



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



LES

Caracterización de los eventos de sobre-irradiancia en Uruguay

Paola Russo¹, Dr. Agustín Laguarda², Dr. Gonzalo Abal¹.

¹ Laboratorio de Energía Solar, Universidad de la República, Salto, Uruguay.

² Instituto de Física, Laboratorio de Energía Solar, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Sobre-irradiancia/ over-irradiance / cloud enhancement



El fenómeno de sobre-irradiancia (OI) ocurre cuando la nubes se configuran de tal manera que magnifican la irradiancia que llega a la superficie terrestre (Gueymard, 2017).

Características:

- GHI se incrementa
- ocurre en presencia de nubes
- DHI se incrementa típicamente
- duración de hasta varios minutos,
- pueden ocurrir valores de GHI mayores a 1600 W/m^2 .

Sobre-irradiancia/ over-irradiance / cloud enhancement



OI puede producir:

- fluctuaciones en la producción de plantas FV.
- efectos negativos en la salud de trabajadores expuestos al sol,
- degradación temprana de materiales expuestos al sol.

Objetivo

Los eventos de OI aún no se han estudiado en Uruguay,

Este trabajo es un primer acercamiento a la caracterización local de eventos de OI, en un sitio de Uruguay, basado en la serie temporal de GHI.

Motivación: extrapolar el método a otras estaciones, con medidas de GHI, para determinar la distribución espacial de la OI en nuestra región.



Datos usados

Datos usados: - GHI. (DHI and DNI solo para control de calidad).

Estación de medición: Laboratorio de energía solar, Salto (LES) (latitud 31.27° W, longitud 57.89° S, altitud 56 m m.s.n.m.)

5 años de medidas (2016-2020)

Frecuencia: 1-minutal

Total de observaciones crudas: 3.156.480

Instrumentos: piranómetros Kipp & Zonen, Clase A.

Pirheliómetros: Kipp&Zonen, Clase A.



Control de calidad

Datos descartados y datos que pasan cada criterio de filtrado:

Previo al análisis se aplicaron los siguientes filtros:

- **Filtros automáticos**

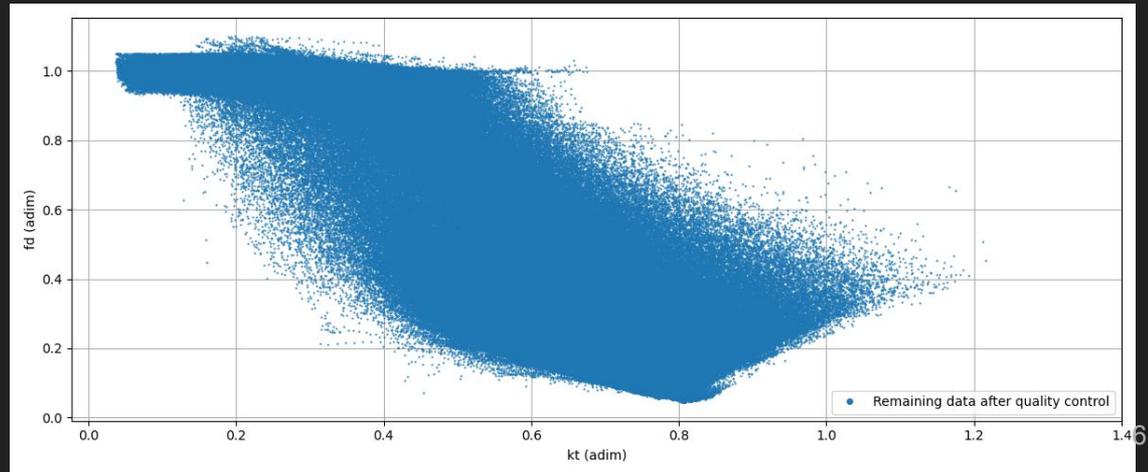
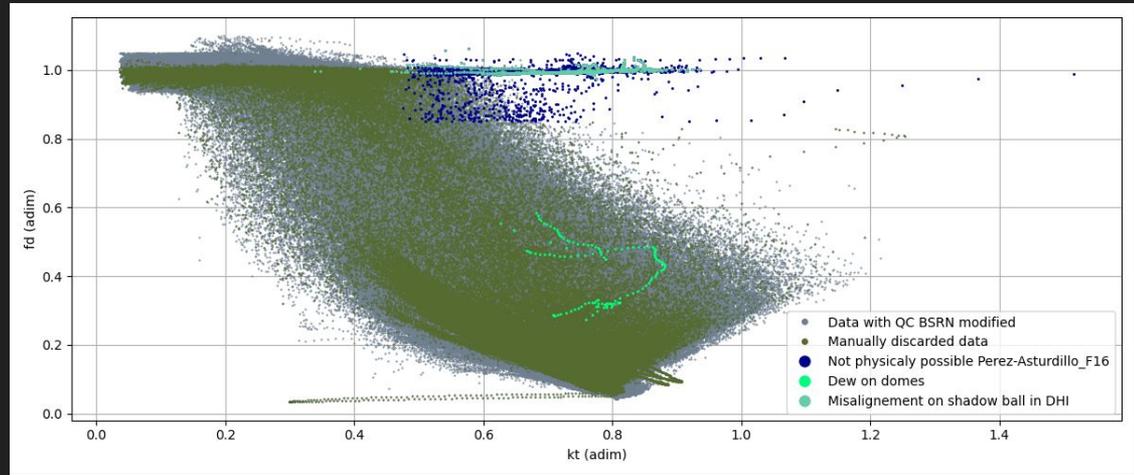
BSRN

BSRN modificado sin límite superior

- **Filtros manuales**

control de calidad visual

fd = fracción difusa, fd = DHI/GHI
kt = índice de cielo claro instantáneo, kt = GHI/TOA
(0.75-0.85 for clear-sky conditions)
TOA = 1361 . Fn. CZ



Detección OI

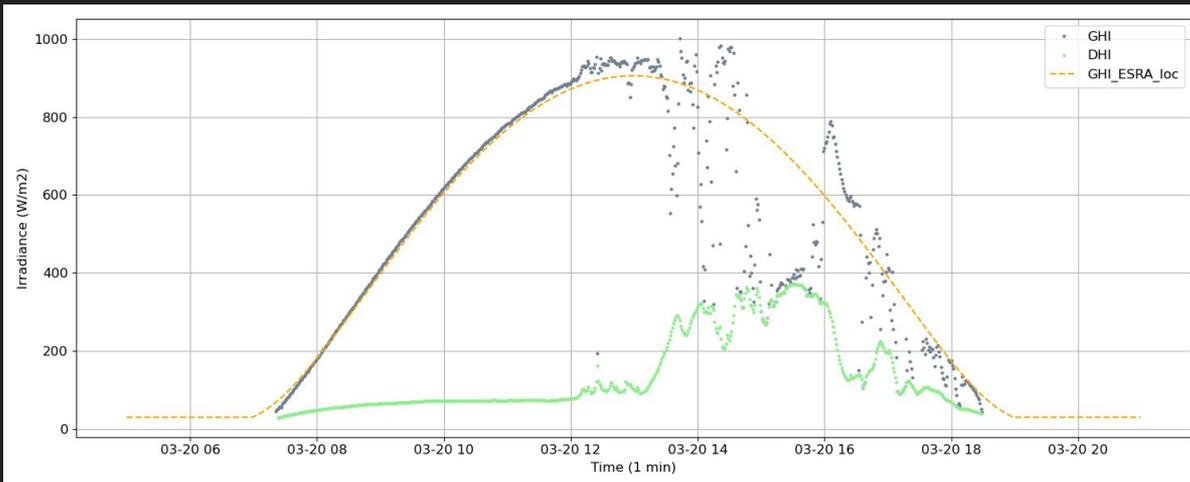
Umbral para eventos OI:

$$\text{GHI} > (1 + \xi) \text{Gcs}$$

Gcs: GHI de cielo claro estimado. Modelo de cielo claro usado: **ESRA** (Rigollier, 2000).

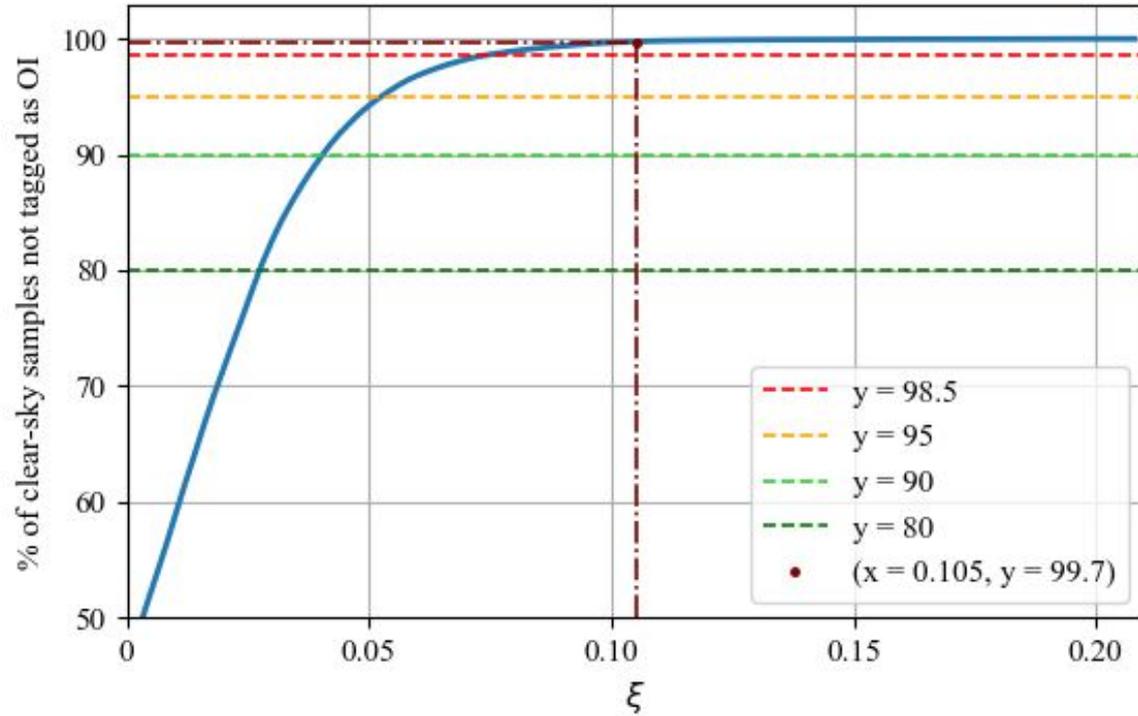
La Turbidez de Linke (TL) es el único input atmosférico requerido -> **baja incertidumbre**

ξ : constante mayor a 0 → **a ser determinada**



ESRA se calculó con los valores de turbidez de Linke (TL) obtenidos localmente para el Norte de Uruguay (Laguada, 2021), interpolados a frecuencia 1-minutal.

Detección OI: determinación de ξ



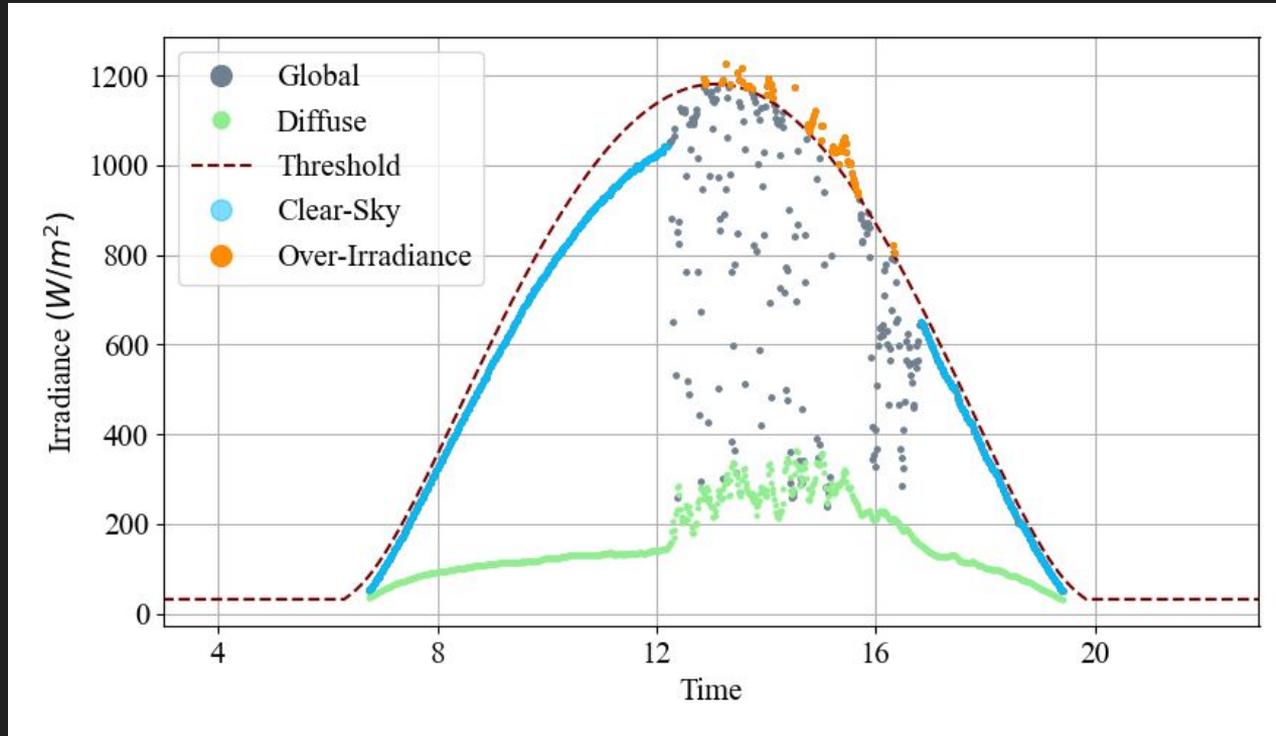
$$\text{GHI} > (1 + \xi) \text{ Gcs}$$

ξ seleccionado: 0.105

3 veces la incertidumbre
de ESRA (nivel de
confianza P99)

Detección OI

Detección OI (ejemplo):



Serie temporal del día 2020/01/28.

Datos seleccionados como OI

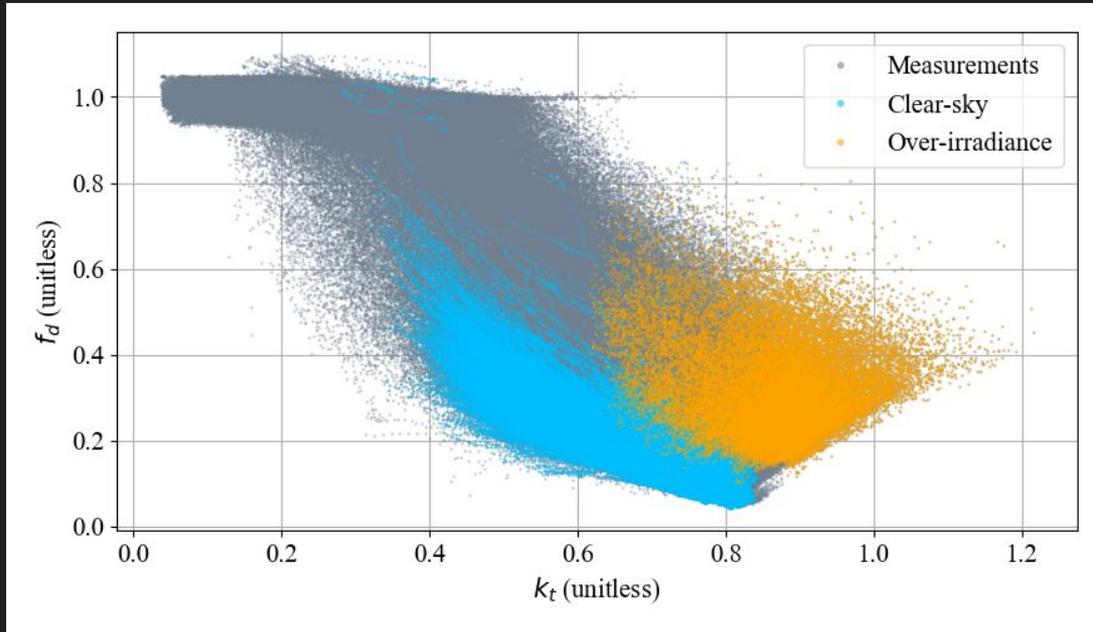


Diagrama f_d - k_t con selección de cielo claro y detección de sobre-irradiancia.

- Resultados de la detección de OI

406.071 minutos de cielo claro.

40.007 minutos de OI.

12.827 eventos de OI.

- Algoritmo para detectar cielo claro:

de pvlib (Reno & Hansen, 2016).

Análisis de eventos de sobre-irradiancia (OIE)

Definimos un **evento de sobre-irradiancia (OIE)**
como una serie de observaciones OI consecutivas

Propiedades estudiadas de los OIE:

- Duración de los eventos (min)?
- Magnitud de los eventos (kJ/m^2)?
- Intensidad del pico (W/m^2)?
- Cuándo ocurren?

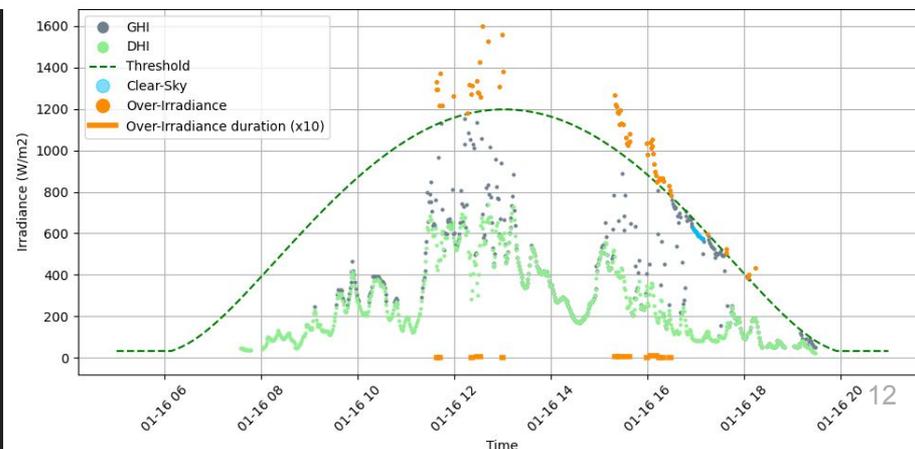
Propiedades de los eventos OI

	YEAR	2016	2017	2018	2019	2020
Maximum value (W/m²)	summer	1461 (8.04 %)	1601 (16.4 %)	1435 (4.16 %)	1533 (10.8 %)	1510 (10.3 %)
	autumn	1209 (4.61 %)	1269 (11.8 %)	1225 (9.28 %)	1147 (1.83 %)	1106 (3.91 %)
	winter	1267 (14.2 %)	1239 (16.4 %)	1177 (12.9 %)	1164 (6.95 %)	1247 (16.9 %)
	spring	1557 (15.1 %)	1522 (10.8 %)	1443 (1.96 %)	1421 (2.85 %)	1433 (3.46 %)
Frequency of OI above 1361 W/m²(%)	0.22	0.27	0.19	0.22	0.14	

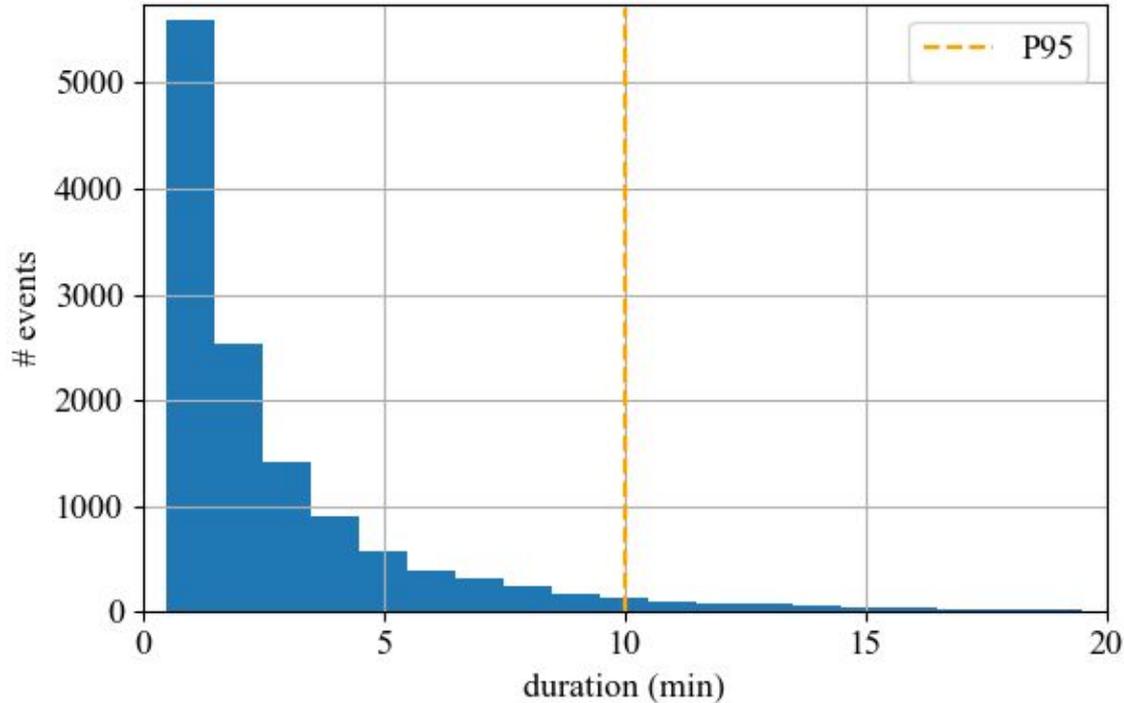
en paréntesis, la diferencia a nivel TOA

$$TOA = 1361 \cdot F_n \cdot CZ$$

Día de la máxima GHI, verano 2017.



Duración de los OIE



Variabilidad estacional P95

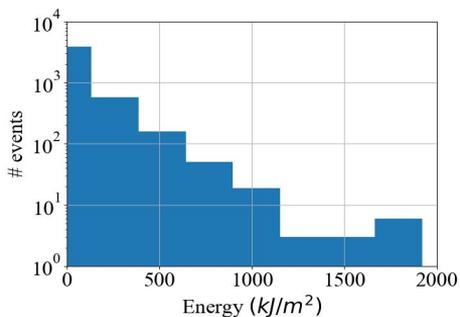
verano: 10 min

otoño: 12 min

invierno: 8 min

primavera: 9 min

Magnitud de los OIE



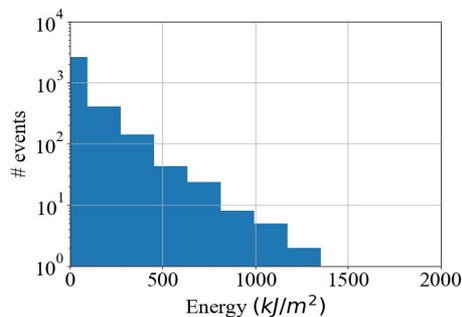
verano

P95 (kJ/m²):

521

Media (kJ/m²):

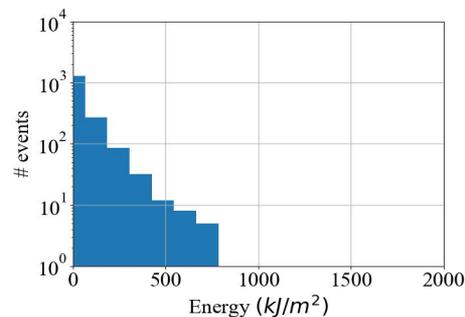
165



otoño

421

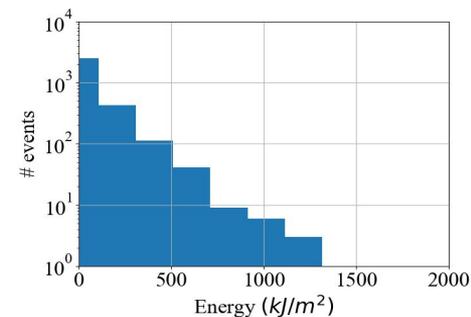
126



invierno

304

103

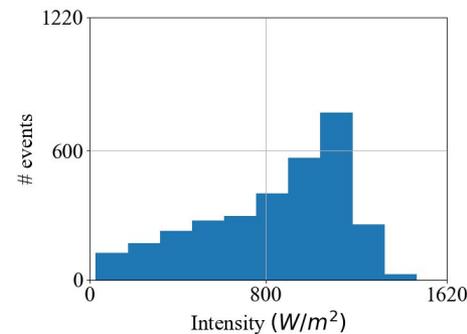
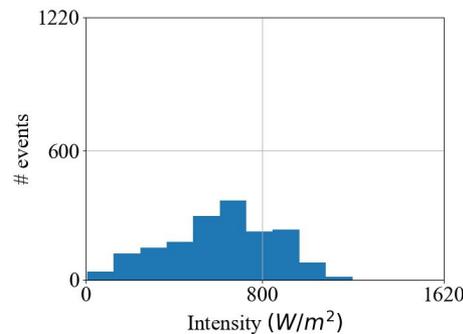
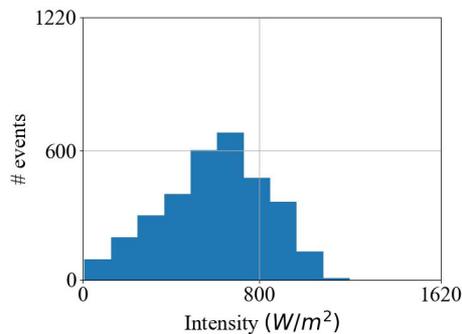
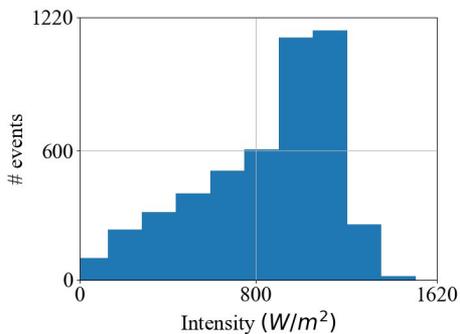


primavera

427

139

Intensidad pico de los OIE



P95 (W/m^2): 1299
Media (W/m^2): 923

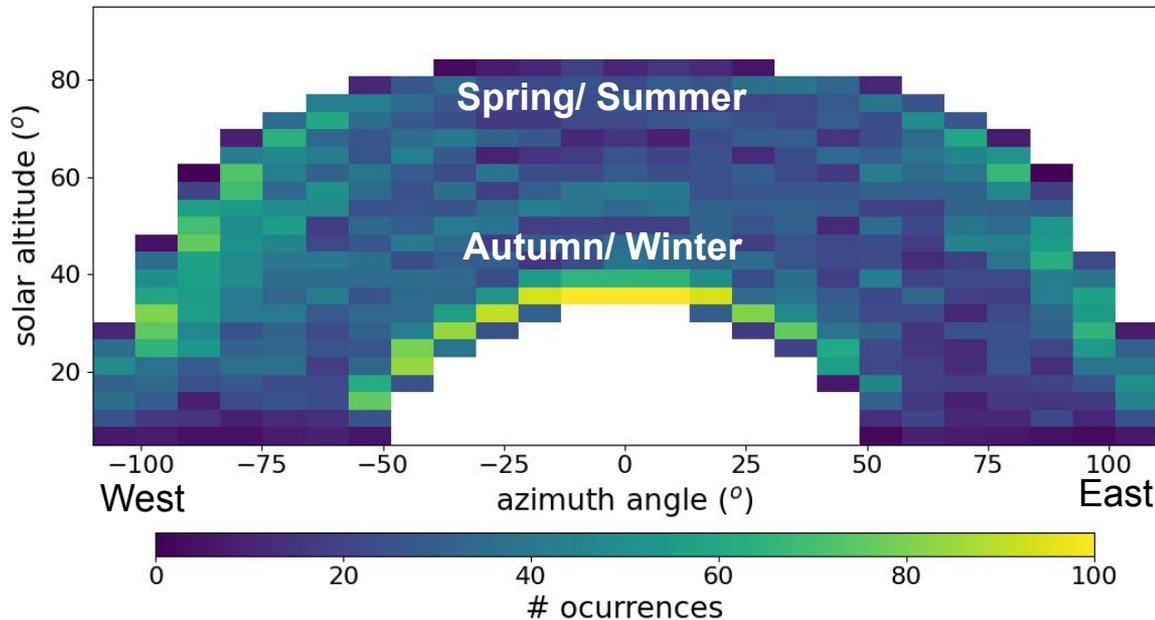
1022
658

1037
672

1308
910

Cuándo ocurren los OIE?

Número de eventos de sobre-irradiación en un diagrama solar:



Eventos OI totales: 12827

eventos OI por ángulo horario:

$w < -45^\circ$: 1741 (14 %)

$-45 \leq w < 45^\circ$: 8635 (67 %)

$w \geq 45^\circ$: 2451 (19 %)

eventos OI por estación:

Verano 4725 (37 %)

Otoño 3256 (25 %)

Invierno 1713 (13 %)

Primavera 3133 (24 %)

Resumen y conclusiones

- El método para detectar eventos de sobre-irradiancia fue **implementado exitosamente**, **se basa solo en la variable Global**, lo que lo hace extrapolable a toda la región, donde contamos con más de 9 estaciones de medición, para analizar la distribución espacial de los eventos de sobre-irradiancia.
- El método es **fácil de implementar y provee una gran cantidad de información** sobre los eventos de sobre-irradiancia, para una caracterización preliminar.
- Los eventos de sobre-irradiancia son **muy comunes**, y están **distribuidos a lo largo de todas las estaciones**, en otoño e invierno tienden a aparecer durante el mediodía, con intensidades alrededor de 1000 W/m², y en primavera-verano tienden a aparecer en altitudes solares inferiores (mañana y tarde) con intensidades alrededor de 1200-1300 W/m².
- La duración P95 es **10 minutos**.

Commentarios

- Los eventos de sobre-irradiancia de larga duración y altura solar baja pueden ser difíciles de identificar con este método, ya que puede confundirlos con rocío en los domos en la mañana o gotas de lluvia en la tarde.

Muchas gracias.

Caso de estudio: Salto, en el norte de Uruguay



Data Quality Control

Previous to the analysis, the following filters were applied, To the corresponding variables: GHI, DHI, DNI:

- **Automated filters** suggested by BSRN, and BSRN modified with no upper limit to be able to detect over-irradiance events:

Physically possible

Extremely rare (the most restrictive survived)

Comparisons

Filter n°16 (Perez-Asturdillo, 2018)

- **Manual filters** after visual quality control and preliminary over-irradiance detection.

Table 1: Criteria used for Quality Control Filters.

Quality control filters previous to the analysis			
	BSRN	BSRN modified	Affected variable
Physically possible	$-4 < \text{GHI} < \text{Sa} \cdot 1.5 \cdot \text{CZ}^{1.2} + 100$	$\text{GHI} < 3000$	GHI
Extremely rare	$-4 < \text{GHI} < \text{Sa} \cdot 1.2 \cdot \text{CZ}^{1.2} + 50$	$\text{GHI} < 3000$	GHI
Comparisons	$0.92 < \text{GHI}/\text{SumSW} < 1.08$ for $\text{CZ} < 75^\circ$, $\text{SumSW} > 50 \text{ W/m}^2$	Same	GHI
	$0.85 < \text{GHI}/\text{SumSW} < 1.15$ for $75^\circ < \text{CZ} < 93^\circ$, $\text{SumSW} > 50 \text{ W/m}^2$		
Physically possible	$-4 < \text{DHI} < \text{Sa} \cdot 0.95 \cdot \text{CZ}^{1.2} + 50$	$\text{DHI} < 3000$	DHI
Extremely rare	$-2 < \text{DHI} < \text{Sa} \cdot 0.75 \cdot \text{CZ}^{1.2} + 30$	$\text{DHI} < 3000$	DHI
Comparisons	$\text{DHI}/\text{GHI} < 1.05$ for $\text{CZ} < 75^\circ$, $\text{GHI} > 50 \text{ W/m}^2$	Same	DHI
	$\text{DHI}/\text{GHI} < 1.10$ for $75^\circ < \text{CZ} < 93^\circ$, $\text{GSW} > 50 \text{ W/m}^2$		
Physically possible	$-4 < \text{DNI} < \text{Sa}$	$\text{DNI} < 3000$	DNI
Extremely rare	$-2 < \text{DNI} < \text{Sa} \cdot 0.95 \cdot \text{CZ}^{0.2} + 10$	$\text{DNI} < 3000$	DNI
Filters after visual quality control and after preliminary overirradiance detection			
Filter n°16 – Pérez-Asturdillo	$\text{GHI}/\text{Gcs} > 0.85$ & $\text{DHI}/\text{GHI} > 0.85$		GHI, DHI, DNI
Manually discarded	All year 2015 is discarded due to trial measuring periods. Some particular events detected as misalignment of the shadow ball of DHI, and dew on domes are discarded.		GHI, DHI, DNI

* Sa = Solar constant adjusted for Earth-Sun distance.

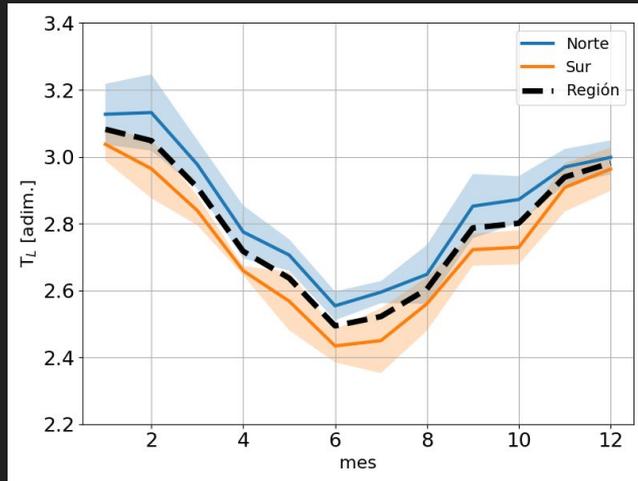
* CZ = Cosine of the zenith angle.

* Gcs = Global Horizontal Irradiance calculated with clear-sky model.

* SumSW = DHI + DNI. CZ

Detección OI: modelo de cielo claro ESRA

ESRA se usa con los valores de turbidez de Linke (TL) obtenidos localmente para el Norte de Uruguay (Laguarda, 2021), interpolados a frecuencia 1-minutal.



Validación:

(Se realiza una adaptación lineal para remover el BIAS)

	original	site adapted
rMBD (%)	-3.8	0
rRMSD (%)	5.2	3.6
KSI (W/m2)	23.6	17.1
Clear sky measurements mean (W/m2)	624.6	
# samples	369200	

Similar a la incertidumbre del instrumento

removed clear sky data from OI dataset

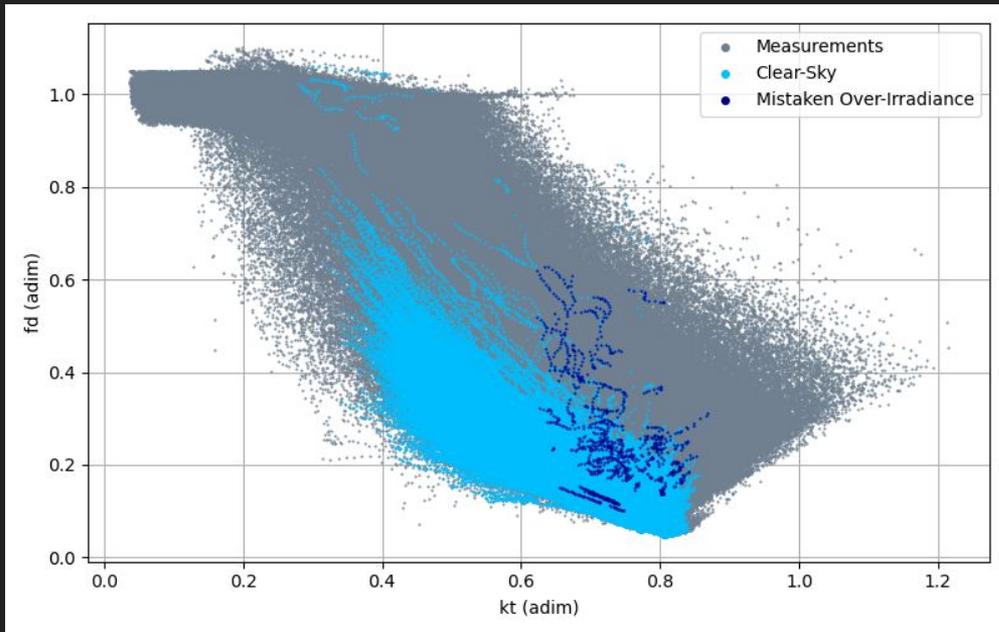


Diagram fd - kt with clear-sky selection and over-irradiance detection.

- Results of Over-Irradiance detection

406.071 clear sky minutes.

40.007 over-irradiance minutes.

12.827 over-irradiance events.

- Algorithm to Detect Clear Sky

from pvlib (Reno & Hansen, 2016).