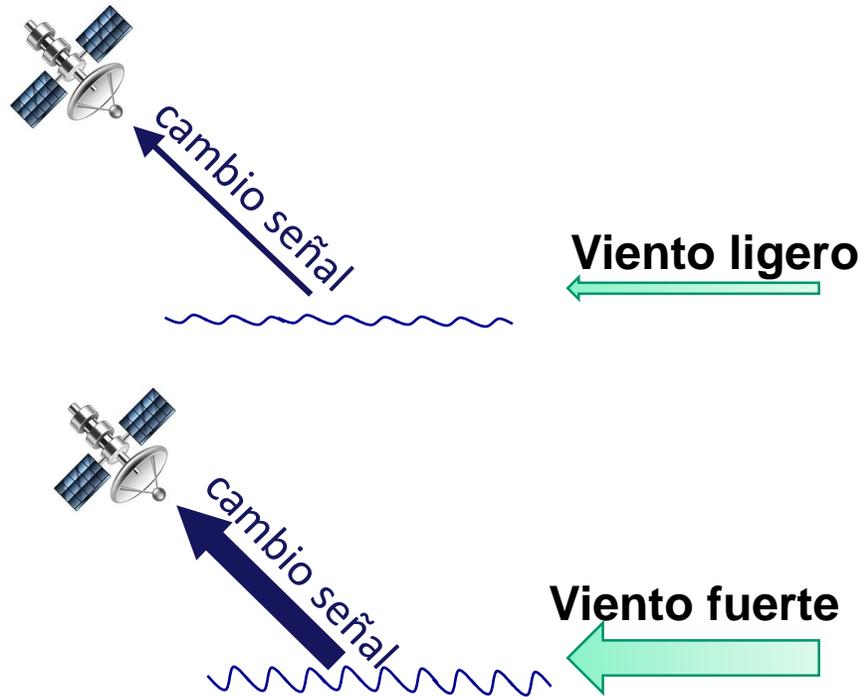


Activo



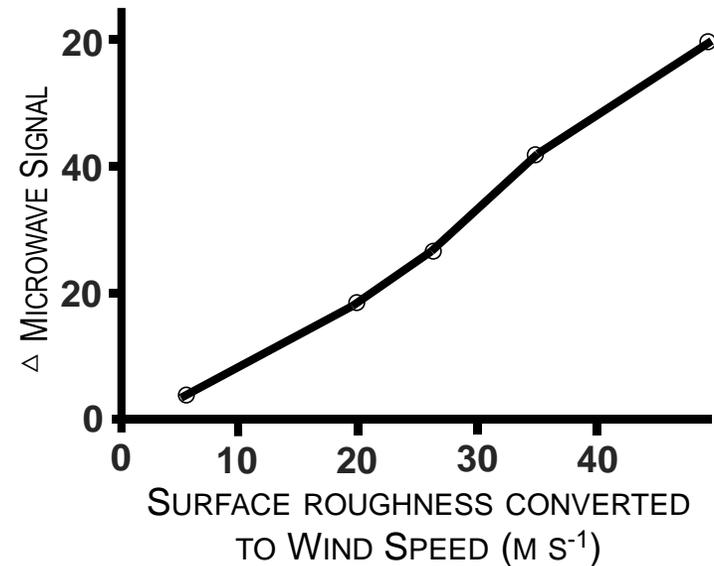
# Vientos sobre el mar: fundamentos teóricos

Los radiómetros microondas son instrumentos pasivos que miden la rugosidad de la superficie oceánica, y lo utilizan para estimar la velocidad del viento



Algunos radiómetros miden la dirección del viento usando la polarización (Ej: Windsat)

La rugosidad de la superficie del mar cambia el brillo de la señal de microondas emitida por el océano



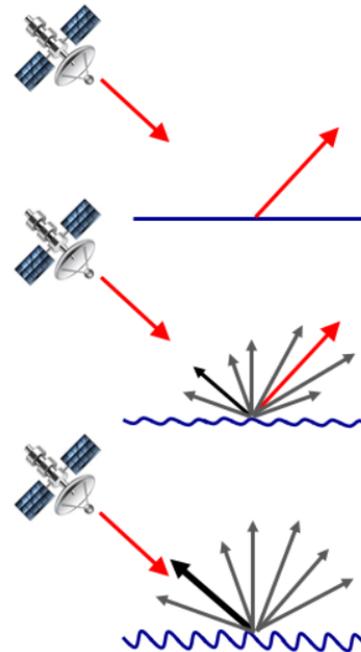
Las frecuencias utilizadas están en torno a 10.7 GHz

# Vientos sobre el mar: fundamentos teóricos

El viento también se puede estimar con instrumentos activos como un difusómetro radar (también llamado dispersómetro o escatómetro), que envían un pulso de microondas a la superficie del mar, midiendo la fuerza de la señal retrodispersada.

Si el agua está en calma (no viento), el pulso se refleja como un espejo, lo que se denomina reflexión especular, y la mayor parte de la señal reflejada no regresará al sensor.

Con más viento, aumentan las ondas en la superficie del mar, lo que provoca un aumento en la cantidad de pulso que se retrodispersa como señal al sensor.



## No wind

Sea surface is flat

Most energy is reflected away from the sensor

## Light wind

Sea surface roughens

Some energy is backscattered to sensor

## Strong wind

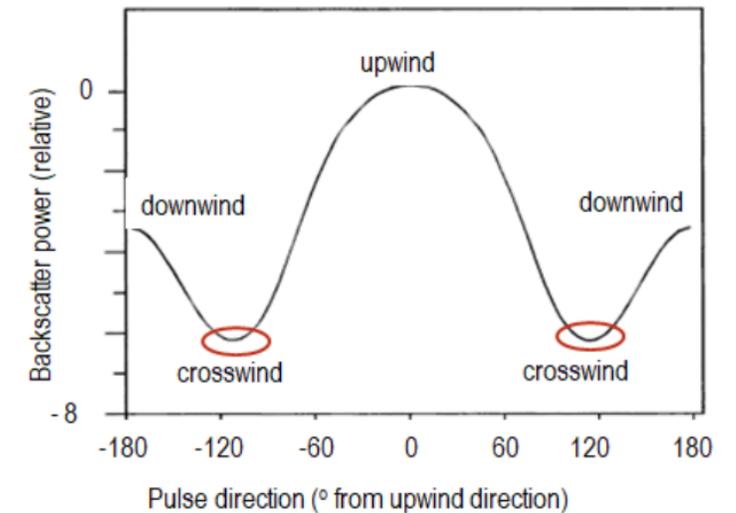
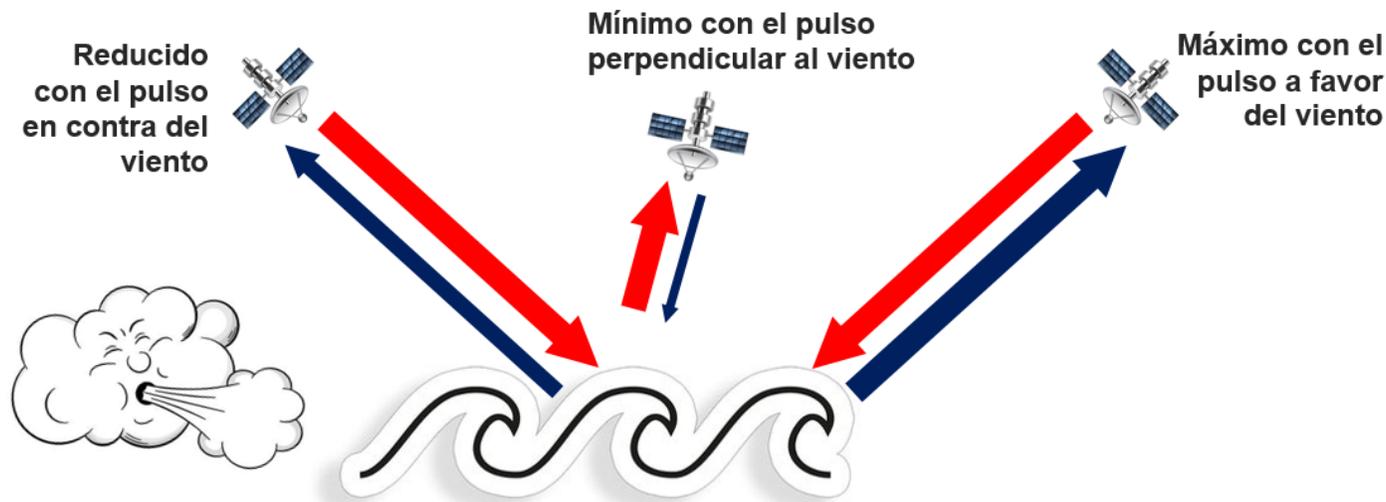
Sea surface roughness increases

More energy is backscattered toward sensor

# Vientos sobre el mar: fundamentos teóricos

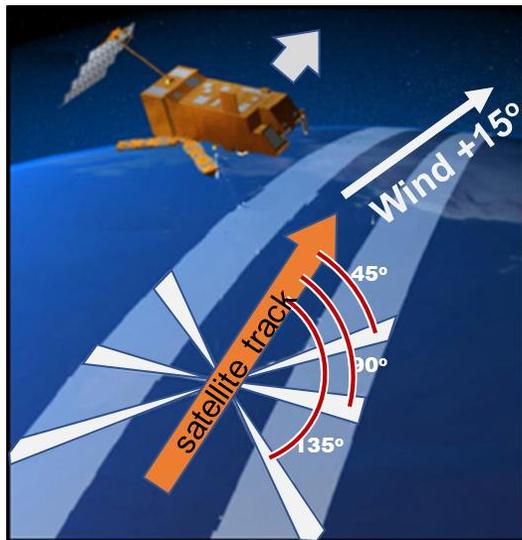
La cantidad de señal retrodispersada que llega al sensor depende tanto de la velocidad como de la dirección del viento:

- El retorno máximo ocurre cuando el pulso está en la dirección del viento.
- El retorno se reduce cuando el pulso está en la misma dirección del viento.
- Los retornos mínimos ocurren cuando el pulso está a 90 grados con respecto a la dirección del viento o con vientos cruzados.

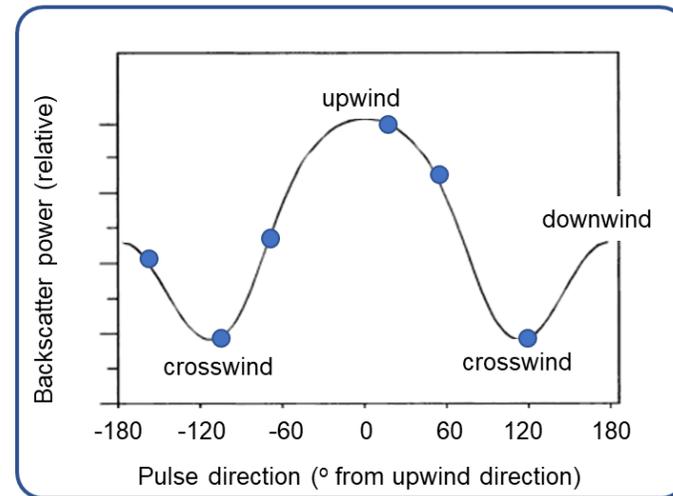


# Vientos sobre el mar: fundamentos teóricos

Por tanto, para obtener tanto la velocidad como la dirección del viento, los difusómetros radar emiten pulsos en muchas direcciones, midiendo la señal dispersada desde cada dirección de pulso. En la figura de la derecha, la línea representa la función de la retrodispersión relativa en diferentes ángulos con respecto al viento. Los círculos azules son la retrodispersión medida de los pulsos del dispersómetro. Estas múltiples medidas se utilizan para calcular la velocidad y dirección del viento que mejor se adapta a la función.

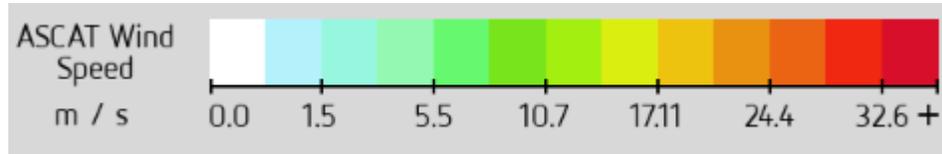
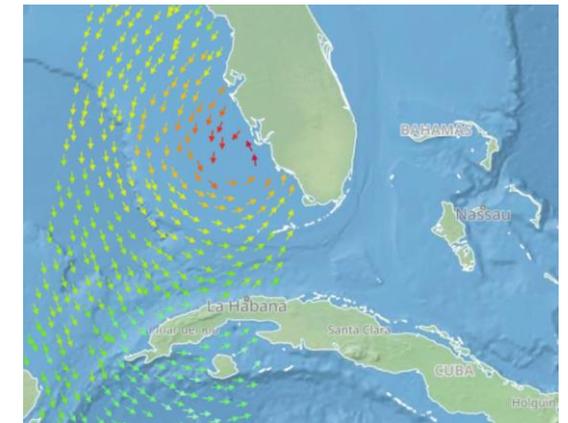
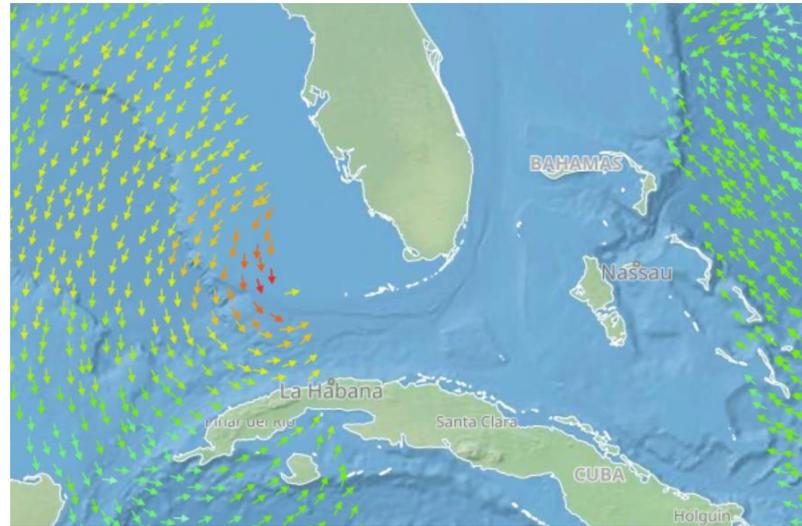
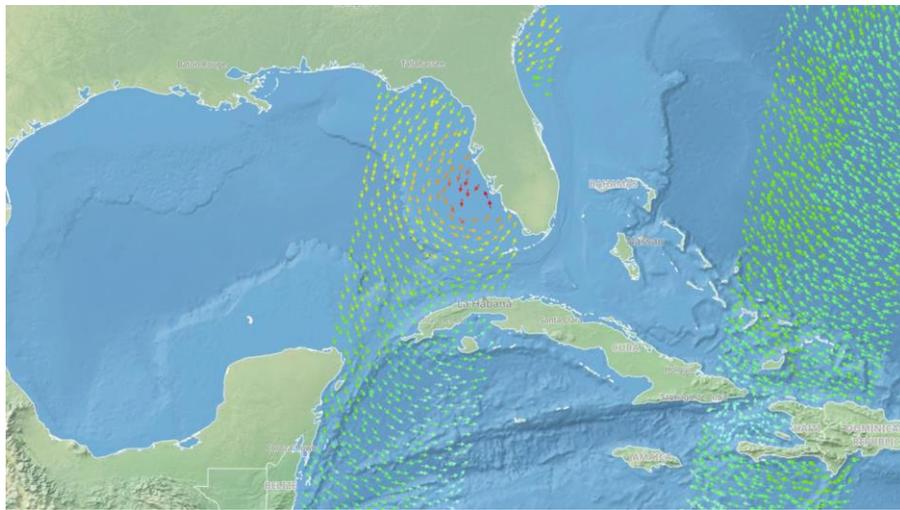


backscatter values at 15° pulse direction



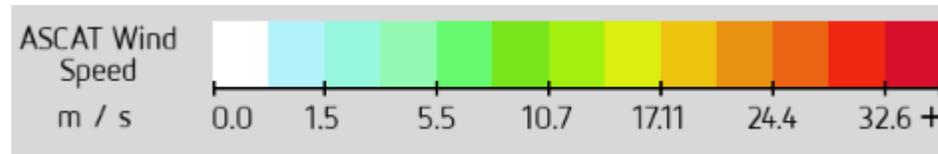
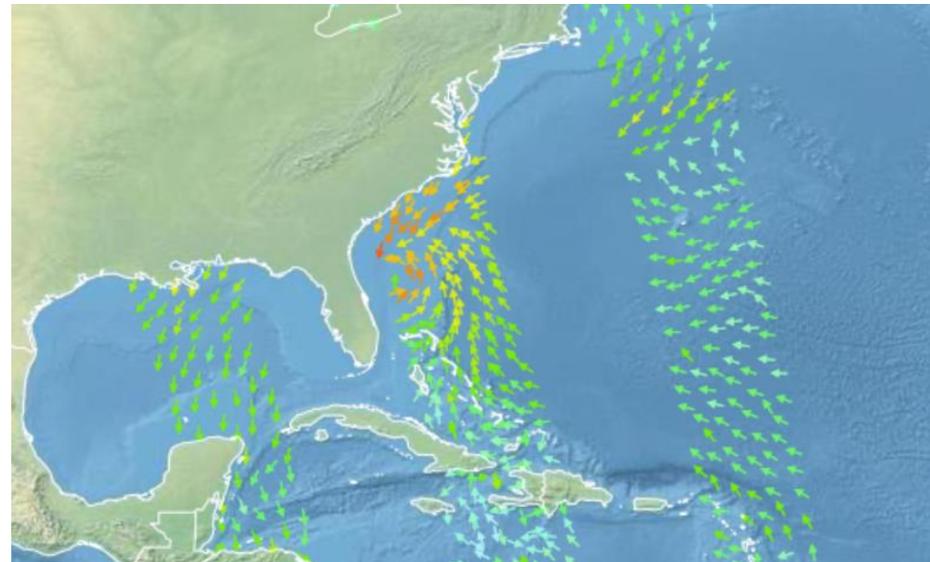
# Vientos sobre el mar

Metop, ASCAT, 12.5 km de resolución → radar de apertura real (escatómetro), opera a 5.255GHz (banda C)  
28 septiembre 2022 (tormenta IAN)



# Vientos sobre el mar

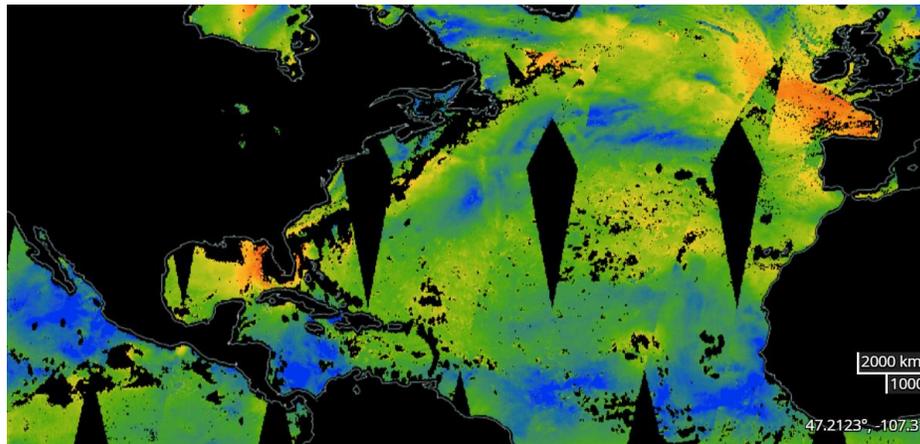
Metop, ASCAT, 12.5 km de resolución → radar de apertura real (escatómetro), opera a 5.255GHz (banda C)  
30 septiembre 2022



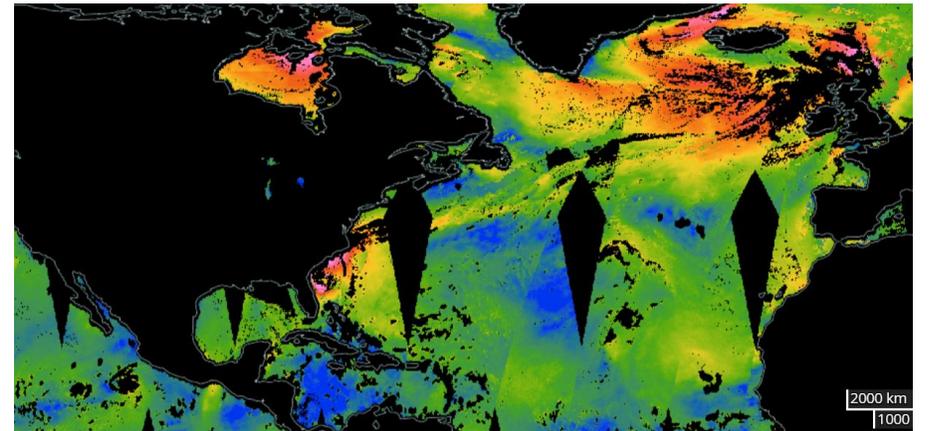
# Vientos sobre el mar

Velocidad del viento sobre el mar obtenida con el radiómetro microondas AMSR2 abordo de GCOM-W1 (resolución 111km).

28 septiembre 2022

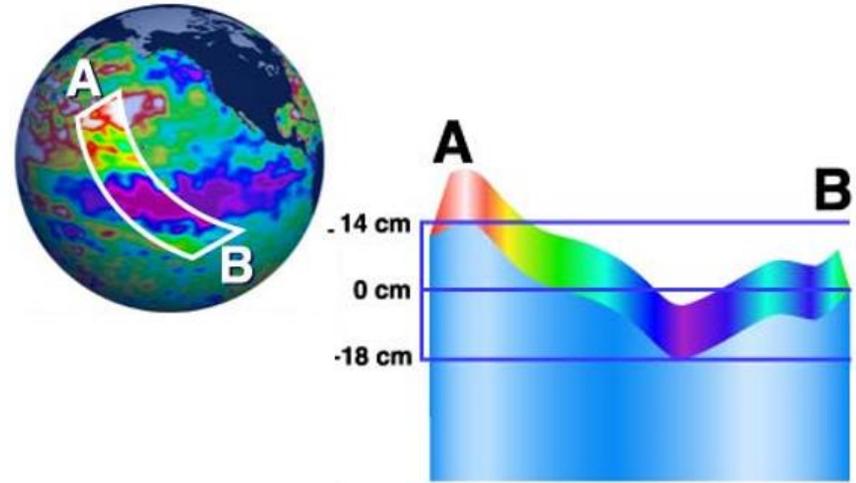


30 septiembre 2022

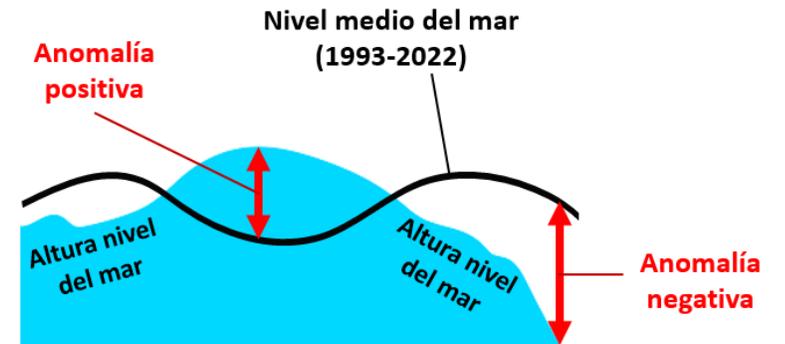


# Altimetría: fundamentos teóricos

¿Pero la superficie del mar no está siempre a la misma altura?

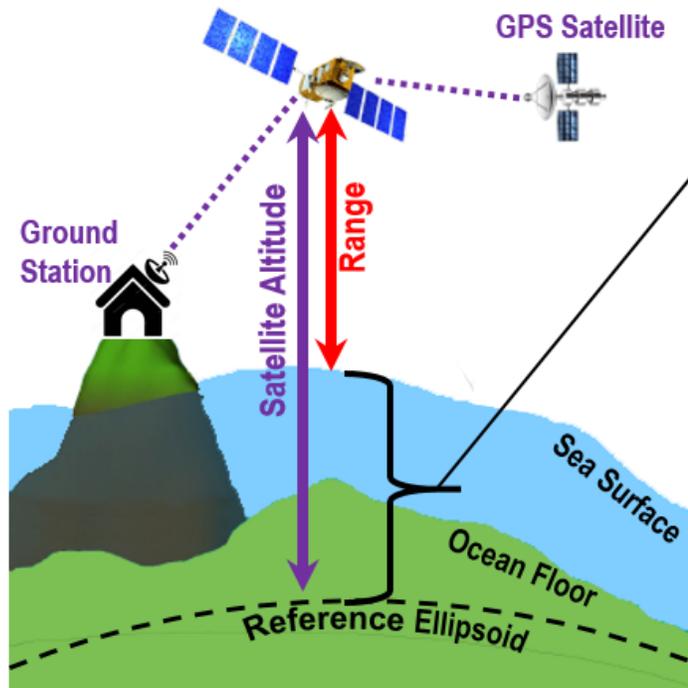


Interesa sobretudo las anomalías → Niño/a, corrientes geostróficas



# Altimetría: fundamentos teóricos

Desde satélites se mide la altura a nivel del mar con altímetros (radares microondas). Miden tiempo que tarda la señal en ir y volver (corrigiendo por los cambios que hay en la velocidad de la luz por la atmósfera)  
Muy importante conocer la posición exacta del satélite cuando se hace la medida (con las estaciones de tierra y por GPS).



$$\text{Altura nivel del mar (SSH, Sea Surface Height)} = \text{Altura del satélite} - \text{Rango}$$

Distancia satélite - elipsoide de referencia

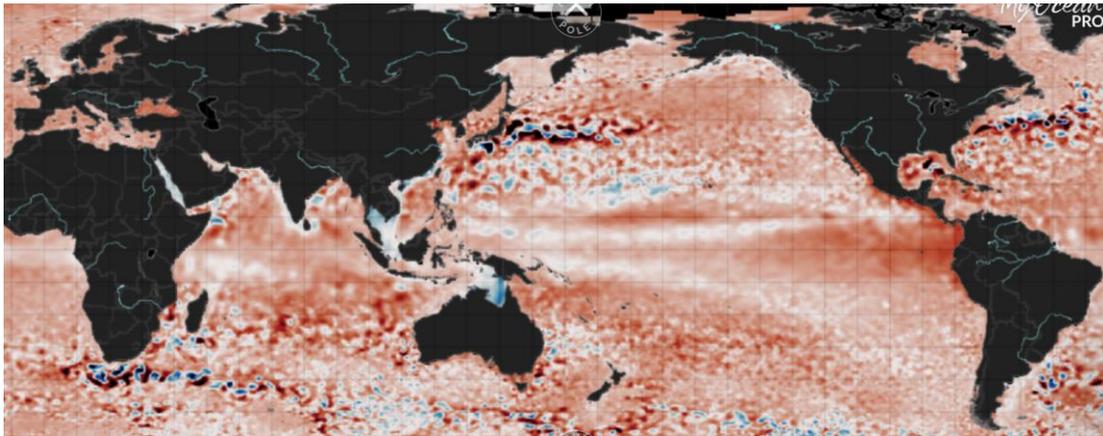
Distancia satélite - superficie mar (lo que el altímetro mide)

Ejemplos de satélites con altímetros: misión Jason 3 (Poseidon-3), Sentinel 3 (SRAL), Sentinel 6 (Poseidon-4), H2-Y...

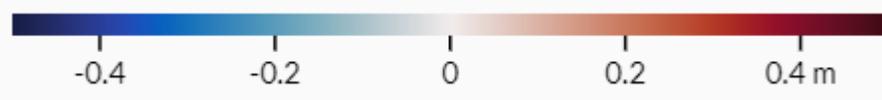
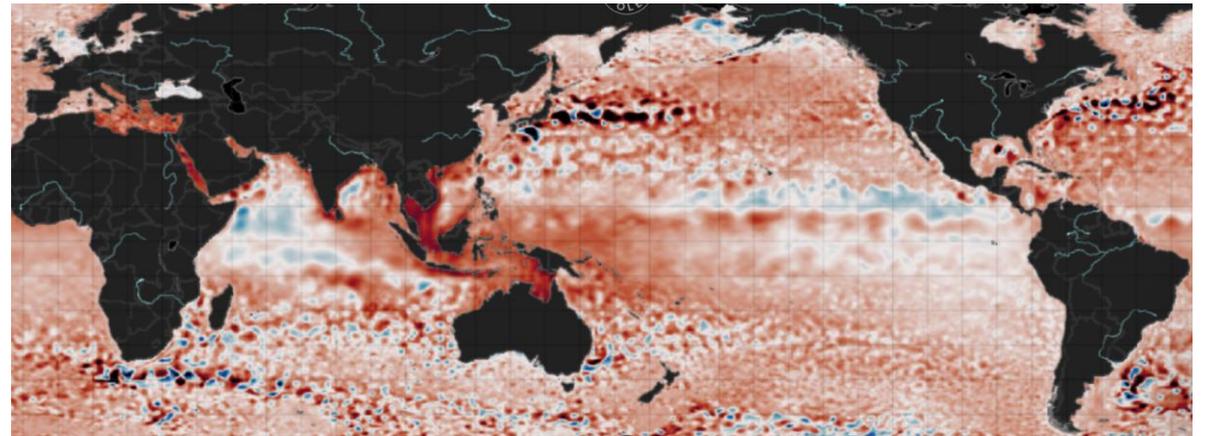
# Altura nivel del mar

Producto servicio océano programa Copernicus: Anomalía de la altura nivel del mar (Sea surface height above sea level). Obtenido altímetros a bordo de los satélites de la misión Copernicus (Sentinel-6A, Sentinel-3A/B) y con otras colaboradoras como Jason-3, Saral-DP/AltiKa, Cryosat-2, OSTM/Jason2, Jason-1, Topex/Poseidon, Envisat, GFO, ERS-1/2, Haiyang-2A/B.

17 julio 2023



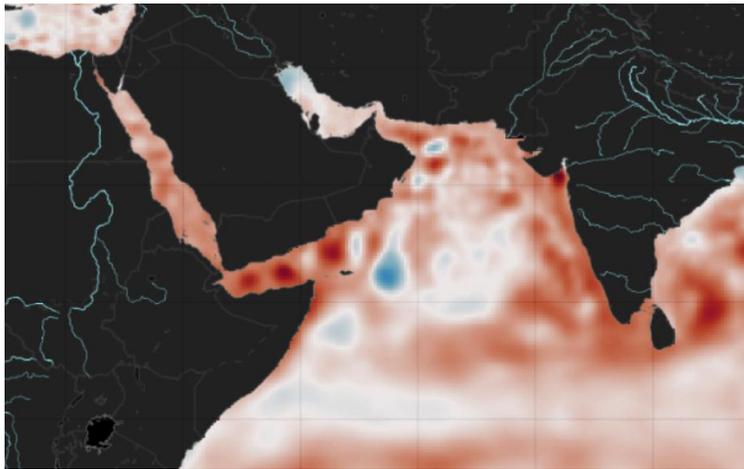
11 diciembre 2022



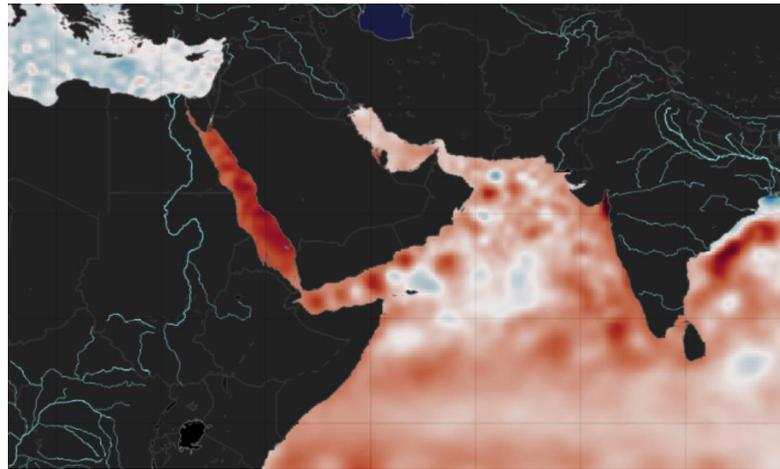
# Altura nivel del mar

Producto servicio océano programa Copernicus: Anomalía de la altura nivel del mar (Sea surface height above sea level). Obtenido altímetros a bordo de los satélites de la mission Copernicus Copernicus missions (Sentinel-6A, Sentinel-3A/B) y con otras colaboradoras como Jason-3, Saral-DP/AltiKa, Cryosat-2, OSTM/Jason2, Jason-1, Topex/Poseidon, Envisat, GFO, ERS-1/2, Haiyang-2A/B.

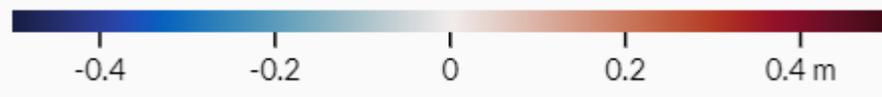
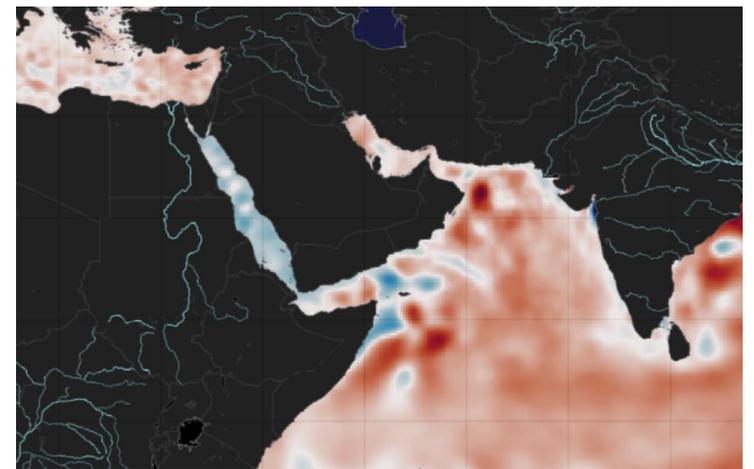
26 enero 2023



9 marzo 2023



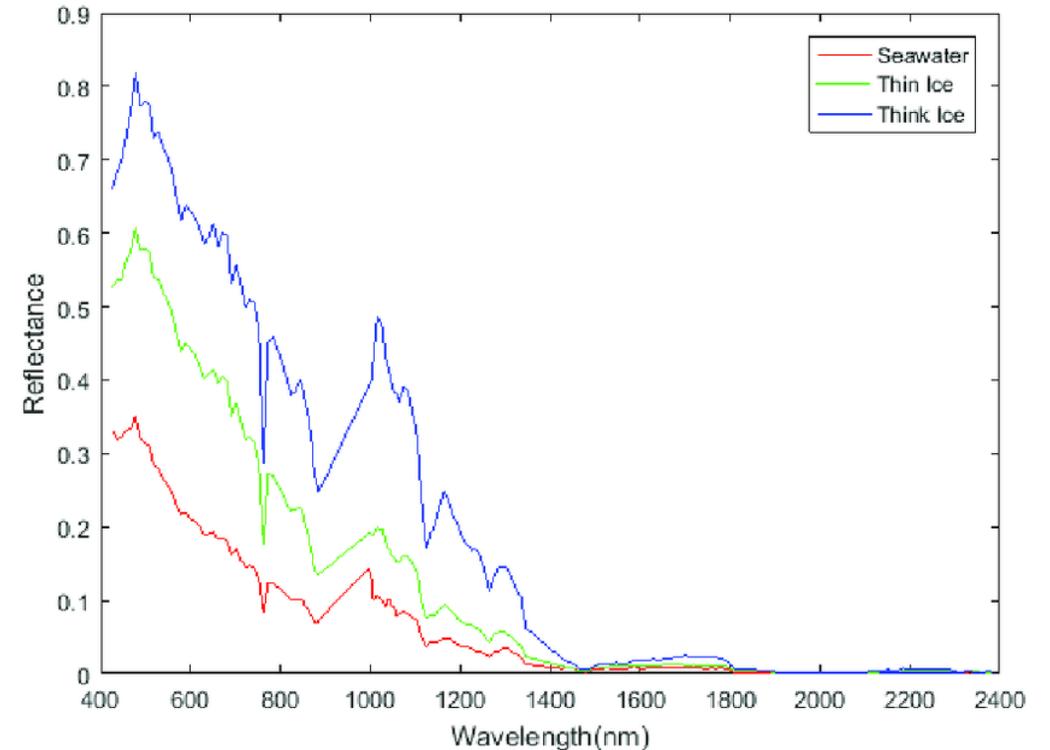
15 julio 2023



# Hielo marino: fundamentos teóricos

La presencia de hielo marino aumenta el albedo de la superficie terrestre, ya que la luz solar que normalmente sería absorbida por el océano azul oscuro ahora es reflejada por el blanco sólido del hielo. Esto afecta al balance térmico de la tierra, regulando la cantidad de calor que escapa de la superficie del océano para calentar la atmósfera.

Por otro lado la presencia de hielo marino impide el paso de barcos a través de las aguas y es posible que se requiera un barco rompehielos para romper el hielo antes de que un barco pueda pasar.



[https://www.researchgate.net/figure/Spectral-reflectance-curves-of-sea-ice-types-and-seawater-from-hyperspectral-data-for-the\\_fig2\\_335901864](https://www.researchgate.net/figure/Spectral-reflectance-curves-of-sea-ice-types-and-seawater-from-hyperspectral-data-for-the_fig2_335901864)

# Hielo marino: fundamentos teóricos

Para detectar el hielo marino se usan radiómetros que detectan la cantidad de luz en el espectro visible reflejada. También algunos productos usan las bandas en el infrarrojo para medir temperaturas.

Por ejemplo, para el producto “extensión del hielo marino (sea ice extent)” se usan las siguientes bandas del sensor MODIS (a bordo de los satélites Terra y Aqua):

- Banda 1 (0.645  $\mu\text{m}$  )
- Banda 2 (0.865  $\mu\text{m}$  )
- Banda 4 (0.555  $\mu\text{m}$  )
- Banda 6 (1.640  $\mu\text{m}$  )
- Banda 31 (11.03  $\mu\text{m}$  )
- Banda 32 (12.02  $\mu\text{m}$  )

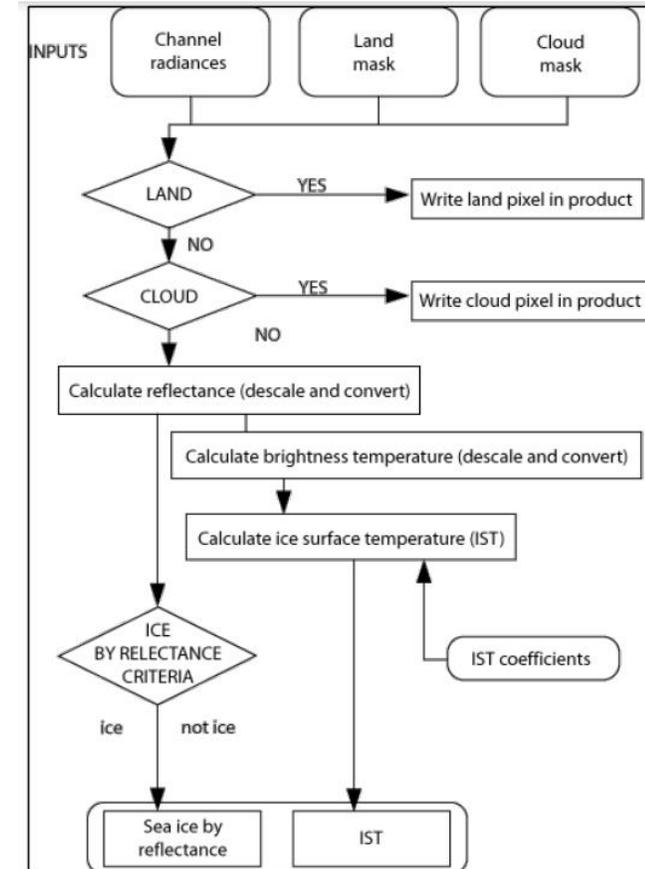
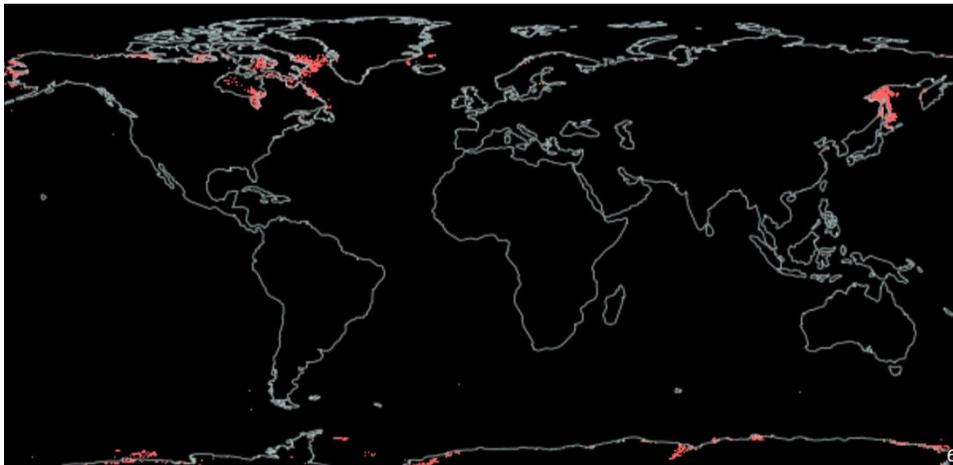


Figure 4. Flowchart showing the MOD29 and MYD29 sea ice algorithm

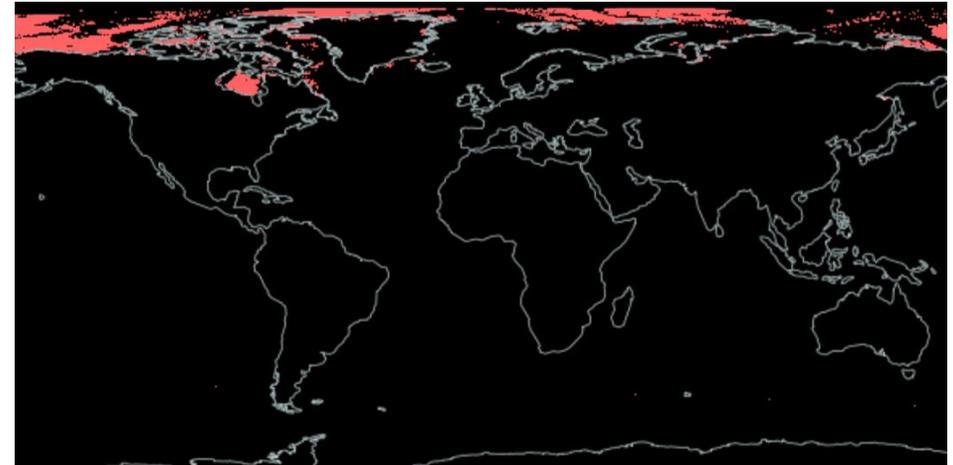
# Extensión del hielo marino

Producto “extensión del hielo marino (sea ice extent)” obtenido con el sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua.

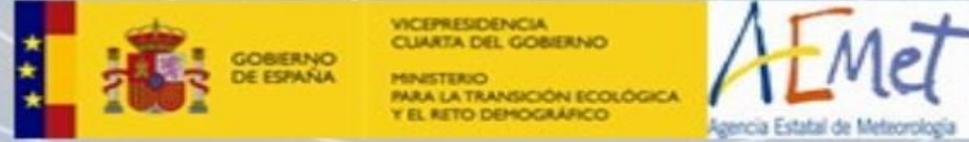
MODIS, 10 de febrero 2023



MODIS, 10 de junio 2023



# Ejercicios



- 1 – Abre Worldview, y visualiza el producto Sea Surface Temperature (L3, Daily), para Metop-A, B y C. ¿Qué ocurre con el producto de Metop-A si lo visualizas para hoy?
- 2 – Visualiza el 17 marzo 2022, 17 abril 2022, 23 julio 2022 ¿Qué observas en la temperatura del agua de la costa de Perú?
- 3- Visualiza el (25 noviembre 2022), 25 de enero 2023, 25 febrero 2023, 25 marzo 2023, 25 de mayo 2023 y 25 de junio 2023 ¿Qué hay de diferente con respecto al año pasado?
- 4 - Compara con 18 enero 2016. ¿De qué satélites podemos obtener el producto para esa fecha?
  
- 5 – Busca ahora Mar Menor, Cartagena, Murcia, ESP. Haz zoom y mira diferentes fechas ¿Qué le ocurre a la temperatura de ese pequeño mar? Prueba a cambiar la escala
- 6 – Visualiza el producto Chlorophyll a de Suomi NPP / VIIRS para distintas fechas: 12 abril 2023, 16 mayo 2023, 20 enero 2023. ¿Qué observas?
  
- 7 – Visualiza el producto Sea Surface Salinity (L3, CAP, 8-Day Running Mean) SMAP para distintas fechas en los mares de América Central y Sur. ¿Cómo explicas que en la costa de Buenos Aires (Argentina) la salinidad sea tan baja? ¿En qué otros sitios costeros observas esto?

# Ejercicios



8 – Abre EUMETVIEW, y visualiza el producto ASCAT Coastal Winds at 12.5 km Swath Grid - Metop-B y C. Vete a la zona de la costa Mexicana del Pacífico y visualiza el 25 junio 2023 16:09 UTC , el 27 junio 2023 a las 3:39 UTC, 4:30 UTC y 15:27 UTC. ¿Qué dirección tiene el viento en la costa? ¿Y en el interior?

9 – Abre Worldview, y visualiza el producto Wind Speed GCOM-W1 / AMSR2 (día y noche) y observa diferentes fechas (Ej: todos los 16 de cada mes). ¿Dónde dirías que hay vientos mayores de manera sistemática? ¿Hay diferencias entre la velocidad de día y la nocturna?

# Gracias por vuestra atención!

Lidia Cristina Escudero Fernández  
lescudero@aemet.es

*DIS-CTNDO*

19-09-2023