

# Conceptos Fundamentales de Bases de Datos de Radiación Solar

## Energía Solar Fotovoltaica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Universidad Politécnica de Madrid

① Introducción

② Estaciones Meteorológicas

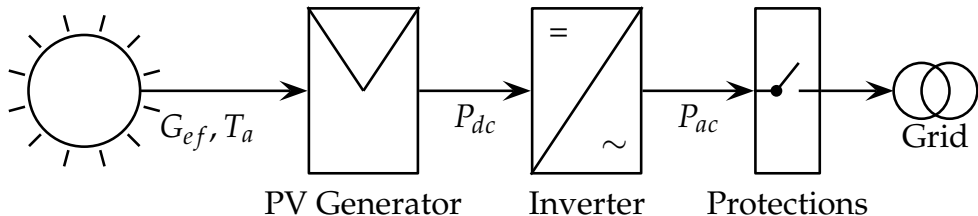
③ Imágenes de Satélite

④ Métodos híbridos

⑤ Control de calidad

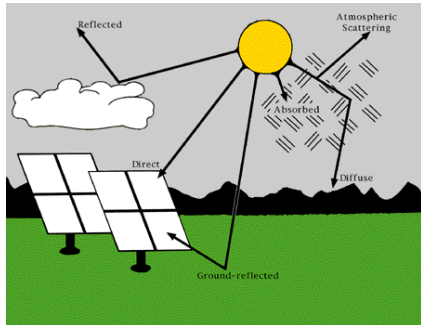
# Radiación Solar y Sistemas Fotovoltaicos

- ▶ La **energía producida** por un sistema fotovoltaico depende principalmente de la **radiación incidente** en el generador.
- ▶ Consecuentemente, la **estimación del comportamiento** de un sistema FV en un determinado lugar durante un período temporal exige **conocer la radiación solar disponible en el plano del generador**.



# La radiación solar no se puede calcular analíticamente

- ▶ La radiación solar que alcanza la superficie terrestre es el resultado de complejas interacciones en la atmósfera.
- ▶ Para estimar la radiación se necesitan medidas terrestres o imágenes de satélite.



# Ángulo de Inclinación

- ▶ Los generadores FV tienen un **ángulo de inclinación positivo** para maximizar el rendimiento.
- ▶ Este ángulo depende de la **latitud** del lugar y de la **aplicación del sistema**.



# Bases de Datos de Radiación Solar

Por tanto, es inviable mantener una base de datos de radiación solar **incidente**:

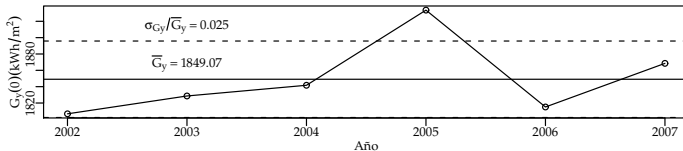
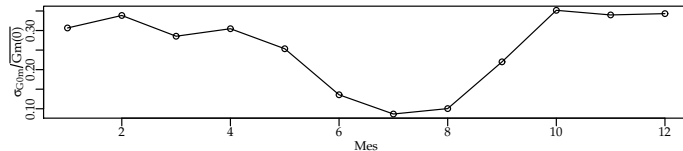
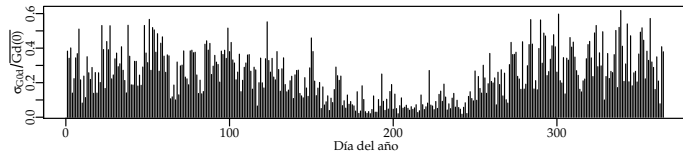
- ▶ Las **bases de datos** registran radiación en el **plano horizontal**.
- ▶ La estimación de la radiación incidente en el plano inclinado requiere un **procedimiento de transposición** para cada lugar y sistema.

# Variabilidad Temporal y Espacial

- ▶ La irradiancia solar extraterrestre depende de la latitud y el instante temporal (*proceso determinista*).
- ▶ La irradiancia solar incidente en la superficie terrestre es resultado de la interacción con la atmósfera cambiante: **variabilidad temporal y espacial** (*proceso estocástico*).

# Variabilidad Temporal

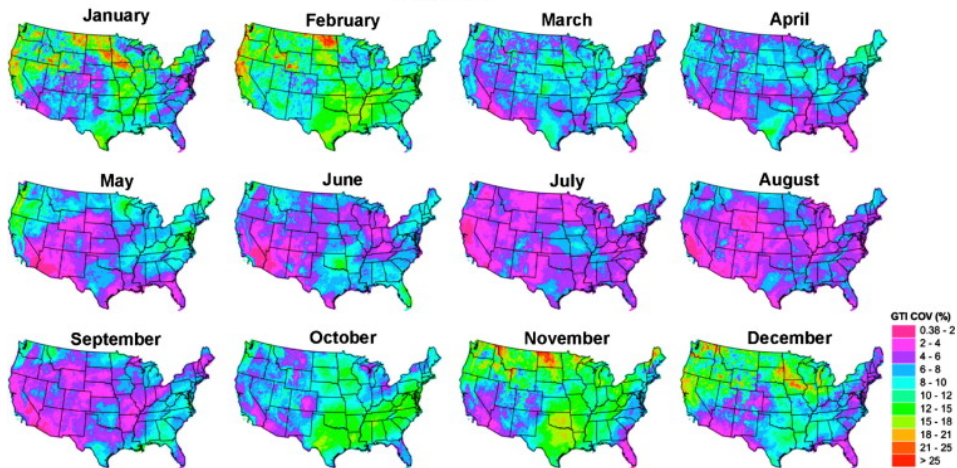
*Variabilidad de la irradiación diaria, mensual y anual durante el período comprendido entre 2001-2008 en Carmona, Sevilla*





# Variabilidad Espacial

Monthly GTI Interannual COV (%)  
1998-2005



# Estimación a partir de Medidas

Para estimar la radiación incidente es necesario contar con:

- ▶ **Medidas cercanas** (variabilidad espacial): distancia no superior a 10 km.
- ▶ **Series temporales** largas (variabilidad temporal): 10 años.

# Fuentes de datos

## ▶ Estaciones meteorológicas

- ▶ Series largas y con tiempos de muestreo altos.
- ▶ Baja resolución espacial (medidas puntuales)
- ▶ Precisión en caso de medida directa.

## ▶ Imágenes de satélite

- ▶ Tiempos de muestreo bajos (mejorando)
- ▶ Resolución espacial alta
- ▶ Error debido a la estimación.

## ▶ Híbrido

- ▶ Medidas terrestres combinadas con imágenes de satélite

① Introducción

② Estaciones Meteorológicas

③ Imágenes de Satélite

④ Métodos híbridos

⑤ Control de calidad

# Piranómetro

La medida directa de radiación solar se realiza con un piranómetro.



- ▶ Pila termoeléctrica (termopares con barniz negro)
  - ▶ Alojamiento con dos hemiesferas de cristal.
  - ▶ Flujo de calor por radiación provoca tensión eléctrica en termopila.
- ▶ Respuesta espectral plana para radiación visible.
- ▶ Respuesta perfecta al coseno del ángulo de incidencia (pérdidas por reflexión).

# Red SIAR

<https://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>

- ▶ El Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) registra datos agroclimáticos relacionados con demanda hídrica de las zonas de riego.
- ▶ Más de 400 estaciones.
- ▶ Valores diarios y horarios



# Otros recursos

## Redes de Comunidades Autónomas

- ▶ Meteogalicia
- ▶ MeteoNavarra
- ▶ Cataluña
- ▶ MeteoEuskadi
- ▶ Andalucía

## Más recursos

<https://github.com/oscarperpinan/mds/wiki>

① Introducción

② Estaciones Meteorológicas

③ Imágenes de Satélite

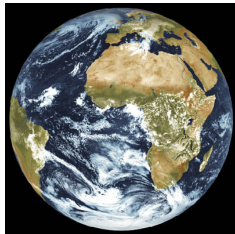
④ Métodos híbridos

⑤ Control de calidad



# Radiómetros

- ▶ Los satélites meteorológicos están equipados con **radiómetros** que captan **radiación emitida por la Tierra**.
- ▶ La radiación emitida por la Tierra depende de la **reflexión del suelo**, y la **geometría y composición de la atmósfera**.
- ▶ Los diferentes fenómenos físicos se detectan en **bandas de frecuencias** distintas (canales).
- ▶ Existen diversos procedimientos para **estimar radiación solar** en superficie a partir de la información de los diferentes canales del radiómetro.



## Surface meteorology and Solar Energy (SSE)

- ▶ 200 parámetros meteorológicos y de energía solar derivados de imágenes de satélite.
- ▶ Base de datos de casi 40 años.
- ▶ Resolución  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$
- ▶ Variable de interés: *All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance*

<https://power.larc.nasa.gov/>

# EUMETSAT - SAF

**EUMETSAT** es la agencia europea de satélites en operación, para la monitorización de la meteorología, clima y el medio ambiente.

Existen diferentes **Satellite Application Facilities (SAFs)**:

- ▶ **SAF on Climate Monitoring (CM SAF)**: datos derivados de imágenes de satélite adecuados para la monitorización del clima.
  - ▶ **Surface incoming shortwave radiation** (Daily SIS, Monthly SIS)
- ▶ **SAF on Land Surface Analysis (LSA SAF)**: genera, archiva y distribuye productos operacionales con un conjunto de parámetros relacionados con la radiación en superficie, la evotranspiración, cobertura vegetal e incendios.
  - ▶ **Down-welling surface short-wave radiation flux** (DSSF)

① Introducción

② Estaciones Meteorológicas

③ Imágenes de Satélite

④ Métodos híbridos

⑤ Control de calidad

# Herramientas

## Interpolación espacial

- ▶ **Objetivo:** mejorar la resolución espacial de medidas dispersas
- ▶ Ejemplo: **Inverse Distance Weighting (IDW):** determinista (los pesos  $w_i$  son una función inversa de la distancia.)

$$\hat{G}_d(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i G_d(x_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad w_i = \frac{1}{d(x_0, x_i)^p}$$

## Corrección por topografía

- ▶ *Sky-View Factor (SVF):* proporción de cielo visible para un receptor horizontal (afecta a la radiación difusa isotrópica)
- ▶ *Horizon blocking:* bloqueo de región circumsolar por horizonte (afecta a radiación directa y difusa anisotrópica)

- Datos de radiación en el plano horizontal de CM-SAF
- Permite incorporar la corrección por topografía (SVF y horizon blocking) con perfil estándar o con datos importados.

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor: **Selected** [Select location!](#)  
Elevation (m):  
PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:  
☐ Calculated horizon  
☐ Upload horizon file  
[Switch to version 5.1](#)

[CSV](#) [JSON](#)  
Seleccionar archivo: Ninguno archivo selec.

GRID CONNECTED  
TRACKING PV  
OFF-GRID  
MONTHLY DATA  
DAILY DATA  
HOURLY DATA  
TMF

**MONTHLY IRRADIATION DATA**

Solar radiation database\*

Start year:  End year:

Irradiation:  
☐ Global horizontal irradiation  
☐ Direct Normal Irradiation  
☐ Global irradiation optimum angle  
☐ Global irradiation at angle:  (0-90)

Ratio:  
☐ Diffuse/global ratio

Temperature:  
☐ Average temperature

Address:  Eg Ispra, Italy [Go!](#) LatLon:  Eg. 45.815  Eg. 8.611 [Go!](#)

[Visualize results](#) [CSV](#) [JSON](#)

① Introducción

② Estaciones Meteorológicas

③ Imágenes de Satélite

④ Métodos híbridos

⑤ Control de calidad

# Introducción

Las medidas recogidas por estaciones meteorológicas se deben filtrar para eliminar datos erróneos.

Para valores de **irradiación diaria** destacan:

- ▶ Límites Físicos
- ▶ Coherencia espacial



## Límites físicos: Irradiación Diaria

- ▶ La radiación global en el plano horizontal debe ser inferior a la extraterrestre ( $K_{td} \leq 1$ )

$$G_d(0) \leq B_{od}(0)$$

- ▶ El índice de claridad debe ser superior a 0.03

$$K_{td} = \frac{G_d(0)}{B_{od}(0)} \geq 0.03$$

- ▶ La radiación global en el plano horizontal debe ser inferior a la de un modelo de cielo claro

## Coherencia espacial: planteamiento

- ▶ Las medidas de una estación se pueden comparar con las recogidas por estaciones cercanas.
- ▶ Esta comprobación debe realizarse con **datos agregados** (diarios) (la variabilidad espacial intradiaria puede ser alta)
- ▶ Esta comprobación debe realizarse con estaciones que tienen **clima y geografía similar**.

## Coherencia espacial: procedimiento

- ▶ Estimamos la irradiación en el lugar,  $x_0$ , con la interpolación espacial de las estaciones cercanas,  $x_i$ .

$$\hat{G}_d(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i G_d(x_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

Los pesos  $w_i$  son una función inversa de la distancia  $d$  entre las estaciones (IDW).

$$w_i = 1/d^2(x_0, x_i)$$

- ▶ Comparamos la irradiación estimada,  $\hat{G}_d(x_0)$ , con la medida en la estación,  $G_d(x_0)$ .

$$\left| \hat{G}_d(x_0) - G_d(x_0) \right|$$

- ▶ La diferencia absoluta debe estar por debajo de un límite (p.ej. 50%)

## Métricas para diferencias

- Mean Bias Difference (MBD), diferencia media (indica si la medida,  $X$ , está por encima o debajo de la referencia,  $R$ ):

$$MBE = \overline{\mathbf{D}} = \overline{\mathbf{X}} - \overline{\mathbf{R}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - r_i)$$

- Root Mean Square Difference (RMSD), diferencia cuadrático media:

$$RMSD = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right)^{1/2} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - r_i)^2 \right)^{1/2}$$

- Mean Absolute Deviation (MAD):

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - r_i|$$