

Misión satelital SABIA-Mar: Algoritmos productos L2

Equipo de Ciencia de SABIA-Mar
Comisión Nacional de Actividades Espaciales
carolina.tauro@conae.gov.ar

Reunión Comunidad SABIA-Mar

Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

- ▶ **L0.** Datos obtenidos del instrumento *sin procesar* y en resolución original, con unidades de voltios o cuentas digitales.
- ▶ **L1A.** Mismos datos que **L0** pero *con información adjunta*, como coeficientes de calibración radiométrica y geométrica y parámetros de georeferencia (esta información *no* está aplicada a los datos **L0**).
- ▶ **L1B.** Datos de nivel **L1B** ya *procesados a unidades de radiancia*.
Las *correcciones atmosféricas* se aplican a la radiancia a TOA (L1B) para crear datos de nivel **L2**.
- ▶ **L2:** Variables bio-físicas derivadas, geolocalizadas a la misma resolución que los datos **L1B**: radiancia normalizada emergente del agua ($[L_w]_N$), concentración de clorofila-a, radiación disponible para fotosíntesis (PAR), coeficiente de atenuación difusa ($K_d(490nm)$), turbidez (T)
- ▶ **L3:** Los datos de nivel 3 se producen a partir de realizar promedios espaciales o temporales de los datos de nivel 2, re proyectados a una grilla bien definida en la superficie terrestre. Estos datos ~~no conservan~~ la resolución espacial ni temporal originales del sensor.

- ▶ **Radiancia emergente del agua normalizada** $[L_w]_N$ [$Wm^{-2}nm^{-1}sr^{-1}$]: Radiancia emergente del agua justo por debajo de la superficie del océano. Se normaliza como si la Tierra estuviera a una distancia Tierra-Sol media, el sol estuviese en el cénit y la atmósfera fuera no atenuante. Se aplica la corrección BRDF, por lo que es equivalente a la radiancia exacta $[L_w]_{ex}$. Además, se generará la **reflectancia sensada remotamente** $R_{sr}(\lambda)$ [sr^{-1}]: radiancia espectral saliente de la superficie del océano, normalizada a la irradiancia solar entrante.
- ▶ **Concentración de clorofila-a** Chl-a [$mg\ m^{-3}$]: Concentración total del pigmento de clorofila-a superficial. Además se generará la **altura de línea de fluorescencia** FLH [$Wm^{-2}nm^{-2}sr^{-1}$]: diferencia entre la radiancia entrante en la banda de fluorescencia de clorofila y la radiancia saliente que resultaría en ausencia de fluorescencia.
- ▶ **Coefficiente de atenuación difusa en 490 nm** $K_d(490)$ [m^{-1}]: coeficiente de atenuación de la luz difusa entrante, es decir, la inversa de la escala de longitud vertical de la reducción de la irradiancia entrante en la longitud de onda 490nm.
- ▶ **Promedio diario de radiación disponible para fotosíntesis** PAR [$Einstein\ m^{-2}day^{-1}$]: promedio diario de la radiación disponible para fotosíntesis en la superficie del océano, la cual está definida como el flujo de energía cuántica solar por encima de la superficie del mar en el intervalo espectral [400-700]nm.
- ▶ **Turbidez** T [FNU]: medición cuantitativa de la radiación difusa basada en la ISO 7027 (medición en la banda 860 nm del cociente de la luz dispersada a 90° y la luz transmitida, en relación a la misma para una suspensión de formazina $C_2H_4N_2$).

Camera	Swath	Band	λ_0	FWHM	GSD		L_{typ}	L_{max}	S/N*
			[nm]	[nm]	Regional [m]	Global [m]	[W m ⁻² μm ⁻¹ sr ⁻¹]**		
VIS/NIR	1496km	B0	412	10	200	800	79	602	1000
		B1	443	10	200	800	68	664	1000
		B2	490	10	200	800	52	686	1000
		B3	510	10	200	800	45	663	1000
		B4	555	10	200	800	34	643	1000
		B5	620	10	200	800	21	570	1000
		B6	665	10	200	800	16	536	1000
		B7	680	7.5	200	800	15	517	1500
		B8	710	10	200	800	12	489	1000
		B9 [†]	750	10	200	800	10	447	600
B11 [†]	865	20	200	800	5.9	333	400		
NIR/SWIR	1495km	B9 [†]	750	10	400	-	10	447	600
		B10	765	10	400	-	7.8	430	600
		B11 [†]	865	20	400	-	5.9	333	400
		B12	1044	20	400	-	3.7	236	400
		B13	1240	20	400	-	0.88	158	250
		B14	1610	60	400	-	0.29	82	250
HSC	700km	BHSC	400-700	300	400	-	-	-	-

[†] Bands 9 and 11 are repeated in both cameras.

* @ L_{Typ} at GSD:1000 m.

L2 product	Algorithm	Bands	
$[L_w]_N$ & R_{sr}	NASA	L2 product	Atm Corr
	Global	412, 443, 490, 510, 555, 620, 665, 680, 710	750, 865
	Regional	+ 865	750, 765, 1044, 1240, 1610
Chl-a	OC4 & Color Index	$L_W @ 443, 490, 510, 555$	
FLH	Abbot&Lettelier	$L_W @ 665, 680, 710$	
Turbidity	Dogliotti's	$L_W @ 665$ (Global) $L_W @ 665, 865$ (Regional)	
Daily mean PAR	Frouin's	$L_{TOA} @ 412, 443, 490, 510, 555, 620, 665$	
$K_d(490)$	KD2S	$L_W @ 490, 555$	
Boat detection		400-700nm	

Introducción

Correcciones atmosféricas

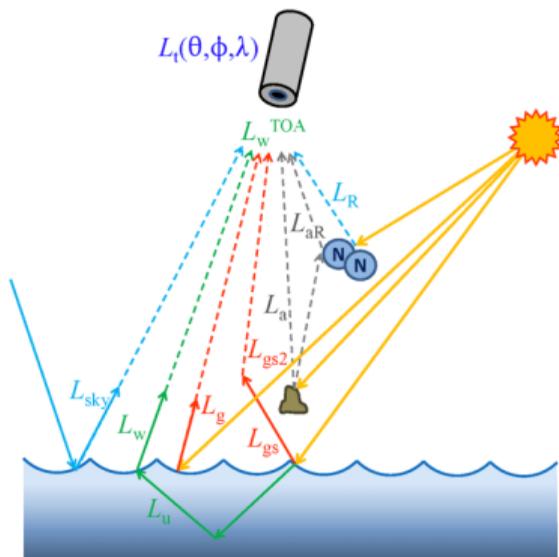
Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas



- ▶ $L_t(\theta, \phi, \lambda)$: Radiancia a tope de atmósfera detectada por el instrumento. → **Medido**.
- ▶ L_R : Contribución de Rayleigh, radiancia debida a la interacción con las moléculas. → **Modelado**.
- ▶ L_a : Radiancia debida a la interacción con Aerosoles. → **Modelado**.
- ▶ L_{aR} : Acoplamiento entre las interacciones con Aerosoles y Moléculas. → **Modelado**.
- ▶ L_g : Radiancia especular del Sol en la superficie del océano que incluye los términos L_{gs} y L_{gs2} (Sun glint). → **Modelado**.
- ▶ L_u : Radiancia dispersada (scattered) por los constituyentes del agua que dan lugar a la radiancia emergente del agua, L_w . → **Incógnita**.
- ▶ $L_{sky}(L_{wc})$: Radiancia reflejada por la superficie del agua que incluye la contribución por espuma o foam. → **Modelado**.

El proceso a partir del cual se obtiene la radiancia emergente del agua usualmente se conoce como **Corrección Atmosférica**. El objetivo es remover tanto los efectos atmosféricos como superficiales de la señal medida por el sensor.

$$L_t(\lambda_i) = \left(L_r(\lambda_i) + L_a(\lambda_i) + L_{ra}(\lambda_i) + T_s T_v L_g(\lambda_i) + t_{dv} L_{wc}(\lambda_i) + L_w(\lambda_i) \right) t_{gv} t_{gs} f_p$$

- ▶ L_w : Radiancia emergente del agua (●) (Incógnita)
- ▶ L_t : Radiancia observada a Tope de Atmósfera (●) (Medida por el satélite)
- ▶ $L_r + L_a + L_{ra}$: Radiancia atmosférica (aerosoles + moléculas) (●) (Modelada)
- ▶ L_g : Radiación especular del sol (●) (Enmascarada y corregida)
- ▶ L_{wc} : Espuma marina (●) (Modelada)
- ▶ f_p : Corrección a la polarización del instrumento (●) (pre-launch)
- ▶ t_d, t_g, T : Transmitancias difusa (Rayleigh/Aerosols), de gases y directa
- ▶ (s : dirección Solar, v : dirección de visión.)



Imágenes web



Imágenes web

- ▶ La radiancia emergente del agua L_w es la incógnita y principal variable de Ocean Color.
- ▶ Se obtiene *inviertiendo* la Eq. (1) en un proceso iterativo llamado **Corrección Atmosférica**
- ▶ Algoritmo de Corrección Atmosférica (basado en Gordon y Wang):
 1. Modelar L_r , L_g y L_{wc} para toda λ .
 2. Suposición de *pixel negro*: $L_w(750nm) = L_w(865nm) = 0$.
 3. Modelar L_a para $\lambda = 750, 865nm$ y extrapolar a toda λ .
 4. Substraer todo lo modelado a L_t y obtener L_w , para toda λ .
- ▶ Adicionalmente se están considerando algoritmos alternativos: POLYMER, Componentes Principales, Normalización angular.

$$L_{wn}(\lambda_i) = L_w(\lambda_i) / (\mu_s f_s t_{d_s} f_b(\lambda_i) f_\lambda(\lambda_i))$$

- ▶ L_{wn} : Radiancia emergente del agua normaliza. Esta es la radiancia del agua que se observaría si el sol estuviera en el cenit, el satélite en el nadir, con el sol en la distancia media y el instrumento midiera solo en el centro de banda más un ancho de banda nominal. ● (Normalización aplicada a la medición)
- ▶ L_w : Radiancia emergente del agua ● (Medida)
- ▶ $\mu_s f_s$: Normalización como si el sol estuviera en cenit y corrección por la distancia Tierra-Sol ● (Medido)
- ▶ t_{d_s} : Transmitancia difusa en la dirección del Sol ● (Modelada)
- ▶ f_b : Corrección por BRDF de la superficie del océano ● (Modelado)
- ▶ f_λ : Corrección por Out-of-Band ● (Modelado)

Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

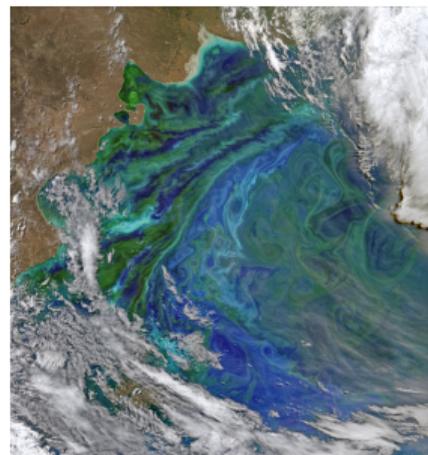
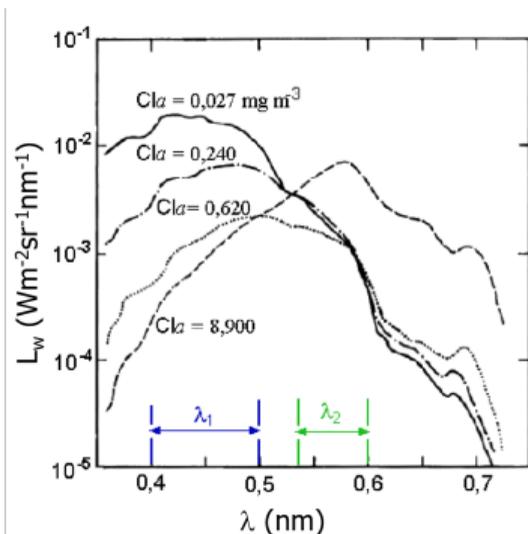
Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

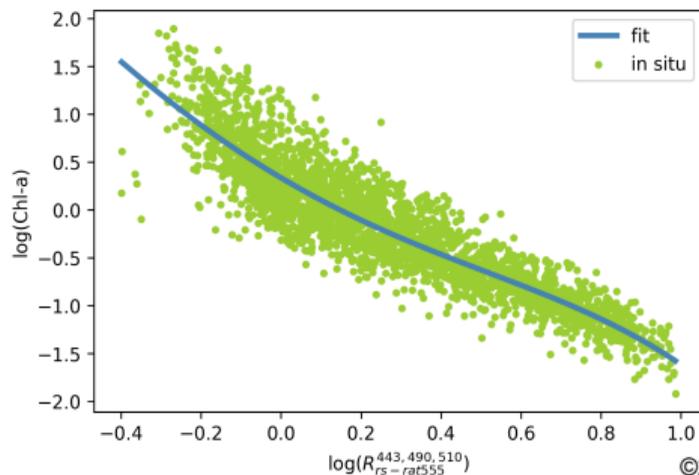
- ▶ Indicador de biomasa fitoplanctónica en los mares y océanos.
- ▶ Variable de gran importancia que puede ser estimada a partir de sensores de color de mar.
- ▶ El agua pura refleja la radiación **más en la región azul que en verde** del espectro, en presencia de [Chl-a], el agua absorbe la radiación en azul y refleja la región del verde.



Fuente MODIS

OCx

$$\log_{10}([\text{Chl-a}]) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \log_{10} \left[\frac{R_{rs}(\lambda_b)}{R_{rs}(\lambda_g)} \right]^i$$



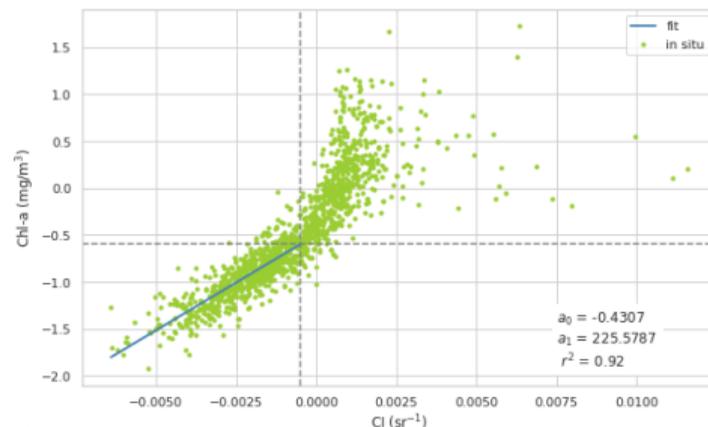
©2022 CONAE

Todos los derechos reservados/All rights reserved

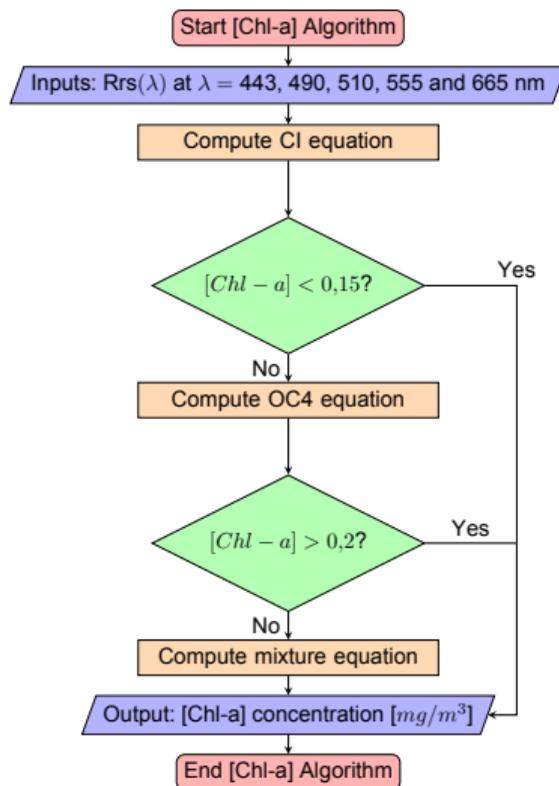
Color Index

$$[\text{Chl-a}]_{\text{CI}} = 10^{a+b\text{CI}}$$

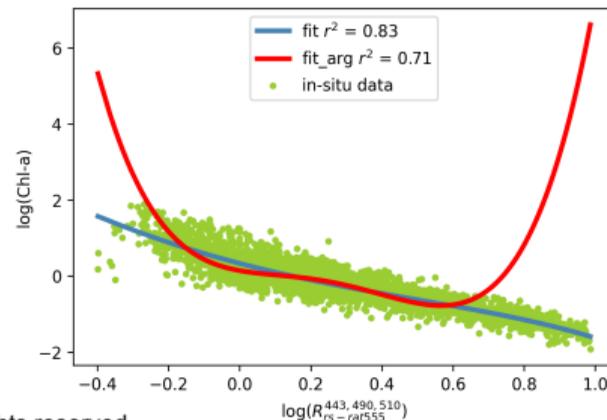
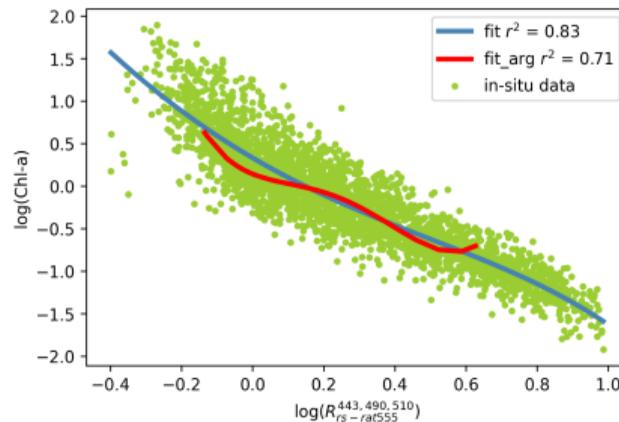
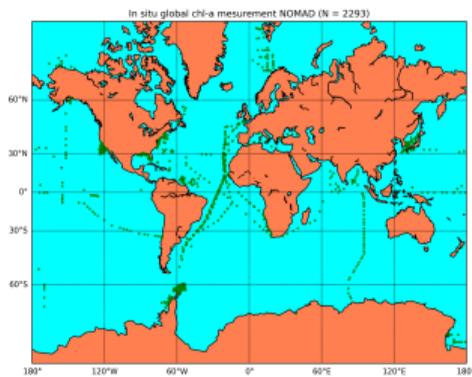
$$\text{CI} = R_{rs}(\lambda_g) - \left[R_{rs}(\lambda_b) + \frac{\lambda_g - \lambda_b}{\lambda_r - \lambda_b} (R_{rs}(\lambda_r) - R_{rs}(\lambda_b)) \right]$$



$$[\text{Chl-a}]_{\text{SM}} = \begin{cases} [\text{Chl-a}]_{\text{CI}}, & [\text{Chl-a}]_{\text{CI}} < L_b \\ \alpha[\text{Chl-a}]_{\text{OC4}} + \beta[\text{Chl-a}]_{\text{CI}}, & L_b \leq [\text{Chl-a}]_{\text{CI}} < U_b \\ [\text{Chl-a}]_{\text{OC4}}, & [\text{Chl-a}]_{\text{CI}} \geq U_b \end{cases}$$



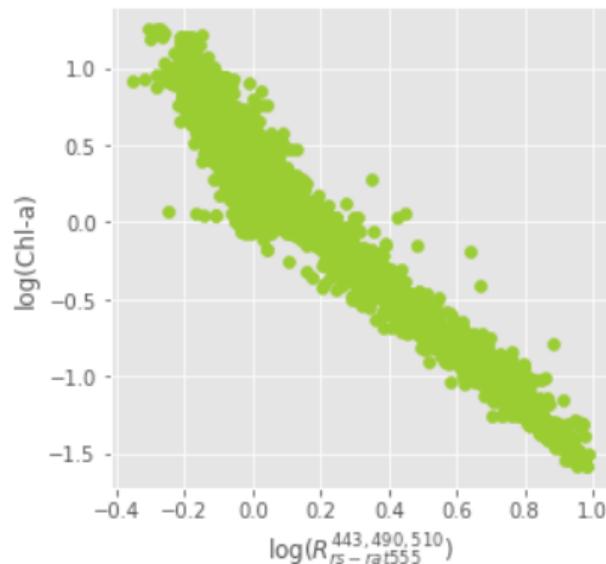
Base de Datos NOMAD (Werdell & Bailey, 2005, NASA OBPB)
 ≈ 4000 mediciones de reflectancia marina y [Chl-a]



Algoritmo K-NN

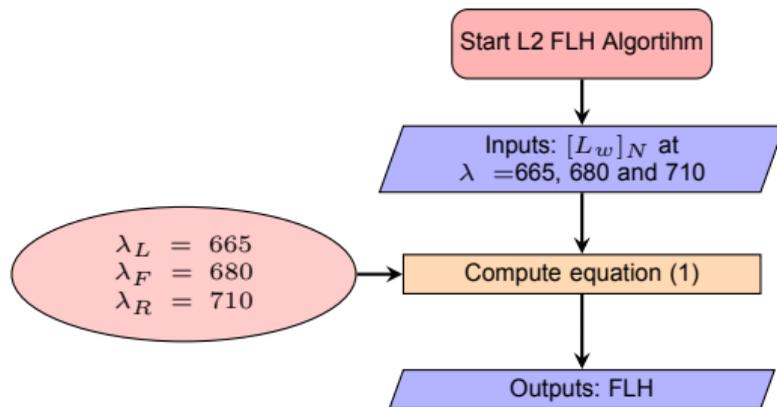
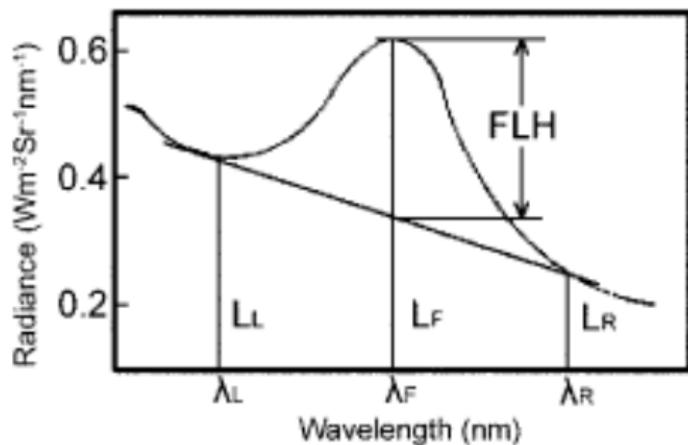
- ▶ Dado pares (X_i, Y_i) , un entero k y un nuevo valor X , encuentra las k observaciones más cercanas de entre los datos X_1, \dots, X_n .
- ▶ Promedia los k datos correspondiente Y_1, \dots, Y_n . para definir la estimación:

$$\hat{m}_n(X) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_{(i)}$$



- ▶ Se generará como producto adicional a la concentración de Chl-a
 - ▶ Útil para la detección de floraciones algales y mareas rojas.
 - ▶ Las señales fluorescentes son principalmente atribuidas a Chl-a.

Figura: Extraída de Xing *et al.* Ocean S, 42(1):49–59, 2007.



Relación entre FLH y concentración de clorofila:

$$FLH = L_F - \left[L_R + \frac{\lambda_R - \lambda_F}{\lambda_R - \lambda_L} (L_L - L_R) \right] \quad (1)$$

$$FLH = k + \frac{b * [Chla]}{1 + a * [Chla]}$$

Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

- ▶ Describir la penetración de la luz en los sistemas acuáticos.
- ▶ Predecir la disponibilidad de luz a varias profundidades en el agua.
- ▶ Comprender la salud ecológica submarina, impacta en procesos físicos como:
 - ▶ transferencia de calor en la capa superior del océano,
 - ▶ reacciones fotoquímicas,
 - ▶ procesos biológicos como la fotosíntesis del fitoplancton en la zona eufótica.

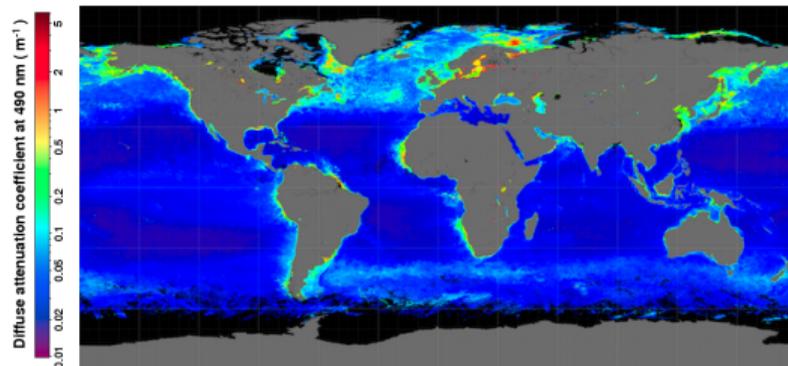


Figura: Imagen L3 de MODIS Aqua de la variable Kd_{490} en una estación del 2014

Atenuación de la irradiancia espectral descendente y coeficiente de atenuación difusa a λ (Beer-Lambert Muelles, 2000)

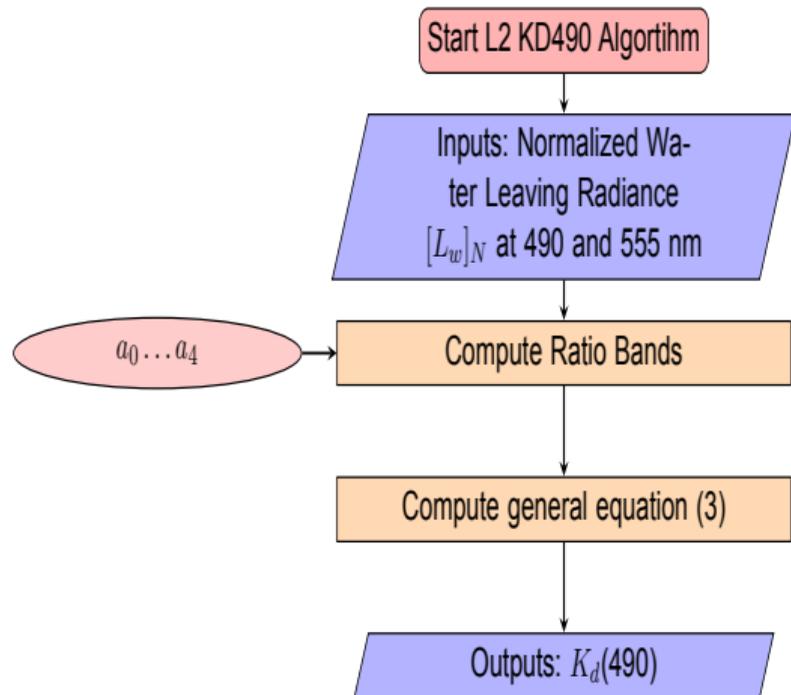
$$E_d(\lambda, z) = E_d(\lambda, 0^-) e^{-K(\lambda, z)z}$$

$$K(\lambda) = z_{90}^{-1}$$

Algoritmo empírico para SABIA-Mar

$$K_d(490) = K_{dbio}(490) + 0,0166$$

$$\log_{10}(K_{dbio}(490)) = \sum_{i=0}^4 a_i \log_{10}^i \left(\frac{R_{rs}(\lambda_b)}{R_{rs}(\lambda_g)} \right)$$



Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

- ▶ Propiedad óptica de un líquido que indica (indirectamente) la concentración de sólidos suspendidos en agua a partir de la medición de la luz incidente dispersada en ángulos de 90° de la muestra comparada con un valor de referencia (FNU: *Formazin Nephelometric Units*).
- ▶ Utilizado para monitorear la calidad de agua:
 - ▶ altas concentraciones de partículas afectan la penetración de la luz y el hábitat de la fauna acuática
 - ▶ las partículas proveen sitios para fijar contaminantes como metales y bacterias



GRAVEL

SAND

SILT

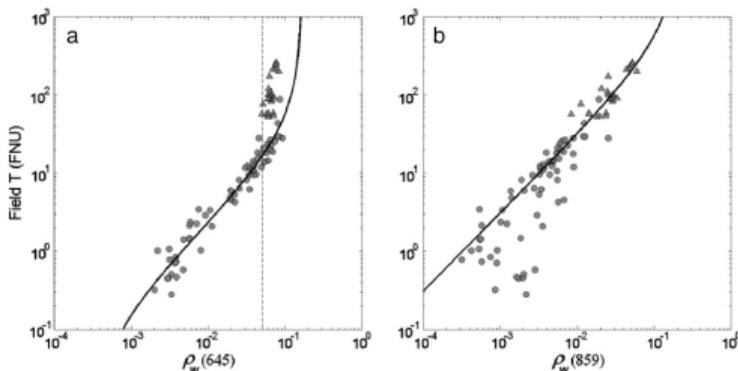
CLAY

ALGAE



La cantidad de sedimentos que transporta el RdLP varía entre 80 y 160 millones de toneladas por año, lo que lo lleva a ser uno de los ríos **más turbios del mundo** con valores de SPM que rondan entre 10 y 500 mg/l.

Basado en el modelo de Dogliotti (Al Dogliotti *et al* (2015) *Remote Sensing of Environment*, 156:157–168)



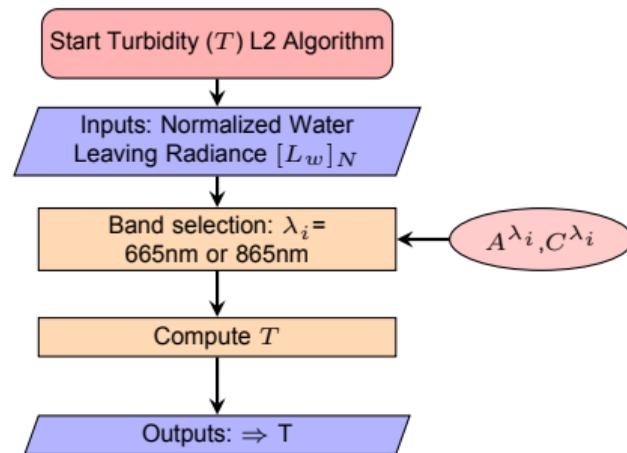
Mar del Norte 2007-2010 (○) y estero Scheldt 2010 (△)

$$T_{\lambda} = \frac{A_T^{\lambda} \rho_w(\lambda)}{1 - \rho_w(\lambda)/C^{\lambda}} [\text{FNU}]$$

$$T_{\lambda} = \begin{cases} T_{645} & \rho_w(645) \leq 0,05 \\ T_{859} & \rho_w(645) \geq 0,07 \\ (1-w)T_{645} + wT_{859} & 0,05 < \rho_w(645) < 0,07 \end{cases}$$

©2022 CONAE

Todos los derechos reservados/All rights reserved



Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

- ▶ Siglas en inglés: *Photosynthetically Available Radiation*: radiación disponible para fotosíntesis
- ▶ Flujo de energía solar incidente en la superficie oceánica en el intervalo espectral [400,700]nm:

$$E_{PAR} = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} E_d(\lambda) d\lambda$$

- ▶ Longitudes de onda que intervienen en las reacciones químicas de la fotosíntesis
- ▶ Regula la composición y evolución de los ecosistemas marinos mediante el control del crecimiento de fitoplancton.
- ▶ Es de suma importancia poder conocer la distribución *espacial* y *temporal* de PAR en los océanos.
- ▶ Variable importante en los modelos de productividad primaria.

Photosynthetically Available Radiation (Einstein / m² / day)

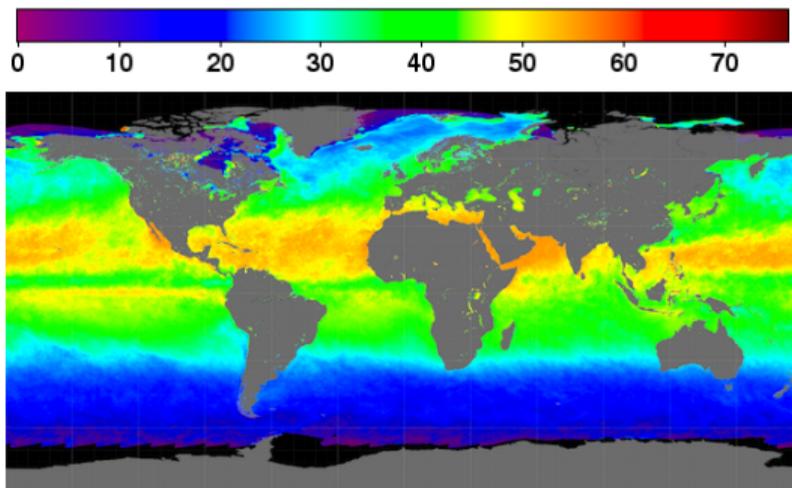
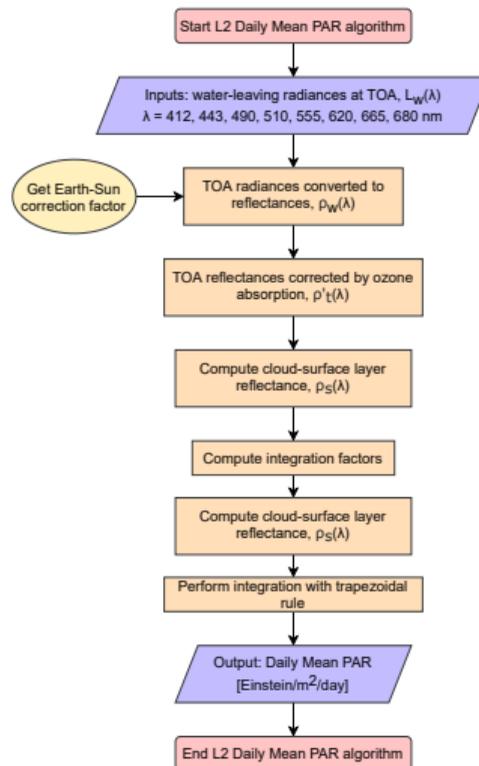


Figura: PAR para primavera 2014 (MODIS Aqua)

Basado en el modelo de Frouin R Frouin *et al* (1992) *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31(9):1056–1066

$$\langle E \rangle_{\text{day}} = \langle E_0 \rangle \int_{\text{day}} \cos \theta_s \langle T_d \rangle \langle T_g \rangle \frac{1 - \langle A \rangle}{(1 - \langle A_s \rangle)(1 - \langle S_a \rangle \langle A \rangle)} dt$$

- ▶ $\langle E \rangle_{\text{day}}$: promedio de PAR en un día
- ▶ $\langle E_0 \rangle \cos \theta_s$: irradiancia solar a TOA bajo incidencia solar θ_s
- ▶ T_d : transmitancia difusa para cielo despejado
- ▶ T_g : transmitancia gaseosa
- ▶ A : albedo de la capa nube/superficie
- ▶ A_s : albedo de la superficie del océano
- ▶ S_a : albedo esférico
- ▶ $\langle O \rangle$: simboliza el promedio sobre el intervalo de PAR



Introducción

Correcciones atmosféricas

Concentración de Clorofila-a [Chl-a]

Coefficiente de atenuación difusa (K_d)

Turbidez

Promedio diario de PAR

Detección de luces nocturnas

- ▶ Los barcos pesqueros utilizan luces artificiales para atraer cierto tipo de peces (llevan de 120 a 150 lámparas incandescentes de unos 2 kW a ambos lados de la cubierta, que suman 240 a 300 kW).
- ▶ Esta información puede ser recogida por sensores a bordo de satélites que miden con poca luz en bandas espectrales que cubren las emisiones generadas por las luces eléctricas (*Luces Nocturnas*)
- ▶ Estamos abordando dos enfoques diferentes para el algoritmo de detección de barcos:
 - ▶ Elvidge et al. (2015a) examinaron las características de los barcos de pesca iluminados indicando que básicamente son picos (Spikes), y presentaron un algoritmo para la detección automática de picos y la caracterización de la nitidez de estos picos.
 - ▶ Cozzolino (2016) proponen un algoritmo que combina un conjunto de técnicas de procesamiento de imágenes digitales (enhancement, thresholding, segmentation) para detectar luces de los barcos.

- ▶ El algoritmo recibe un granulo con valores de radiancia obtenidos luego de un proceso de corrección atmosférica distinto al de los otros productos.
- ▶ El algoritmo calcula 3 índices, Spike Median Index (SMI), Sharpness Index (SI) y Spike Height Index (SHI).
- ▶ Utiliza thresholding para clasificar estos valores de radiancia.
- ▶ El algoritmo devuelve un archivo registrando valores de fecha, hora, latitud/longitud, radiancia DNB, SMI, SHI y SI. Cada detección tiene una calificación de "quality flag": detecciones fuertes, detecciones débiles, detecciones borrosas, llamaradas de gas y partículas energéticas.

$$SMI = RadLog - RadLogMedFilt$$

- ▶ RadLog es la imagen original aplicandole el pre procesamiento
- ▶ RadLogMedFilt es un filtro por la mediana de cada pixel en un rango de 3x3

- ▶ **SI** es un índice calculado siguiendo el algoritmo descrito en el trabajo de Vu (2009) "S3: A Spectral and Spatial Sharpness Measure"

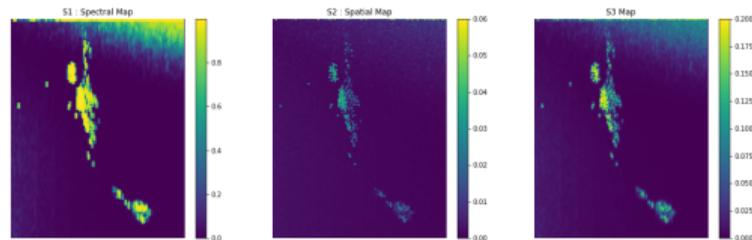
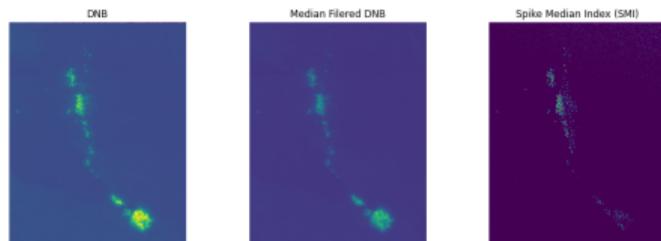


Figura: Imágenes S-NPP del 11/03/2021 del mar argentino

Figura: Imágenes S-NPP del 11/03/2021 del mar argentino

¡Muchas Gracias!

carolina.tauro@conae.gov.ar

www.argentina.gob.ar/ciencia/conae