

Irradiancia solar en ausencia de nubes

I - Modelos

Agustín Laguarda

laguarda@fing.edu.uy



LES
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

MODELOS de cielo claro

RS en la superficie es necesario para amplio rango de aplicaciones con requerimientos diferentes (espectro, componentes, precisión, resolución etc.). además tipo de modelo adecuado depende de factores externos (acceso a información apropiada)

modelos puramente físicos:

estiman perfil en todas las capas de la atm.

necesario en estudios climatología y meteorología (calentamiento de la atm.)

modelos empíricos:

correlaciones derivadas de regresiones.

asume que RS deriva de otras cantidades indeptes.

(temperatura, horas de luz, duración del día, etc.)

simplificados. No recomendados a nivel intradiario

parametrizaciones de modelos físicos:

Parametrizaciones de modelos físicos.

Analíticos o tablas de referencia.

Operacionales a gran escala espacio-temporal.

Diferentes complejidades

Tan precisos como sea su información de entrada

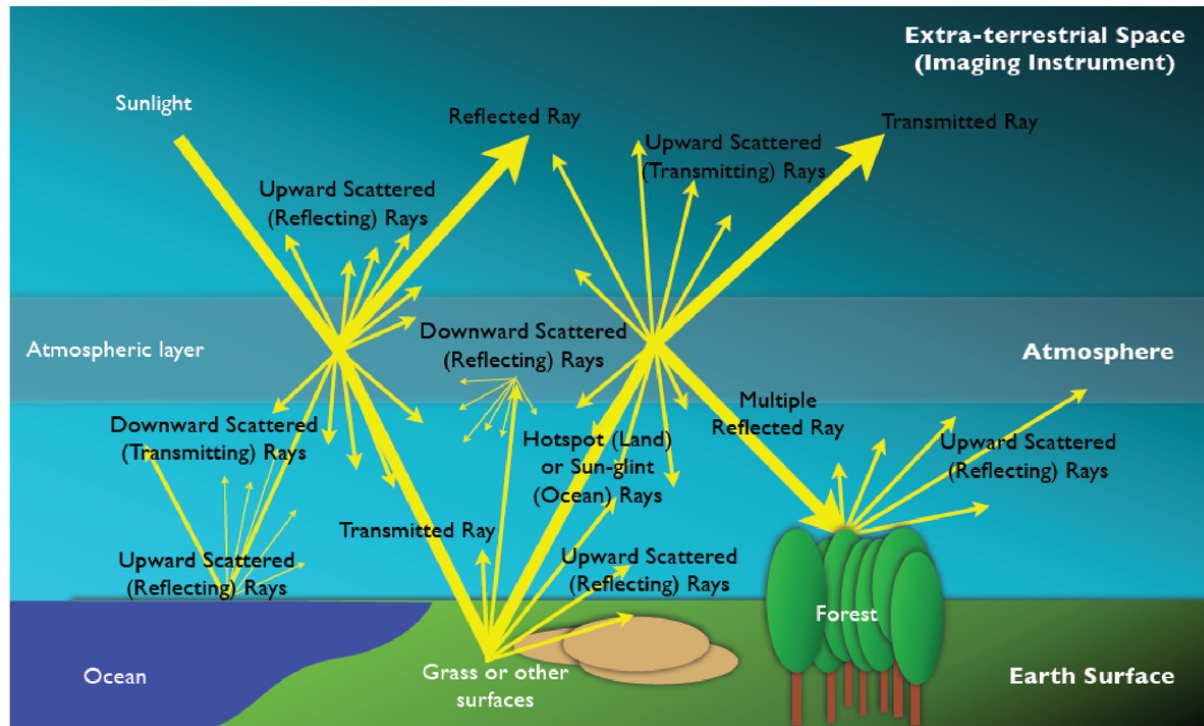
~ precisos
10⁵ más rápidos que
modelos RTM

estimar la irradiancia solar (DNI y GHI) en ausencia de nubes (cielo claro)

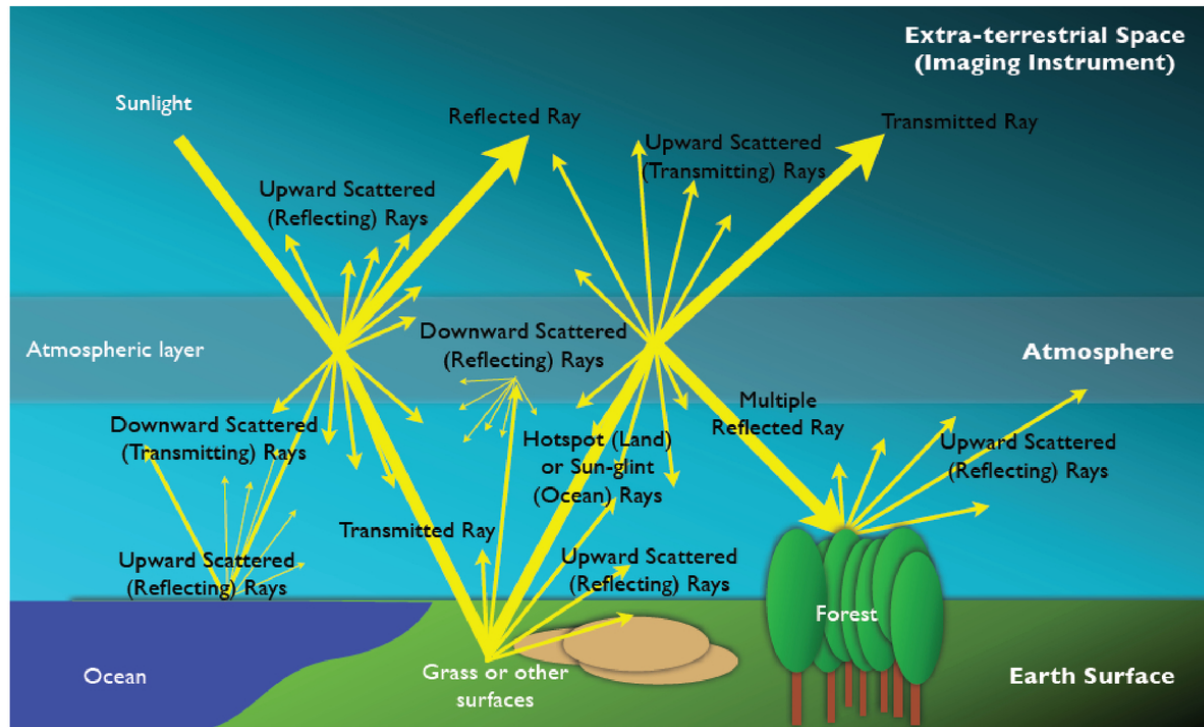
Motivación

- i) obtener series para derivar irradiancia solar en toda condición de cielo
- ii) base para pronóstico de radiación solar
- iii) desarrollar bases de datos para el diseño de tecnologías CSP
- iv) base para algoritmos de control de calidad de observaciones de RS
- v) base para el cálculo de pérdida de calor de edificios

MODELOS de cielo claro



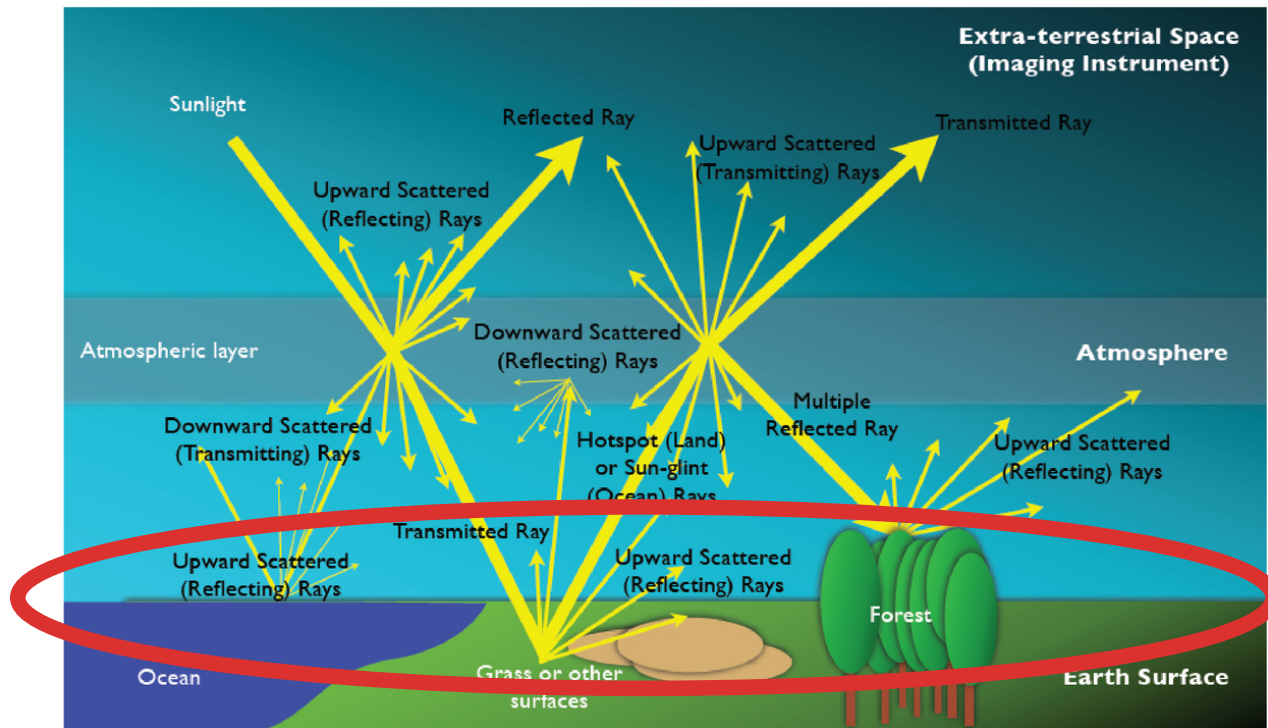
MODELOS de cielo claro



Procesos a tener en cuenta
(en orden descendiente de importancia):

- scattering molecular (Rayleigh)
- scattering de aerosoles
- absorción por aerosoles
- absorción por vapor de agua
- absorción por Ozono
- abs. por mezcla de otros gases

MODELOS de cielo claro



Procesos a tener en cuenta
(en orden descendiente de importancia):

el foco en la superficie y en todo el espectro
(banda ancha) permite simplificaciones

- scattering molecular (Rayleigh)
- scattering de aerosoles
- absorción por aerosoles
- absorción por vapor de agua
- absorción por Ozono
- abs. por mezcla de otros gases

MODELOS de cielo claro

En general se modelan las componentes directa en incidencia normal y difusa por separado y luego se suman para obtener la radiación global en PH

$$G_h = G_b \cos \theta_z + G_d$$

MODELOS de cielo claro

En general se modelan las componentes directa en incidencia normal y difusa por separado y luego se suman para obtener la radiación global en PH

$$G_h = G_b \cos \theta_z + G_d$$

Modelado de irradiancia difusa: es entre 10 y 20% de GHI, su precisión no es crítica, se puede representar con la suma de radiación difundida por dispersión de Rayleigh, aerosoles, y reflexiones múltiples entre el suelo (albedo) y la atmósfera

MODELOS de cielo claro

En general se modelan las componentes directa en incidencia normal y difusa por separado y luego se suman para obtener la radiación global en PH

$$G_h = G_b \cos \theta_z + G_d$$

Modelado de irradiancia difusa: es entre 10 y 20% de GHI, su precisión no es crítica, se puede representar con la suma de radiación difundida por dispersión de Rayleigh, aerosoles, y reflexiones múltiples entre el suelo (albedo) y la atmósfera

Modelado de irradiancia directa: varias estrategias...

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

los procesos son independientes a nivel espectral

)

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

)

los procesos son independientes a nivel espectral

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m) m)$$

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

)

los procesos son independientes a nivel espectral

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m)m)$$

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

los procesos son independientes a nivel espectral

)

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m) m)$$

Profundidad óptica total:

$$\tau = \exp(-\delta(m) m)$$

$$\delta(m) = \frac{1}{m} \log \left[\frac{G_0}{\int_{\lambda} G_{\lambda,0} \tau_{\lambda} d\lambda} \right] \tau$$

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

los procesos son independientes a nivel espectral

)

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m)m)$$

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

Profundidad óptica total:

$$\tau = \exp(-\delta(m)m)$$

$$\delta(m) = \frac{1}{m} \log \left[\frac{G_0}{\int_{\lambda} G_{\lambda,0} \tau_{\lambda} d\lambda} \right] \tau$$

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

)

los procesos son independientes a nivel espectral

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m)m)$$

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

Profundidad óptica total:

$$\tau = \exp(-\delta(m)m)$$

$$\delta(m) = \frac{1}{m} \log \left[\frac{G_0}{\int_{\lambda} G_{\lambda,0} \tau_{\lambda} d\lambda} \right] \tau$$

Profundidad óptica de atmósfera limpia y seca + turbidez:

$$\delta = \delta_R + \delta_T$$

$$G_{b,n} = G_0 \exp(-\delta_R(m) T_L m)$$

$$T_L = \frac{\delta}{\delta_R}$$

Factor de turbidez de Linke

MODELOS de cielo claro

Estrategias de modelado de DNI

(a nivel
espectral:

$$\tau_\lambda = G_{\lambda,b}/G_{\lambda,0}$$
$$\tau_\lambda = \tau_{\lambda,R} \times \tau_{\lambda,a} \times \tau_{\lambda,w} \times \tau_{\lambda,o} \times \tau_{\lambda,g}$$
$$\tau_{\lambda,i} = \exp(-k_{\lambda,i} m_i)$$

)

los procesos son independientes a nivel espectral

Producto de transmitancias :

No es en general válido, pero se asume

(Las transmitancias totales de cada efecto alteran el espectro en cada capa de la atm.)

$$\tau = \tau_R \times \tau_a \times \tau_w \times \tau_o \times \tau_g$$

$$\tau_i = \exp(-k_i(m)m)$$

Igual se utiliza sin grandes errores (excepto alt.sol extremas):

Profundidad óptica total:

$$\tau = \exp(-\delta(m)m)$$

$$\delta(m) = \frac{1}{m} \log \left[\frac{G_0}{\int_\lambda G_{\lambda,0} \tau_\lambda d\lambda} \right] \tau$$

Profundidad óptica de atmosfera limpia y seca + turbidez:

$$\delta = \delta_R + \delta_T$$

$$G_{b,n} = G_0 \exp(-\delta_R(m)T_L m)$$

$$T_L = \frac{\delta}{\delta_R}$$

Factor de turbidez de Linke

TL engloba efectos de aerosoles y vapor de agua.
existen parametrizaciones de prof. óptica de Rayleigh
TL se interpreta como el nro de atmósferas limpias
y secas equivalente

MODELOS de cielo claro

ESRA

se basa en un único parámetro -> Turbidez de Linke (T_L)

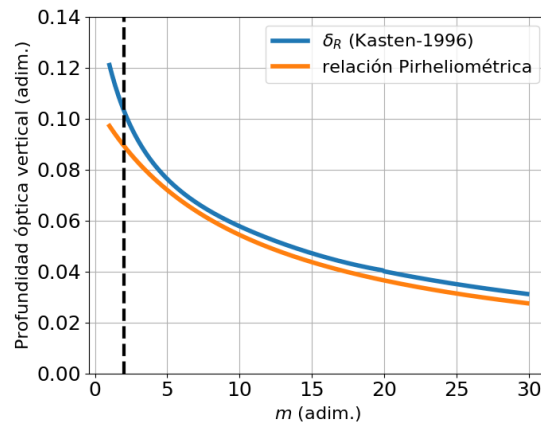
Radiación directa:

$$I_{bn} = I_0 e^{-m \delta_R(m) T_L}$$

profundidad óptica vertical
total efectiva

Profundidad óptica de una atmósfera
limpia y seca

$$1/\delta_R(m) = \begin{cases} 6.62960 + 1.75130 m - 0.12020 m^2 \\ \quad + 0.00650 m^3 - 0.00013 m^4 & , m \leq 20 \\ 10.6 + 0.718 m & , m > 20 \end{cases}$$



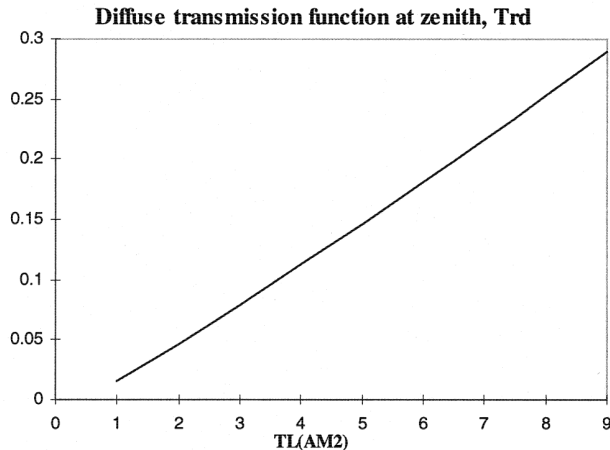
MODELOS de cielo claro

ESRA

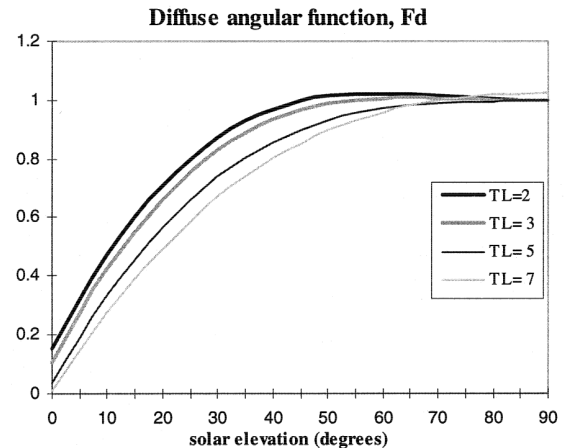
Radiación difusa:

$$I_{dh} = I_0 F_n T_z(T_L) F_d(\theta_z, T_L)$$

Transmitancia difusa
en camino vertical



modificador angular



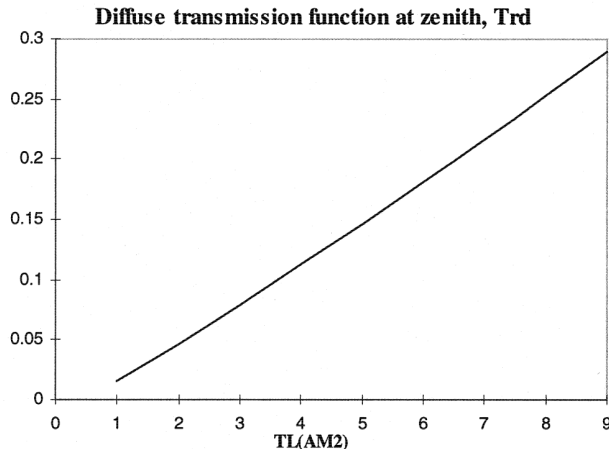
MODELOS de cielo claro

ESRA

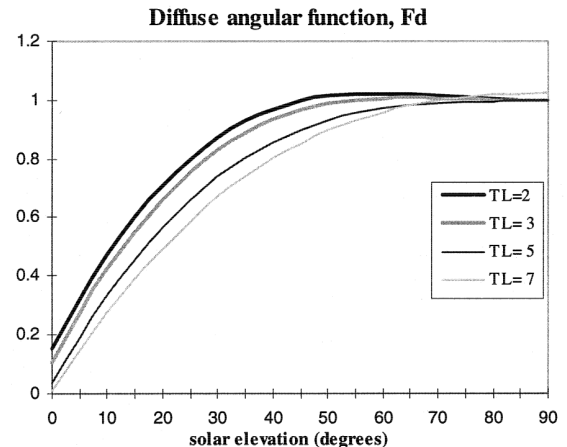
Radiación difusa:

$$I_{dh} = I_0 F_n T_z(T_L) F_d(\theta_z, T_L)$$

Transmitancia difusa
en camino vertical



modificador angular



Radiación global:

$$I_g = I_{dh} + I_{dn} \cos \theta$$

MODELOS de cielo claro

Modelo REST-2

modelo de alto rendimiento basado en modelo espectral SMARTS2
estudia dos bandas con comportamientos diferentes

290-700nm (UV-VIS ~47%): aerosoles y scattering molecular

700-4000 nm (NIR ~52%): absorción por H₂O y otros gases

MODELOS de cielo claro

Modelo REST-2

modelo de alto rendimiento basado en modelo espectral SMARTS2
estudia dos bandas con comportamientos diferentes

290-700nm (UV-VIS ~47%): aerosoles y scattering molecular

700-4000 nm (NIR ~52%): absorción por H₂O y otros gases

inputs: $\beta, \alpha_1, \alpha_2, u_o, u_n, wv, \rho_{g1}, \rho_{g2}, P_c$

MODELOS de cielo claro

Modelo REST-2

modelo de alto rendimiento basado en modelo espectral SMARTS2
estudia dos bandas con comportamientos diferentes

290-700nm (UV-VIS ~47%): aerosoles y scattering molecular

700-4000 nm (NIR ~52%): absorción por H₂O y otros gases

inputs: $\beta, \alpha_1, \alpha_2, u_o, u_n, wv, \rho_{g1}, \rho_{g2}, P_c$

ESTRUCTURA

Directa

$$I_{bn,i} = I_{o,i} T_{R,i} T_{g,i} T_{O,i} T_{N,i} T_{w,i} T_{a,i}$$

Difusa con superficie opaca

$$I'_{d,i} = I_{o,i} T_{g,i} T_{O,i} T_{N,i} T_{w,i} [B_{R,i} (1 - T_{R,i}) T_{a,i}^{0.25} + B_a F_i T_{R,i} (1 - T_{a,i}^{0.25})]$$

B es forward scattering de aerosoles y Rayleigh, F es factor de corrección

Reflecciones múltiples

$$I_{dd,i} = \rho_{g,i} \rho_{s,i} (I_{bn,i} \cos \theta_z + I'_{d,i}) / (1 - \rho_{g,i} \rho_{s,i})$$

depende del albedo terrestre y el "albedo de cielo"

Irradiancia global

$$I_g = (I'_d + I_{dd}) + I_{b,n} \cos \theta_z$$

MODELOS de cielo claro

Modelo Kasten-Ineichen-Perez

Modelo simple que depende de T_L de forma empírica

$$G_{bc} = bG_s F_n \exp(-0.09m(T_L - 1))$$

$$G_{hc} = a_1 G_s F_n \cos \theta_z \exp(-a_2 m[f_{h1} + f_{h2}(T_L - 1)])$$

f_{h1} , f_{h2} , a_1 , a_2 y b dependen de la altura del sitio

Modelo McClear

- Se basa en los resultados del modelo RTM Libradtran
- utiliza tablas de referencia (ábacos) y funciones de interpolación
- información de aerosoles, vapor de agua y Ozono de reanálisis y albedo terrestre de información satelital.
- inputs de frec. 3-horaria y resolución 50-150 km
- caja negra. Estimativos disponibles en <http://www.soda-pro.com/>

Y varios más...

Validación

¿Cómo se evalúa la precisión de los modelos? Métricas de desempeño

Y -> serie temporal de referencia
(medidas en general)

$$Y = (Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_n)$$

$\hat{Y}$ -> serie temporal a validar
(estimada)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$$

"root mean square deviation"

$$MBD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)$$

"mean bias deviation"

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|$$

"mean absolute deviation"

se expresan en forma relativa con
respecto a la media de las medidas

$$rMBD = 100 \times \frac{MBD}{\langle Y \rangle} \quad rRMSE = 100 \times \frac{RMSE}{\langle Y \rangle}$$

Kolmogorov-Smirnov Integral:

$$KSI = \int_{z_m}^{z_M} |F_{\hat{Y}}(z) - F_Y(z)| dz$$

F -> funciones de distribución acumulada (CDF)

MODELOS de cielo claro

Validaciones en la literatura especializada

código	Estudio de validación	# sitios	# modelos	escala temporal	información atmosférica	área de estudio	modelos recomendados
G12	Gueymard (2012)	5	18	1-3min	AERONET	EUA y Arabia Saudita	REST-2,SOLs
E15	Engerer and Mills (2015)	14	9	1min	valores mensuales de SoDA	Australia	SOLs, REST-2 ESRA
I16	Ineichen (2016)	22	7	1h	CAMS	Europa, África e Israel	McClear REST-2
A19	Antonanzas-Torres et al. (2019)	2	70	1min	AERONET	Holanda, Francia	ESRA, KIP, REST-2, SOLs, McClear y otros

Código validación	métricas	ESRA		KIP		SOLs		REST-2		McClear	
		GHI	DNI	GHI	DNI	GHI	DNI	GHI	DNI	GHI	DNI
G12	rMBD(%)	+3.1	+3.8	–	–	-1.6	+0.8	-0.2	-0.3	–	–
	rRMSD(%)	4.5	5.6	–	–	2.8	2.6	1.5	1.4	–	–
E15	rMBD(%)	+4.6	-0.3	-2.0	-6.0	-2.2	-4.5	+0.3	-0.3	–	–
	rRMSD(%)	5.7	6.4	4.8	7.8	5.8	6.9	5.1	6.2	–	–
I16	rMBD(%)	-7.1	-15.7	–	–	-0.2	-16.4	-4.5	-15.8	+2.9	-0.7
	rRMSD(%)	8.1	16.6	–	–	2.8	-17.5	5.4	16.6	3.4	4.1
A19	rMBD(%)	+0.77	+1.6	-0.8	-2.8	-0.3	+2.2	-0.4	-0.3	+1.6	+3.3
	rRMSD(%)	2.9	8.0	2.7	7.9	3.2	8.5	3.1	7.9	2.9	9.4

Algunas conclusiones

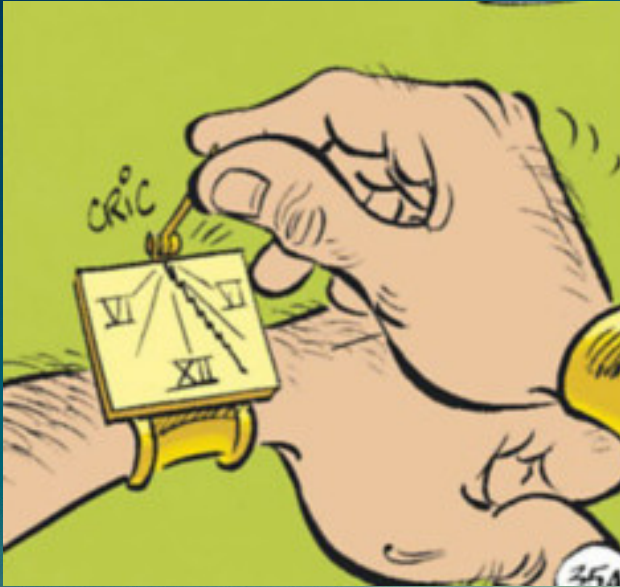
El desempeño de los MCC depende de la región climática

La precisión de los MCC depende de la precisión de los datos atmosféricos de entrada

La decisión del MCC mas adecuado debe realizarse localmente considerando la información de entrada disponible

DNI se estima con menor precisión que GHI

a grosso los estimativo horarios de MCC deben verificar
GHI: $|rMBD| < 2\%$ y $rRMSD < 5\%$. DNI: $rRMSD < 10\%$ y $|rMBD| < 3\%$



5 minutos de preguntas
antes del siguiente tema...



LES
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Irradiancia solar en ausencia de nubes

II - Información atmosférica, Turbidez de Linke

Agustín Laguarda

laguarda@fing.edu.uy



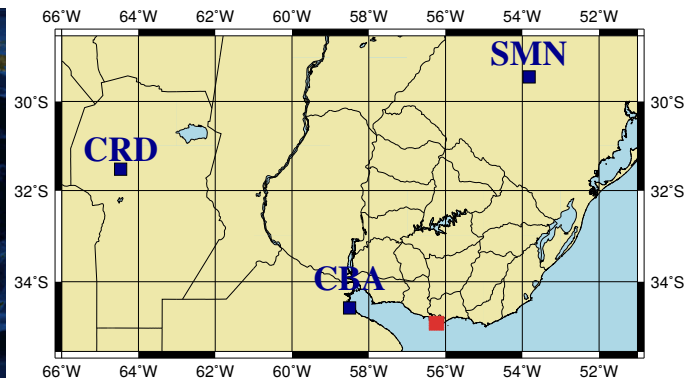
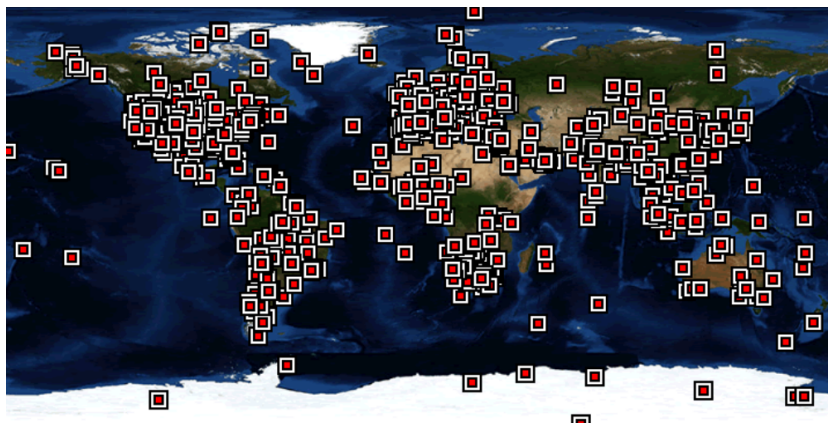
LES
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Información atmosférica

mediciones a nivel de superficie: AERONET



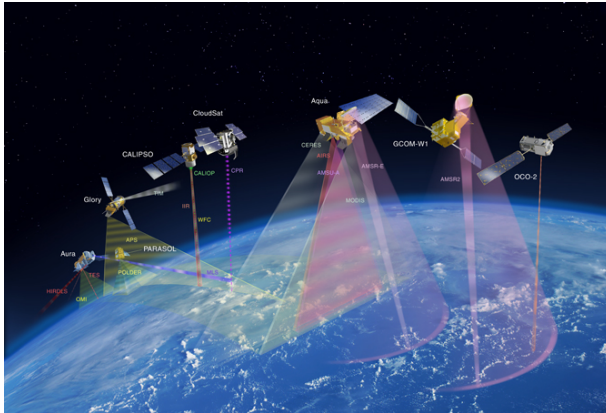
- red de la NOAA expandida por varios colaboradores
- usa radiómetros espectrales con seguidor
- miden radiancia en al menos 6 bandas (VIS-NIR)
- algoritmos de inversión para obtener props. de aerosoles y WV.
- varias colecciones en función de la calidad
- >600 sitios en el mundo



CIMEL CE 318-2

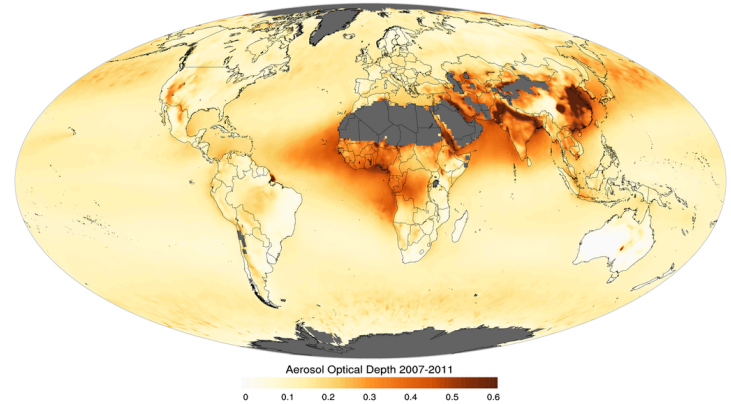
Información atmosférica

estimativos de satélites atmosféricos



A-Train

Satélites de órbita baja (700km)
8-10 vueltas a la tierra/día
gran resolución espacial
ej: Aura, Terra, Aqua
Instrumentos MODIS o OMI
generan estimativos de aerosoles,
vapor de agua, entre otros



AOD550 medio estimado por Terra-MODIS

Para un lugar dado obtiene 1 o 2 estimaciones
instantáneas / día, desde el ~2000

Información atmosférica

bases de reanálisis

Reanálisis: aproximación sistemática que asimila observaciones a modelos numéricos genera información físicamente consistente, sin huecos de alta resolución temporal MERRA-2 (NASA), CAMS (ECMWF).

MERRA-2: información horaria, sin huecos,
0.625°x0.5° de resolución espacial, desde 1980

Portal Giovanni:

EARTHDATA

Find a DAAC

Giovanni

The Bridge Between Data and Science v 4.33

Feedback
Help
Login

☒ Atmospheric Chemistry (3)
☐ Atmospheric Dynamics (27)
☐ Hydrology (5)
☐ Water and Energy Cycle (15)

Measurements

Platform / Instrument

☒ MERRA-2 Model (16)

Spatial Resolutions

Temporal Resolutions

☐ 3-hourly (1)
☒ hourly (16)
☐ monthly (53)

Portal

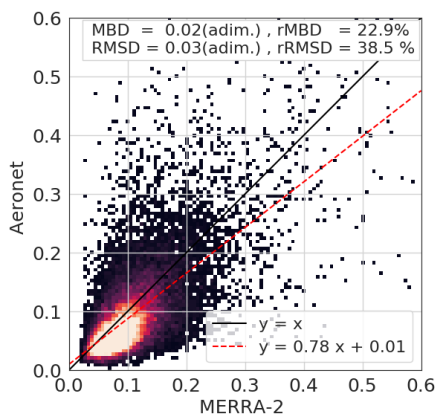
Variable	Units	Source	Temp.Re	Spat.Re	Begin Dat	End Date
☐ Dust Scattering AOT 550 nm - PM 1.0 um, time average (M2TINXADG v5.12.4)	-	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Black Carbon Column Mass Density, time average (M2TINXAER v5.12.4)	kg m-2	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Dust Column Mass Density, time average (M2TINXAER v5.12.4)	kg m-2	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ SO2 Column Mass Density (ENSEMBLE), time average (M2TINXAER v5.12.4)	kg m-2	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Total Aerosol Extinction AOT 550 nm, time average (M2TINXAER v5.12.4)	-	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Total Aerosol Angstrom parameter (470-870 nm), time average (M2TINXAER v5.12.4)	-	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Total Aerosol Scattering AOT 550 nm, time average (M2TINXAER v5.12.4)	-	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3
☐ Total column ozone, time average (M2TINXSIV v5.12.4)	Dobsons	MERRA ^A Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-0	2020-03-3

Información atmosférica

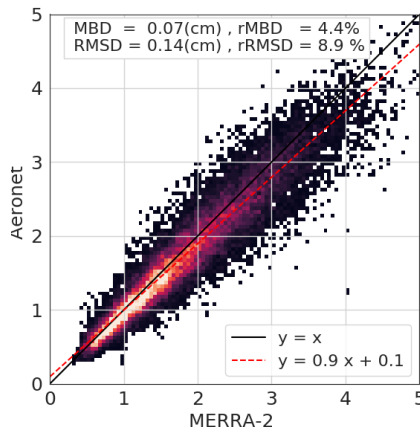
validación de datos atmosféricos MERRA-2

vs AERONET

AOD₅₅₀(adim.)

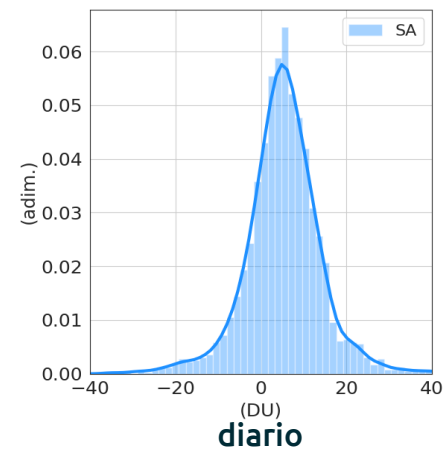
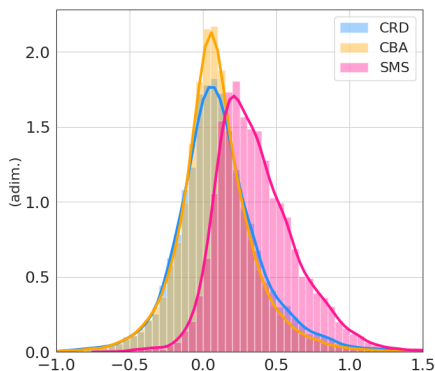
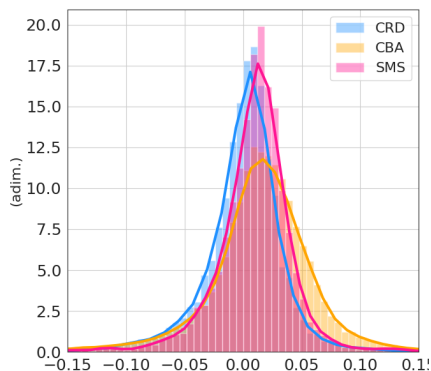
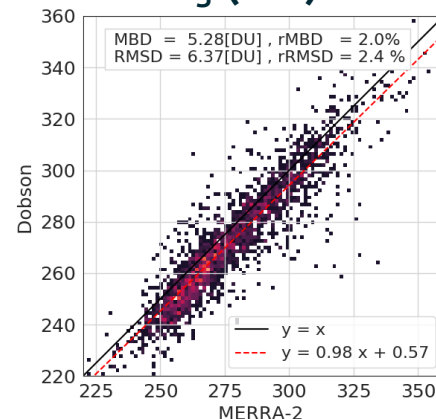


WV (cm)



vs DOBSON

O₃ (DU)



Información atmosférica

Turbidez de Linke

magnitud indirecta, varias estrategias para estimarlo

Información atmosférica

Turbidez de Linke

magnitud indirecta, varias estrategias para estimarlo

-> Si se cuenta con medidas de DNI: (mejor opción):

$$T_L = \frac{1}{\delta(m)m} \log \left(\frac{G_0}{G_{bn}} \right)$$

Información atmosférica

Turbidez de Linke

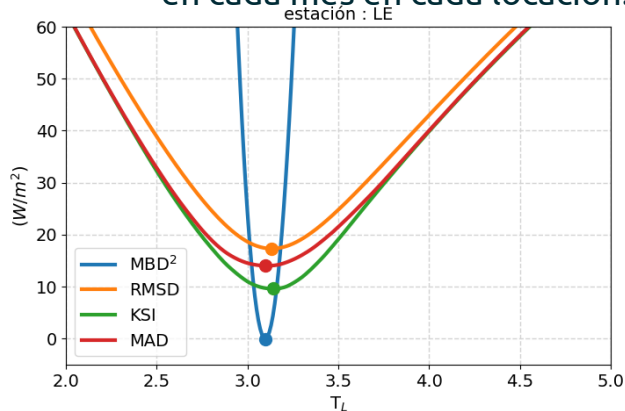
magnitud indirecta, varias estrategias para estimarlo

-> Si se cuenta con medidas de DNI: (mejor opción):

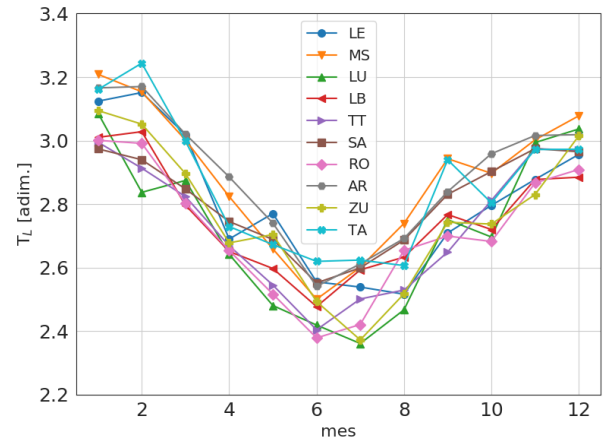
$$T_L = \frac{1}{\delta(m)m} \log \left(\frac{G_0}{G_{bn}} \right)$$

-> Si se cuenta con medidas de GHI, se caracterizan ciclos estacionales de TL usando medidas de cielo claro y minimizando error de MCC usando TL mensual como variable.

-en cada mes en cada locación:



-método validado usando diferentes modelos de referencia y método con medidas de DNI



-ciclos no captan variabilidad diaria

Información atmosférica

Turbidez de Linke

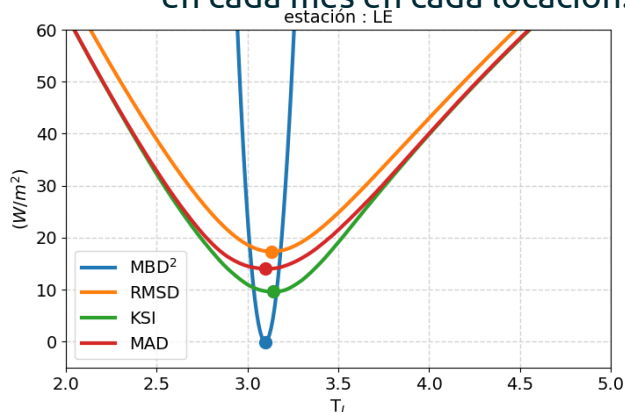
magnitud indirecta, varias estrategias para estimarlo

-> Si se cuenta con medidas de DNI: (mejor opción):

$$T_L = \frac{1}{\delta(m)m} \log \left(\frac{G_0}{G_{bn}} \right)$$

-> Si se cuenta con medidas de GHI, se caracterizan ciclos estacionales de TL usando medidas de cielo claro y minimizando error de MCC usando TL mensual como variable.

-en cada mes en cada locación:

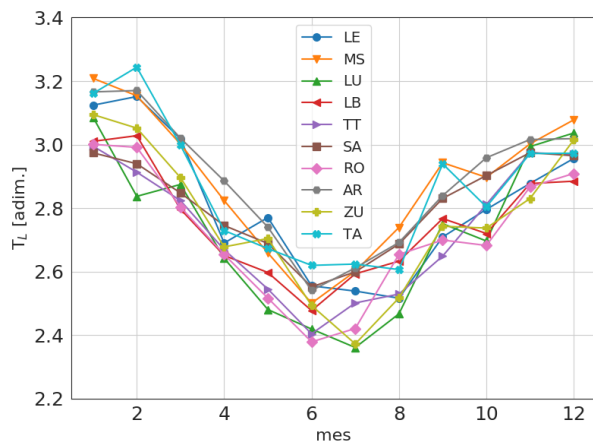


-método validado usando diferentes modelos de referencia y método con medidas de DNI

-> Hay relaciones empíricas para relacionar TL con otras variables atmosféricas

$$T_L = 1.8494 + 0.2425 w - 0.0203 w^2 + \beta(15.427 + 0.3153 w - 0.0254 w^2)$$

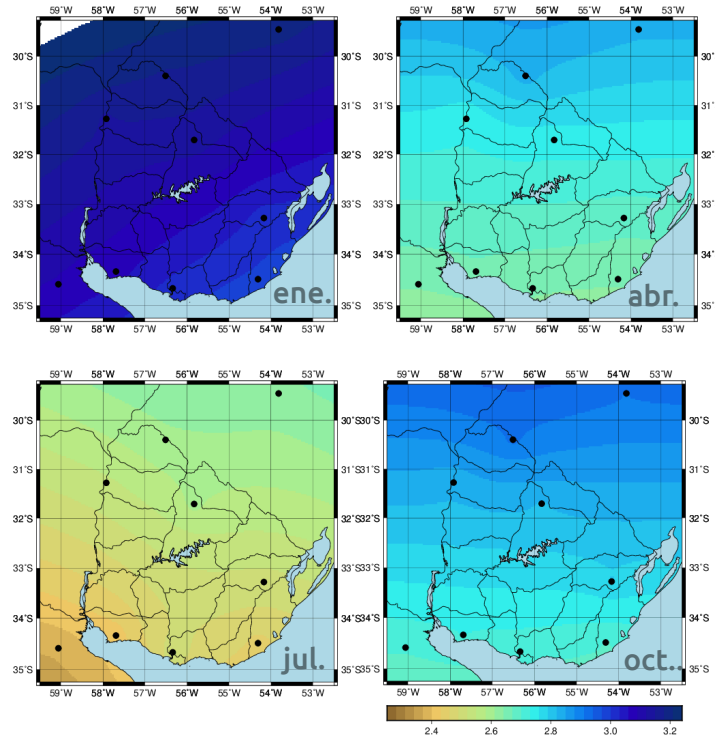
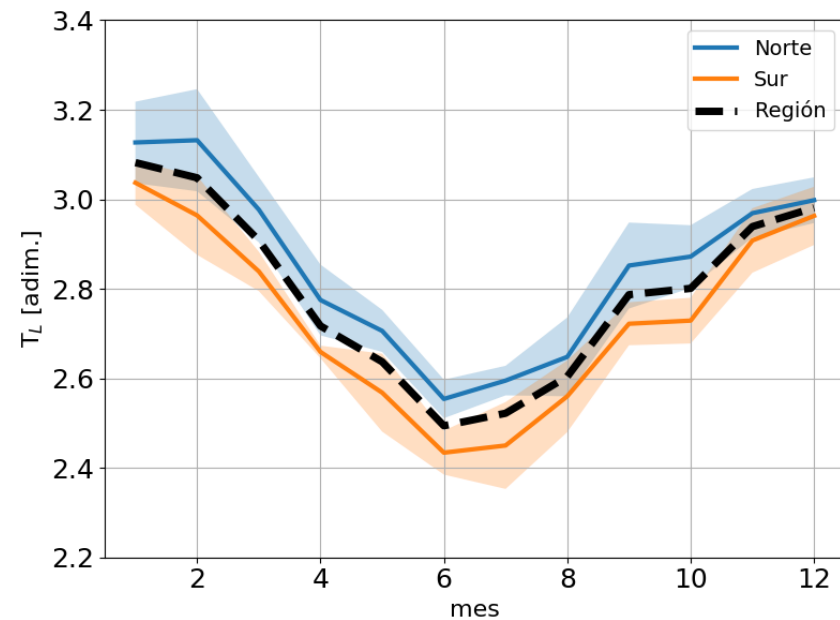
$$T_L = 3.91 AOD_{550} \exp(0.689/P_c) + 0.376 \log w + 2 + \frac{0.54}{P_c} - \frac{0.5}{P_c^2} + \frac{0.16}{P_c^3}$$



-ciclos no captan variabilidad diaria

Información atmosférica

Turbidez de Linke



Irradiancia solar en ausencia de nubes

III - Desempeño de modelos en Uruguay

Agustín Laguarda

laguarda@fing.edu.uy



LES
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

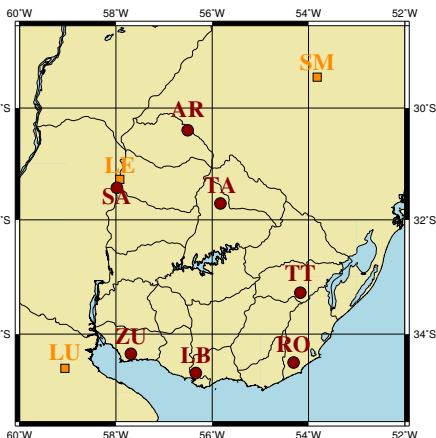
Validación

datos utilizados

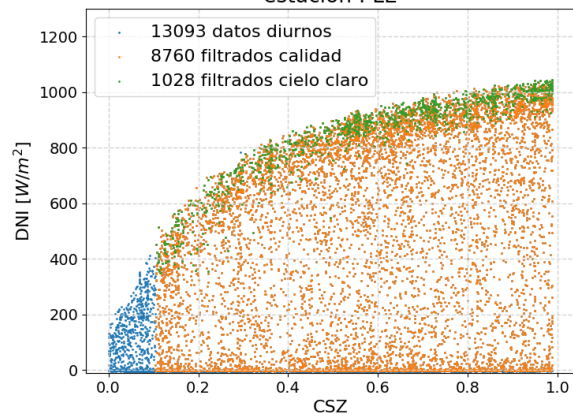
Red de medición continua de irradiancia solar (RMIS-LES)+ 2 estaciones

se aplican controles básicos de calidad a datos minutales, y luego se realiza integración horaria

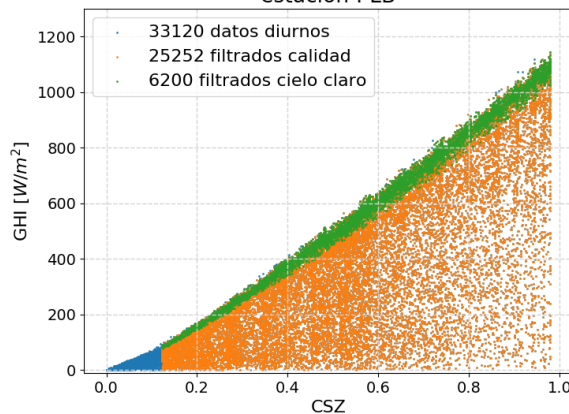
se aplican algoritmos exigentes de selección de datos horarios de cielo claro.



estación : LE



estación : LB



en promedio:

GHI

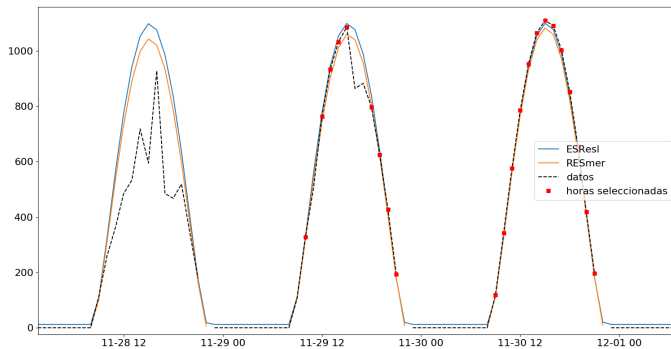
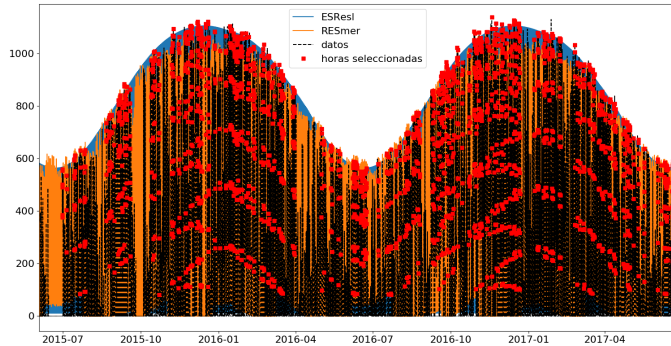
10 estaciones
20k datos por estación
17k datos filtrados QC
4k horas claras

DNI

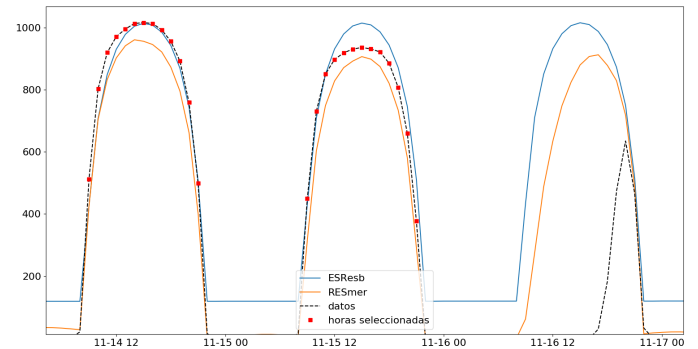
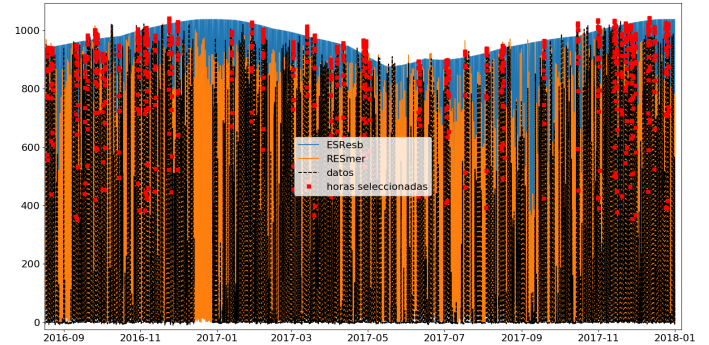
3 estaciones
15k datos por estación
10k datos filtrados QC
1k horas claras

Validación

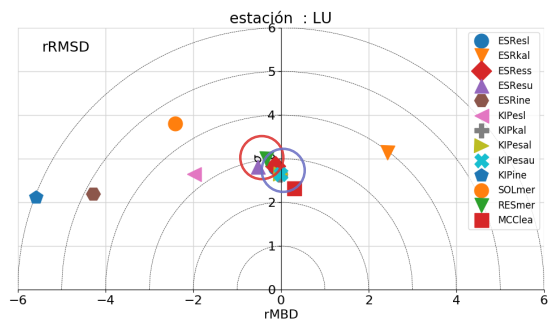
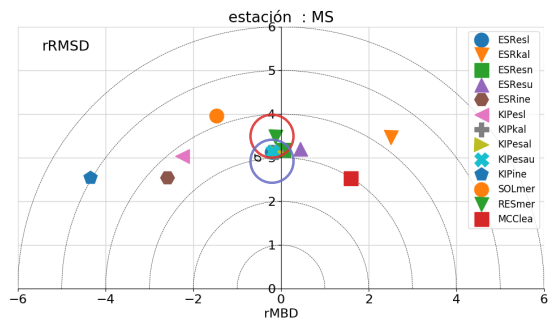
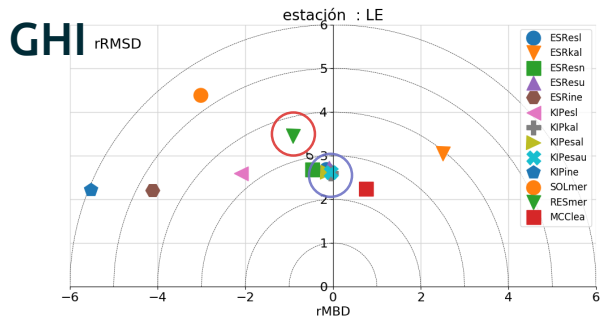
GHI



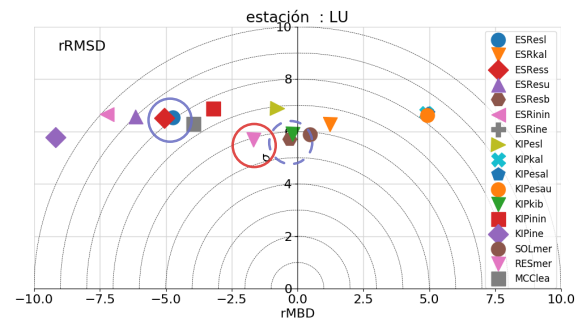
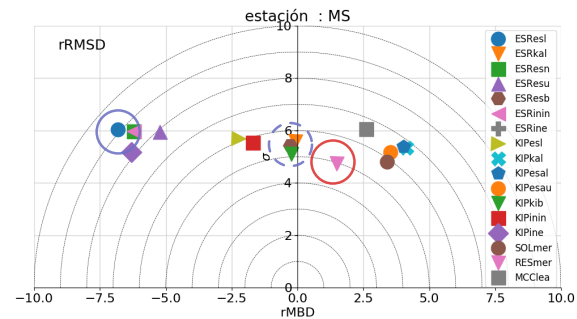
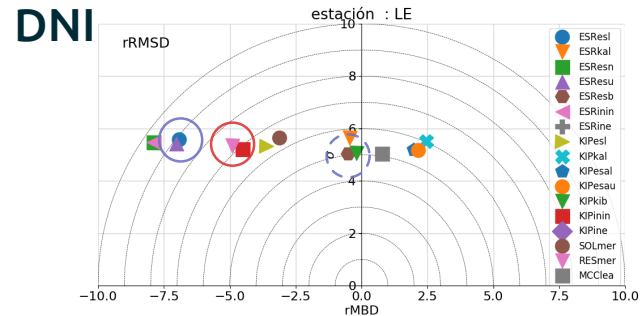
DNI



Validación



$$RMSD = \sqrt{\sigma_{dif}^2 + MBD^2}$$

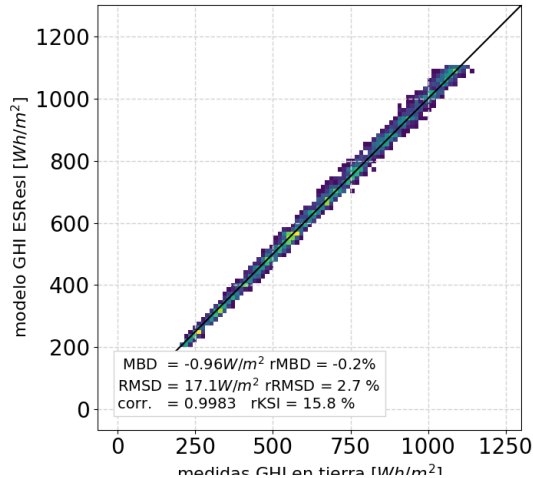


todos los valores mostrados son %

Validación

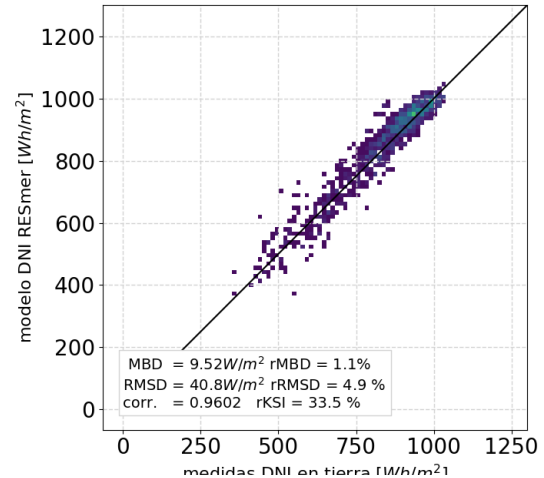
GHI

estación: LE

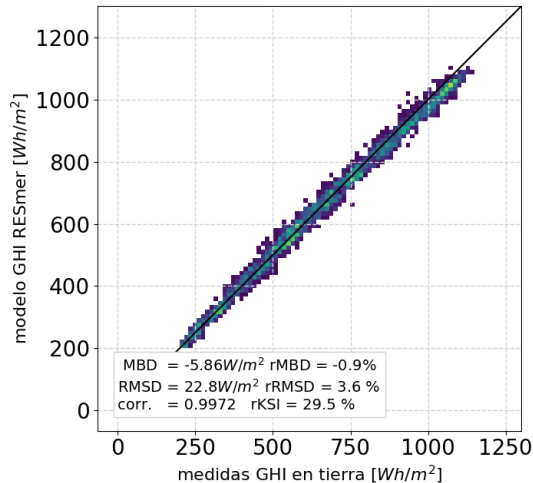


DNI

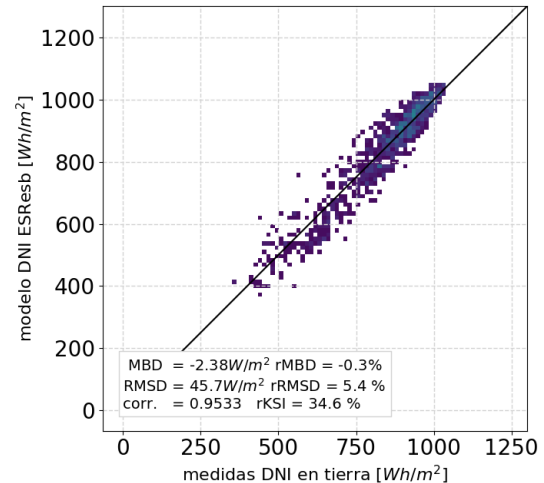
estación: MS



estación: LE



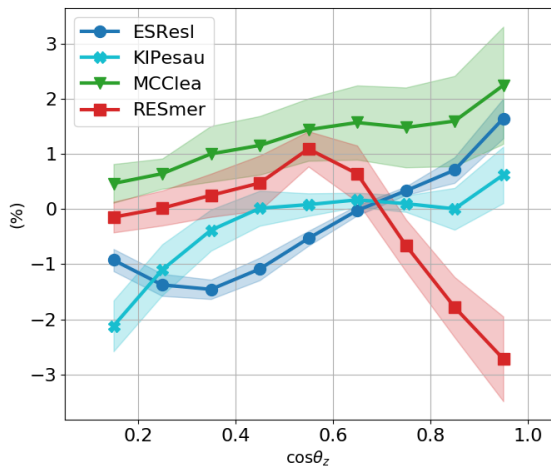
estación: MS



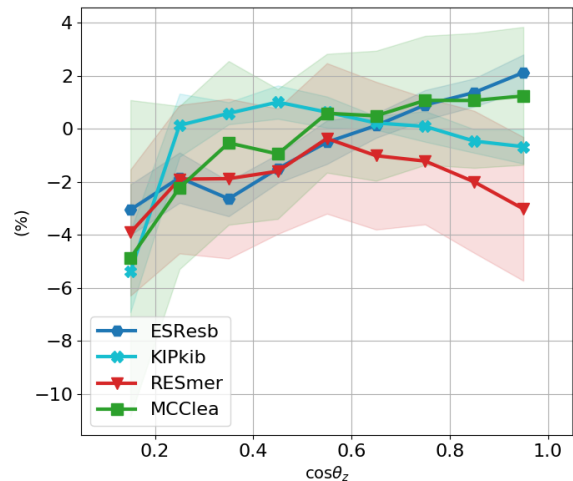
Validación

GHI

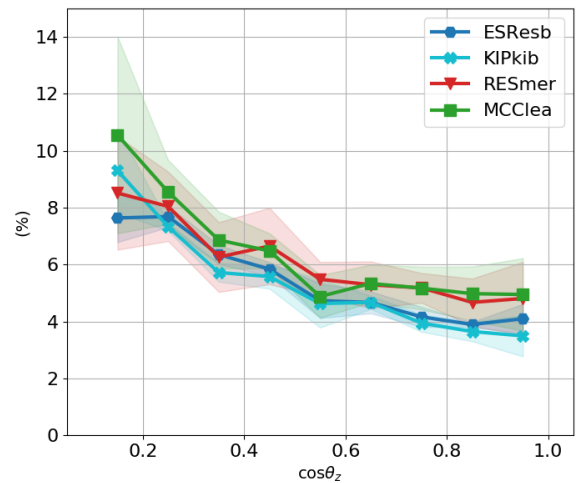
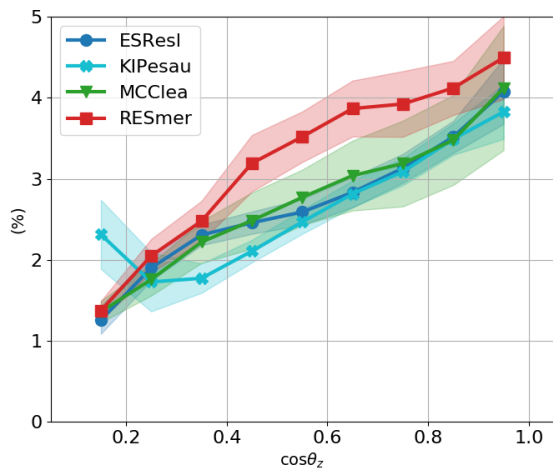
r_{MBD}



DNI



r_{RMSD}



Algunas conclusiones

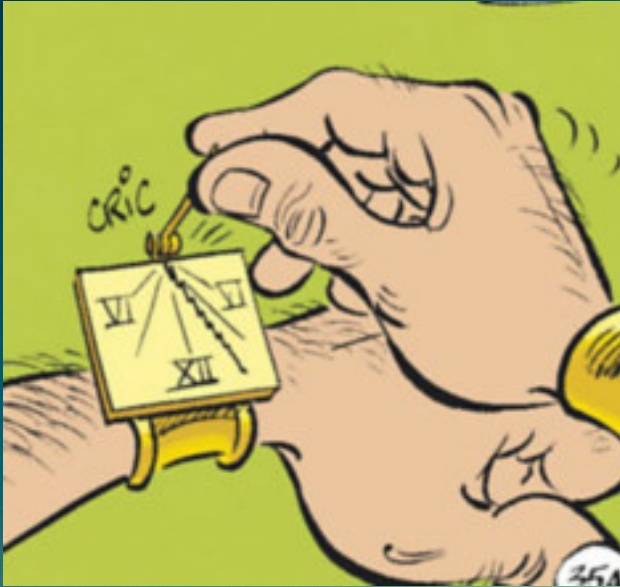
para seleccionar un modelo es necesario estudiar la disponibilidad y precisión de información de entrada.

Modelos simples basados en ciclos anuales son suficientes para estimar GHI con precisión similar a incertidumbre de medidas

Modelos basados en TL tienen problemas para estimar componentes con precisión simultánea

DNI es muy susceptible a cambios en la atmósfera. Se necesitan inputs que capten la variabilidad como MERRA-2

se logra estimar GHI con RMSD <4% de RMSD y sin sesgo
DNI se estima con RMSD ~6% RMSD) y -2% (MBD)



5 minutos de preguntas



LES
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY