



IEEE Sección Uruguay

 @IEEE_UY  @ieeey  IEEE Uruguay

I+D en Energía Solar en Uruguay



LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Dr. Ing. Rodrigo Alonso-Suárez

 r.alonso.suarez@gmail.com

LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

DOS SEDES: MONTEVIDEO Y SALTO



AGENDA

¿QUÉ VENGO A CONTARLES?

2025



AGENDA

VOY A CONTARLES (ALGUNAS COSAS) DEL ESTADO ACTUAL DE UNA HISTORIA BASTANTE MÁS LARGA



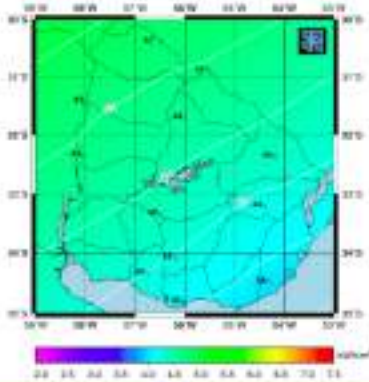
EN LA QUE ADEMÁS NO SOMOS LOS ÚNICOS ACTORES

(Y NO ES EL FINAL DE LA HISTORIA ...)

2008

2025

Promedio anual



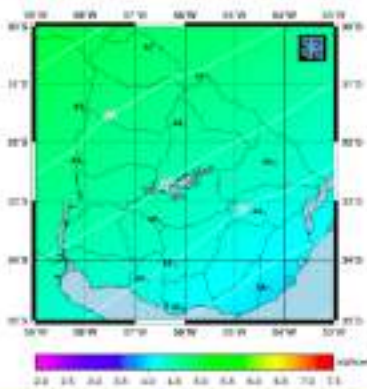
2010

t

2008

2025

Promedio anual



inicio del grupo solar en FING (GMARS - IF)

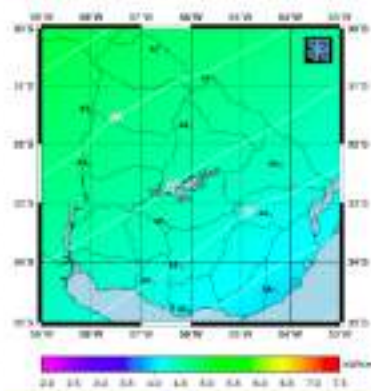
2010



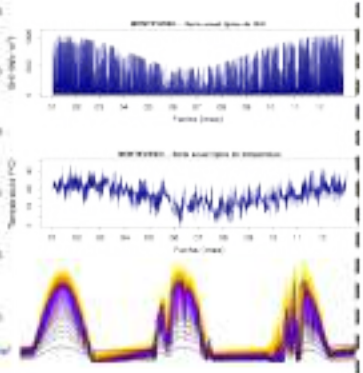
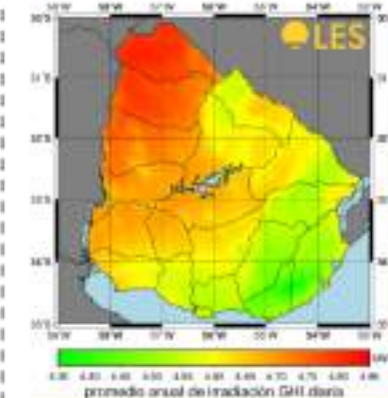
2015

2008

Promedio anual



2017



2025



inicio del grupo solar en FING (GMARS - IF)

2010



2015

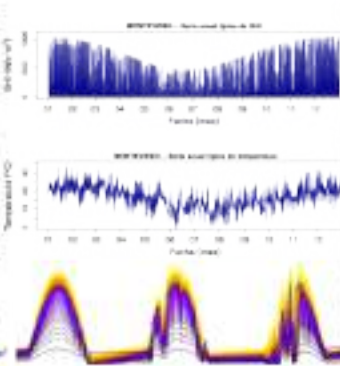
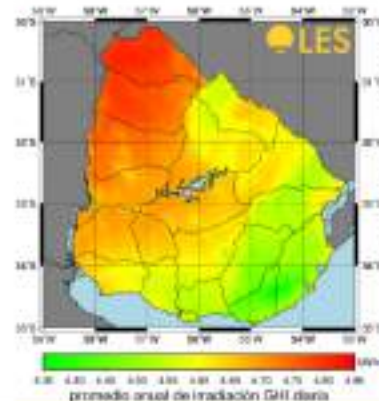
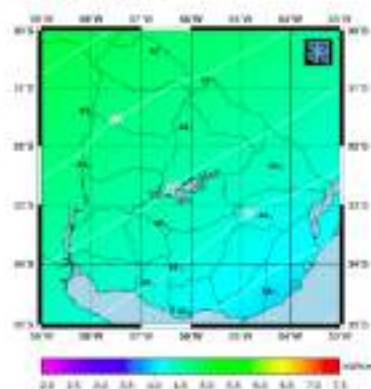


2008

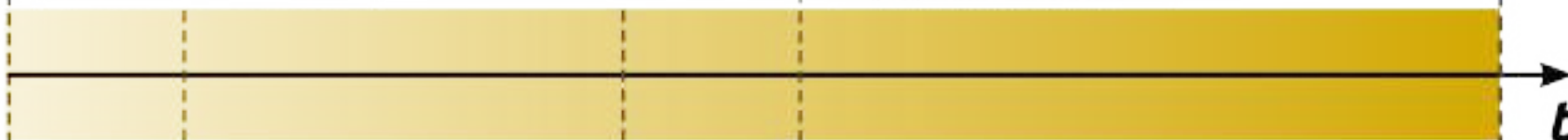
2017

2025

Promedio anual



promedio anual de irradiación GHI diaria



inicio del grupo solar en FING (GMARS - IF)

¡ EL LES CUMPLE 10 AÑOS !



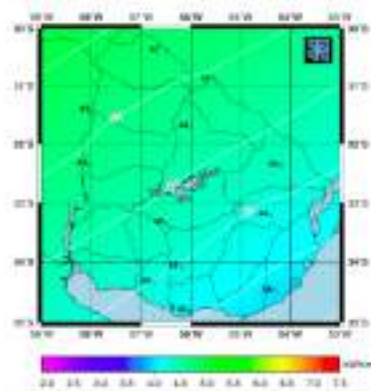
2010



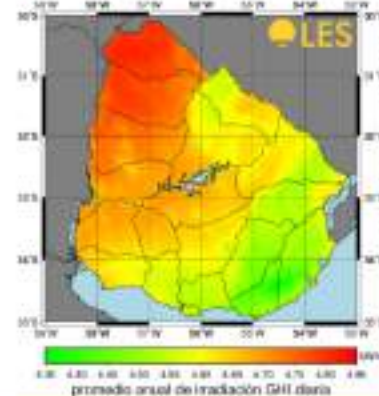
2015

2008

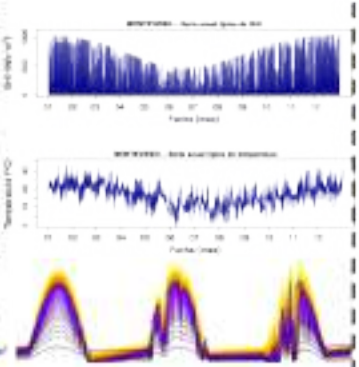
Promedio anual



2017



2025



inicio del grupo solar en FING (GMARS - IF)

2010



2015

inicio del Laboratorio Solar de UTEC

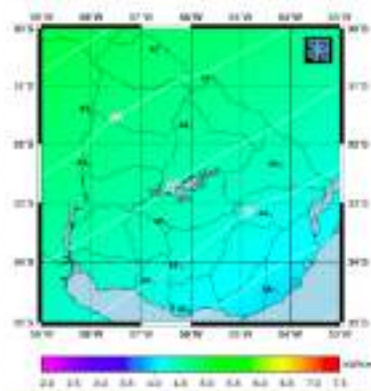
UTEC

Universidad Tecnológica

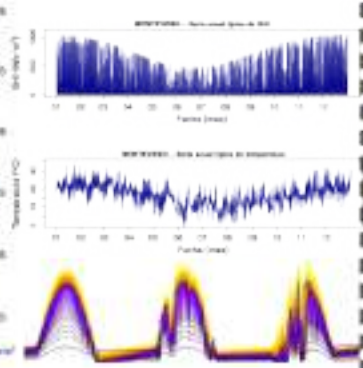
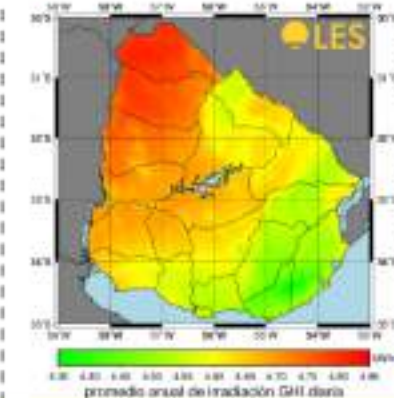


2008

Promedio anual



2017



2025



inicio del grupo solar en FING (GMARS - IF)



2010

2015

Y otros colegas que también trabajan energía solar ...

- IMFIA
- IIE
- IIMPI
- IFFI
- IMERL
- Facultad de Química
- Facultad de Ciencias
- CURE
- Otros?

RECURSO SOLAR

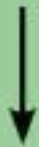


Modelado de la Radiación Solar

Predicción de la Radiación Solar

Caracterización del Recurso (Mapa Solar, TMY)

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA



Modelado de la Generación PV

Predicción de la Generación PV

Complementaridad Eólico-Solar e Integración a Red

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



Agua Caliente Sanitaria (BECS)

Secado Solar

Precalentamiento Industrial (calor de proceso)

EFICIENCIA TÉRMICA EN EDIFICACIONES



Simulación de Transferencia de Calor en Edificios

Infraestructura Experimental (en viviendas) (ensayo de muros) (vidrios y aberturas)

RECURSO SOLAR



MAPA SOLAR DEL URUGUAY

(segunda versión, 2017)

Caracterización climatológica (media y var.)

Resolución espacial: ~2 km

Información de entrada:

~16 años de imágenes de satélite

~5 años de medidas terrestres

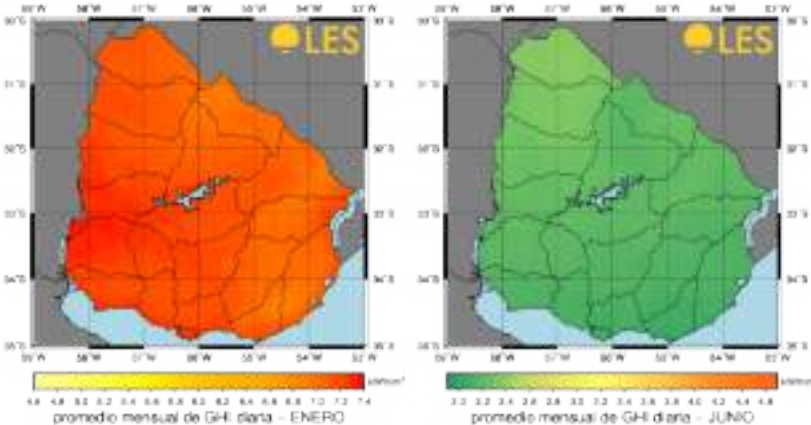
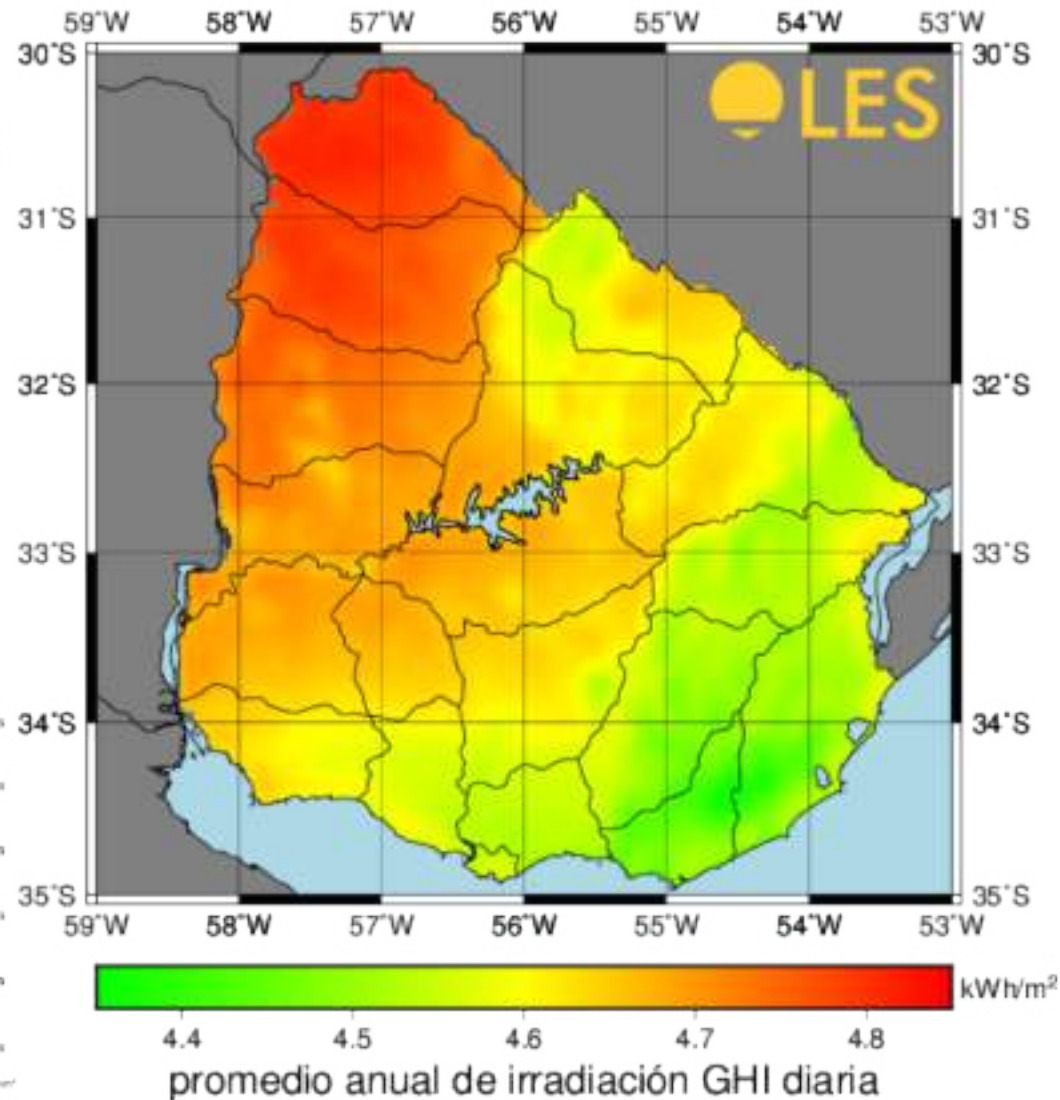
Incertidumbre:

2% para climatología anual

4% estimación mes a mes

6% estimación día a día

12% estimación hora a hora



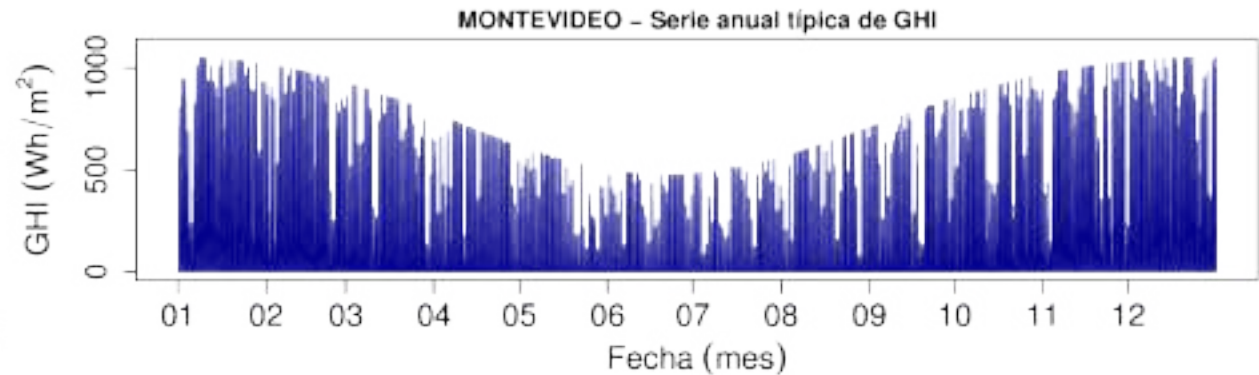
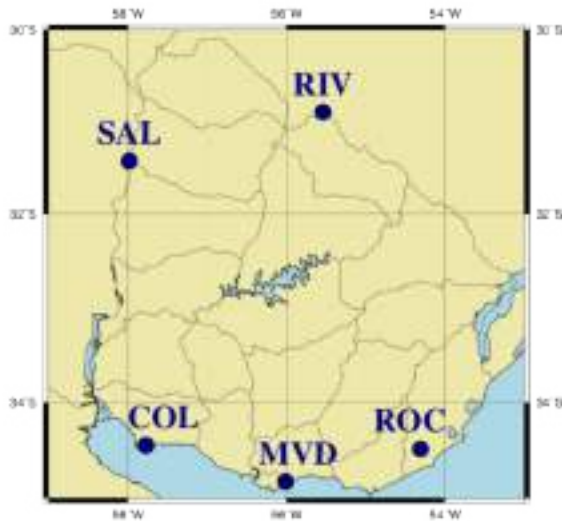
AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO (para aplicaciones de energía solar)

(versión 2.4, 2016)

Series horarias típicas: Irradiancia Solar, Temperatura, Humedad, Presión y Viento.

Disponible para 5 sitios en el país: Montevideo, Salto, Rivera, Colonia y Rocha.

Basado en mediciones terrestres de las variables auxiliares de INUMET, INIA, UTE y LES.



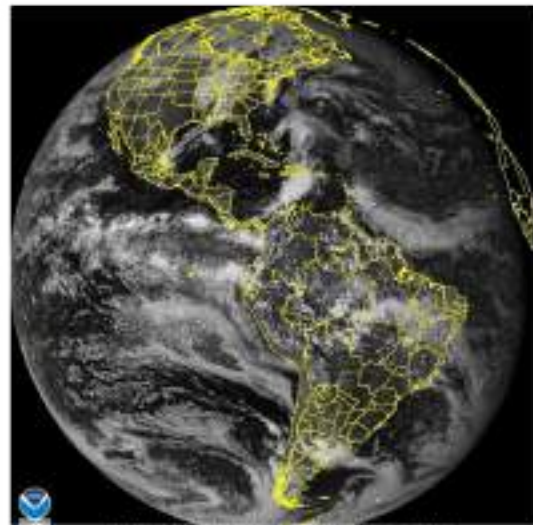
¿CUÁLES SON LAS PIEZAS DEL PUZZLE?

Medición
Terrestre

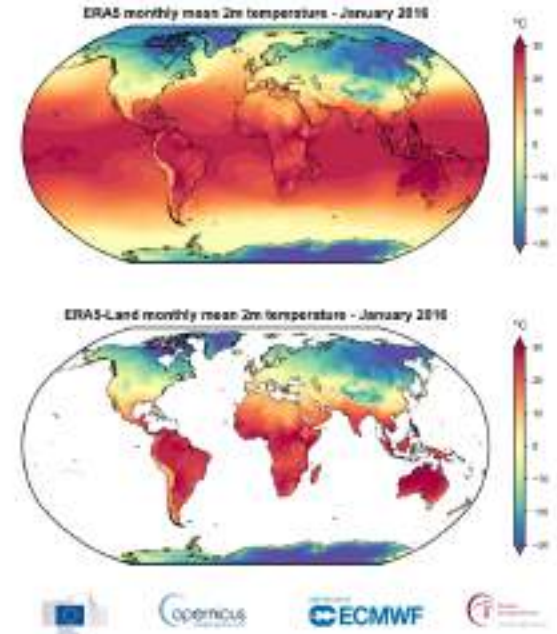


medición
("realidad")

Información
Satelital



Modelos de
Atmósfera



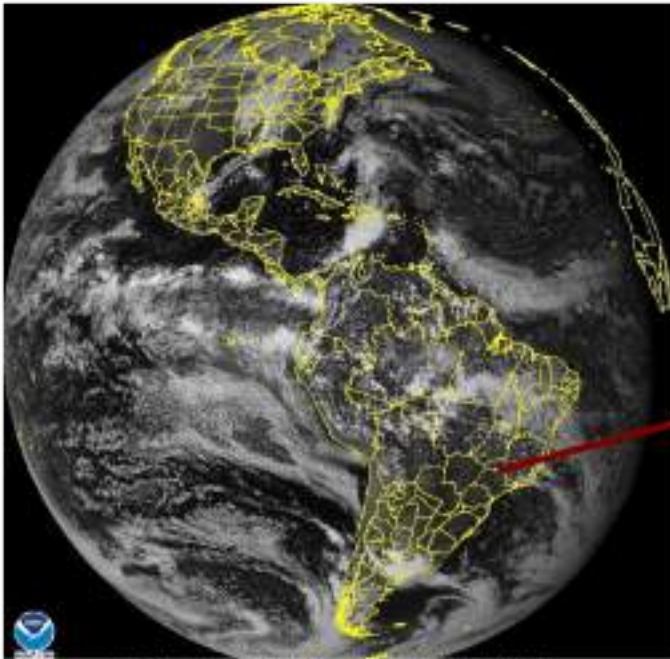
estimaciones | datos modelados



MEDICIONES TERRESTRES

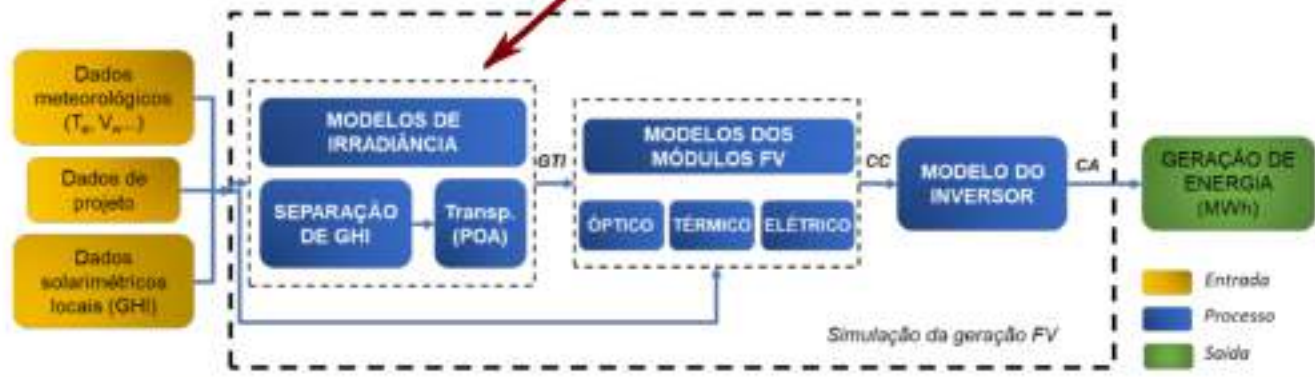
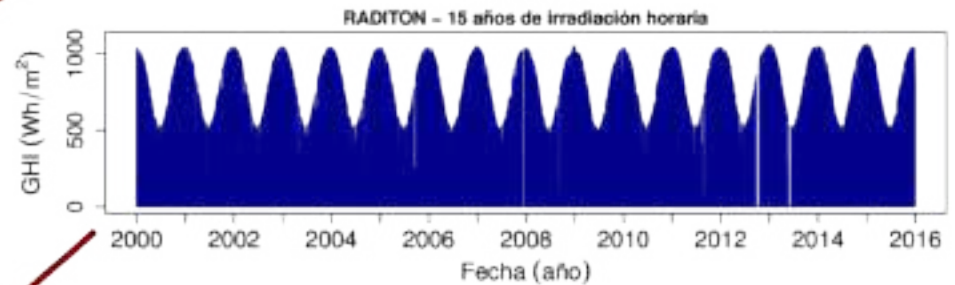
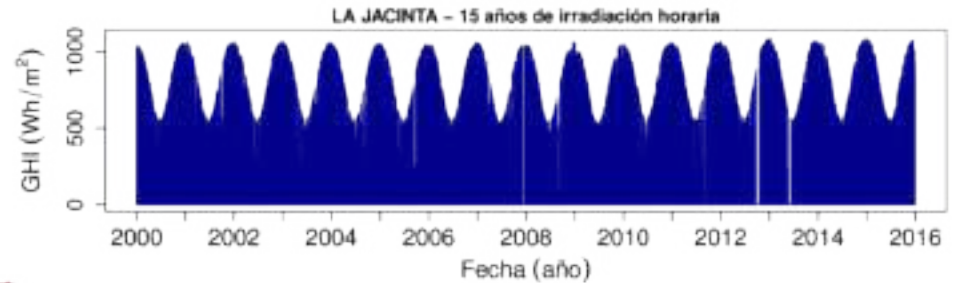
RED DE MEDIDA NACIONAL DE LA
IRRADIANCIA SOLAR CON FINES CIENTÍFICOS





25 Oct 2002 18 30Z - NOAA/NCSS/STAR - FULL DISK - Band 02

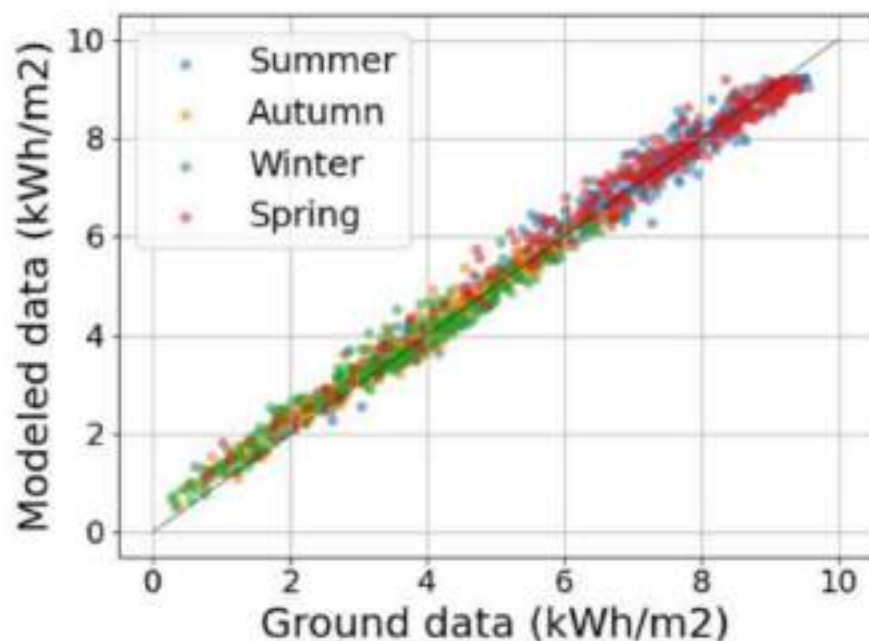
ESTIMACIÓN EN SITIOS ESPECIFICOS



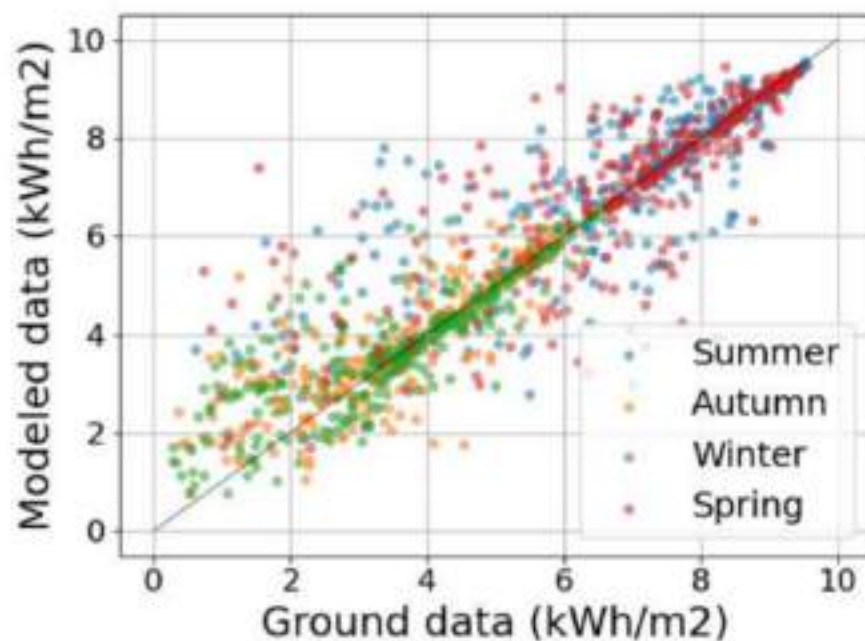
¿CÓMO ANDA LA ESTRATEGIA SATELITAL?

- A escala diaria la incertidumbre es de 5-6% -> Casi indistinguible de un equipo de medida de campo.
- Es la mejor estrategia de estimación de irradiancia solar disponible a la técnica actual.
- Comparación debajo entre estimaciones satelitales y datos de reanálisis de modelos de atmósfera.

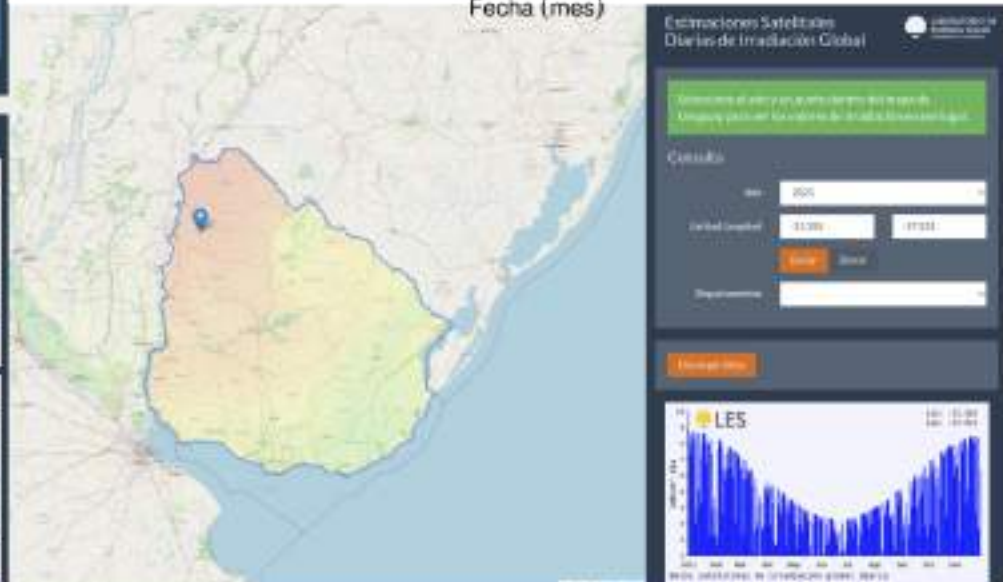
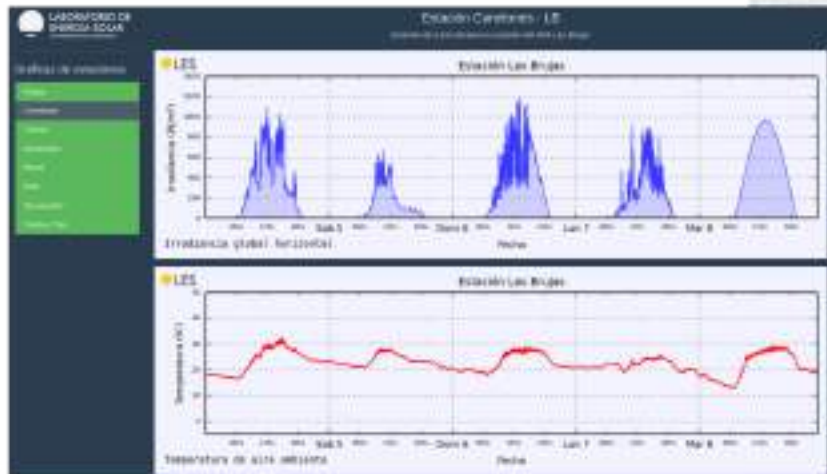
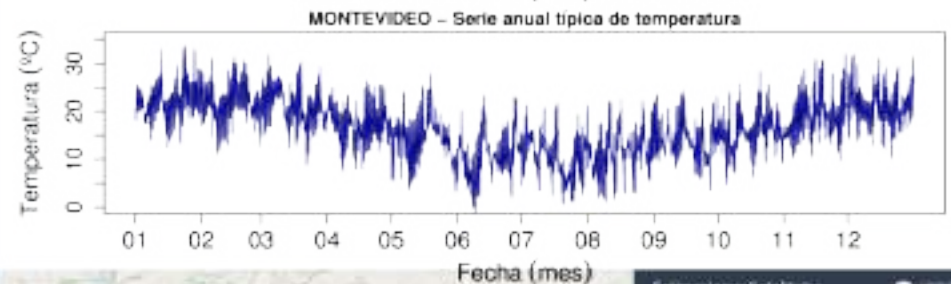
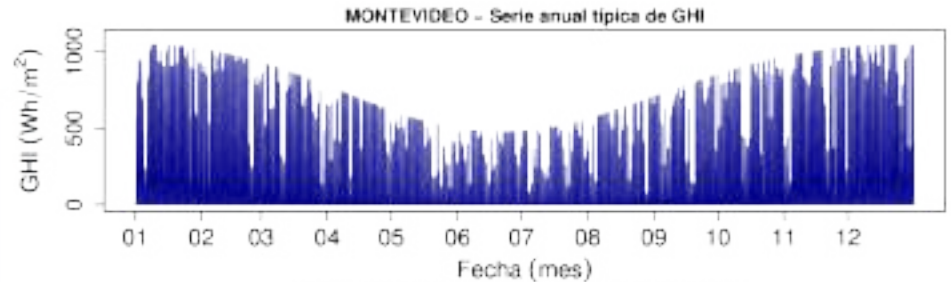
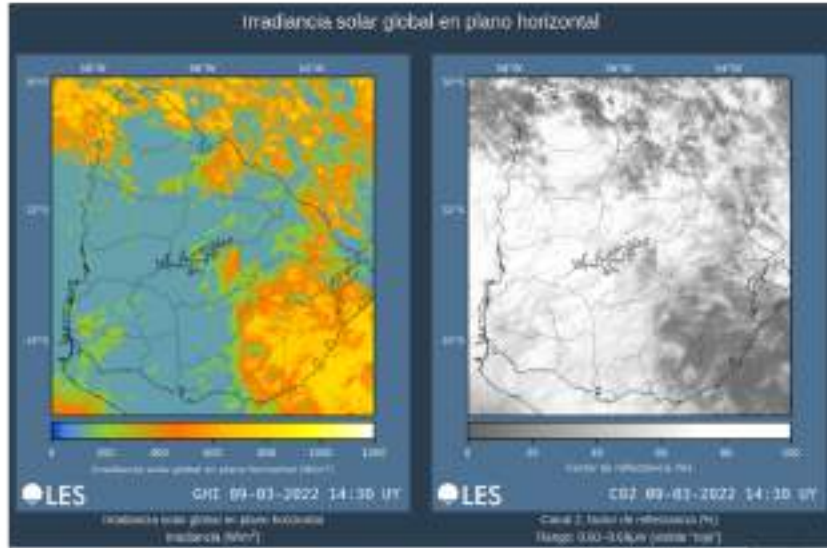
SATÉLITE (CIM-ESRA)



REANÁLISIS (MERRA2)



VARIOS SETS DE INFORMACIÓN

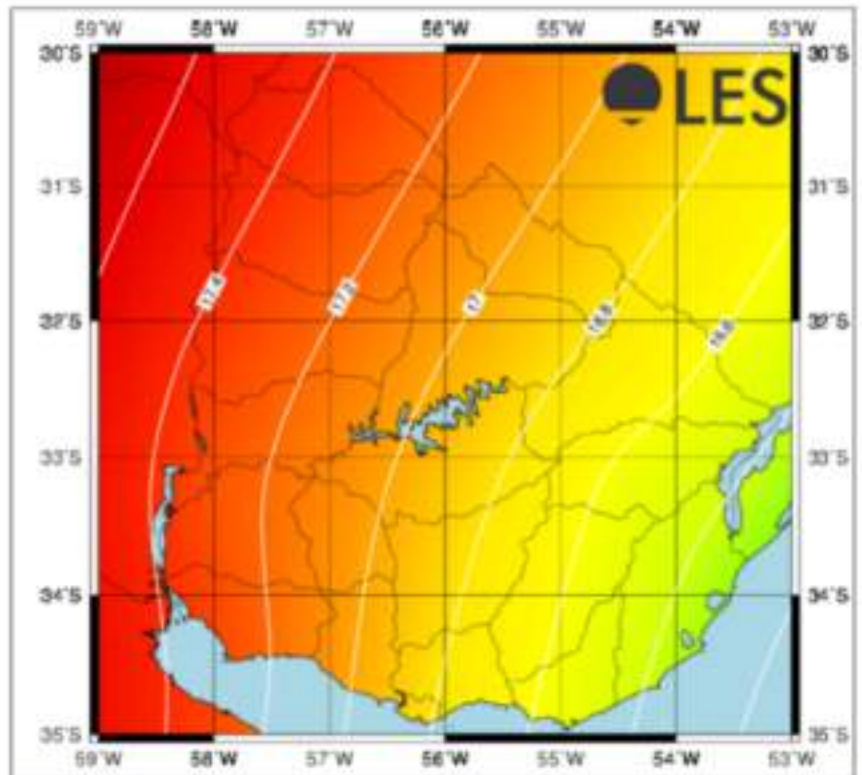
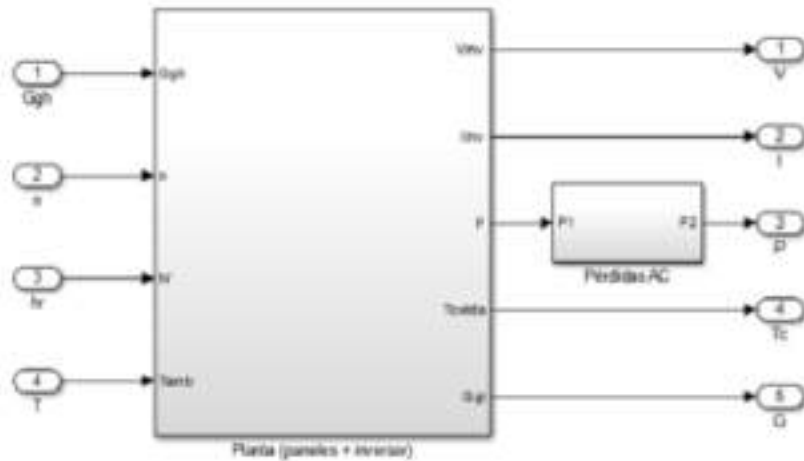


ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA



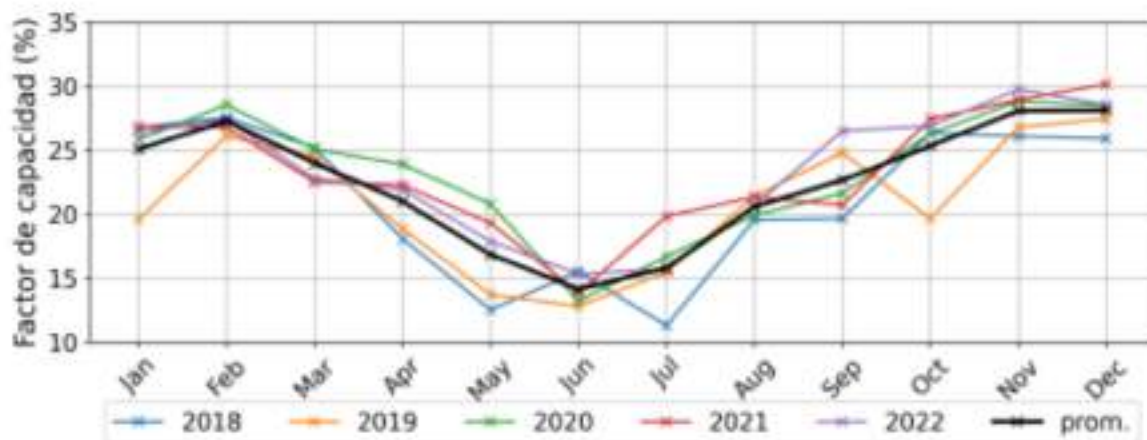
MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN PV EN URUGUAY

- Mapa de Factores de Capacidad PV en Uruguay (2015-2016) (respecto a potencia de paneles).
- 15 años de datos satelitales de irradiancia solar hora a hora.
- 15 años de registros de temperatura medida en Tierra en 10 estaciones INUMET.
- Modelo de Planta PV desarrollado por el IIE.
- Adaptación local con 2 años de datos de generación PV de ASAHI.



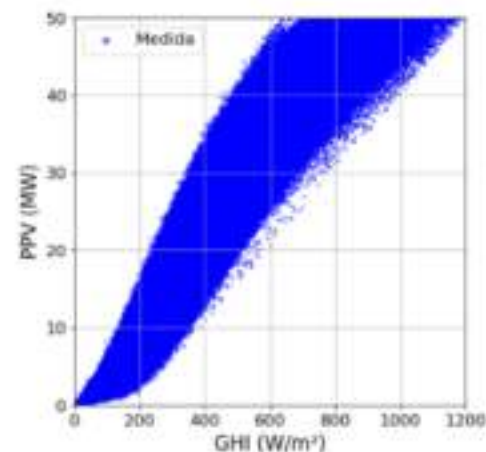
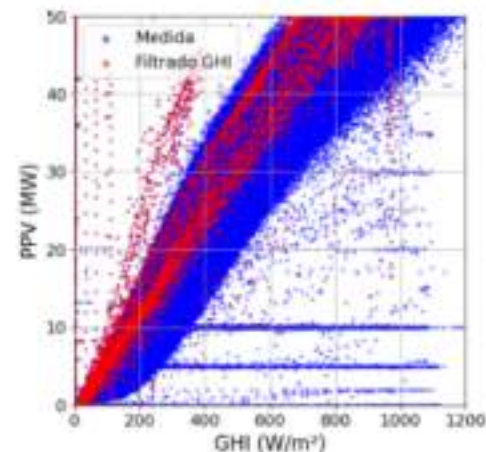
MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN PV EN URUGUAY

- 5 años (2018-2022) de datos 10-minutales de operación de La Jacinta.
- Control de calidad detallado y relleno ad-hoc de baja incertidumbre.
- Se completan series 10-minutales sin huecos ni rest. operativas.
- Números firmes para el factor de capacidad PV (incl. fija)



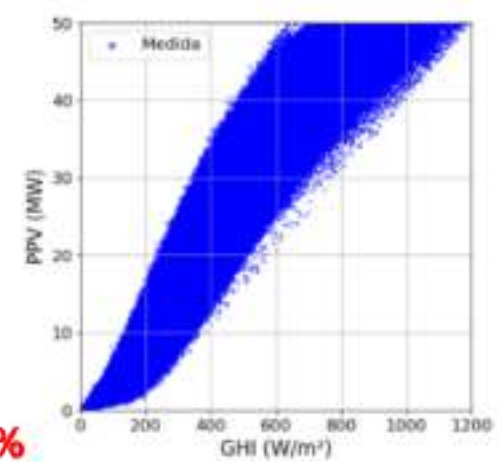
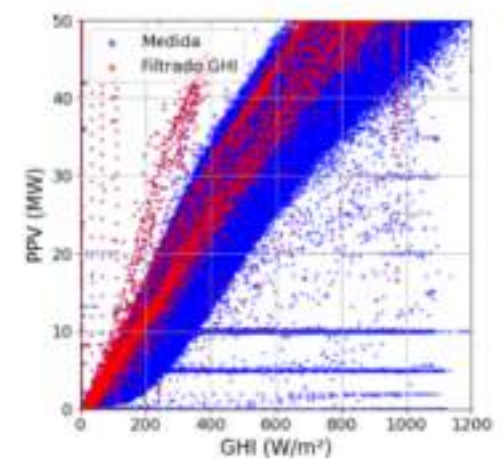
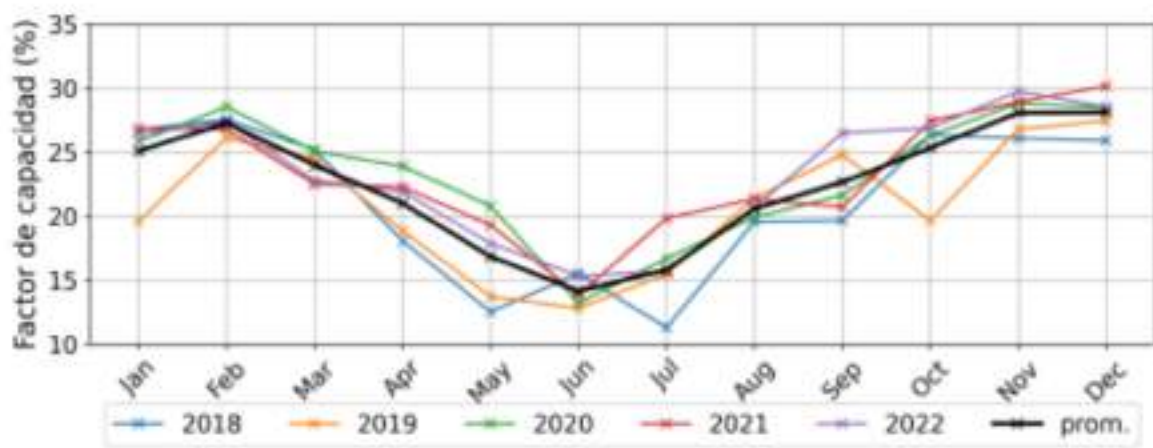
FACTOR DE CAPACIDAD RESPECTO A POTENCIA NOMINAL: 22.4%

FACTOR DE CAPACIDAD RESPECTO A POTENCIA PANELES: 17.4%



MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN PV EN URUGUAY

- 5 años (2018-2022) de datos 10-minutales de operación de La Jacinta.
- Control de calidad detallado y relleno ad-hoc de baja incertidumbre.
- Se completan series 10-minutales sin huecos ni rest. operativas.
- Números firmes para el factor de capacidad PV (incl. fija)



FACTOR DE CAPACIDAD RESPECTO A POTENCIA NOMINAL: 22.4%
FACTOR DE CAPACIDAD RESPECTO A POTENCIA PANELES: 17.4%
TRABAJOS VIEJOS LES - IIE : 17.6% - 17.2% -> MAPA PV (2015): 17.4%

MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN PV EN URUGUAY

- Optimización económica (NPV) del diseño de plantas PV en Uruguay (con orientación fija).
- Año Meteorológico Típico + PVSyst + Optimización.
- Optimización: Inclinación, oversizing, distancia entre filas, cableado, tamaño de inversores.

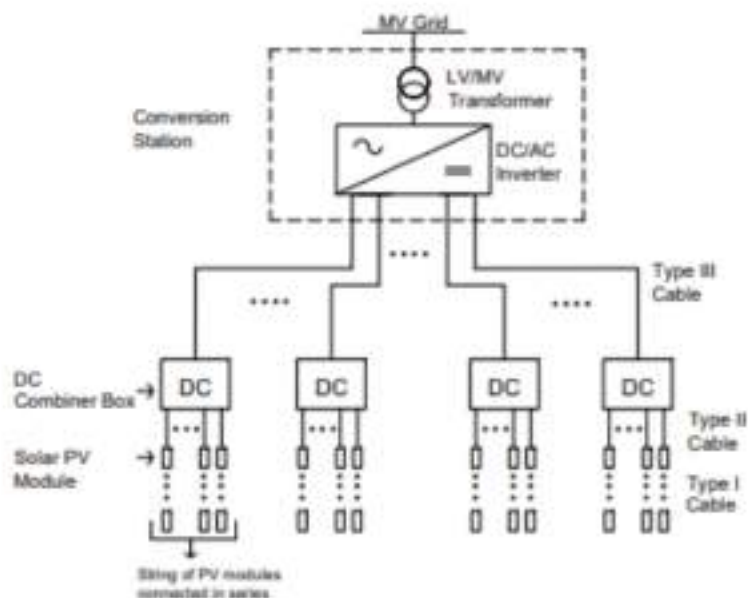


TABLE I
TESTS WITH DIFFERENT DC WIRING AND CONTRACT CONDITIONS.

test name	USD per MWh	contract years	type II wiring mm ²	type II wiring USD/m	type III wiring mm ²	type III wiring USD/m
C01	50	25	6	0.75	120	16.20
C02	50	25	10	1.25	120	16.20
C03	50	25	6	0.75	150	20.25
C04	50	25	10	1.25	150	20.25
C05	40	30	6	0.75	120	16.20
C06	40	30	10	1.25	120	16.20
C07	40	30	6	0.75	150	20.25
C08	40	30	10	1.25	150	20.25

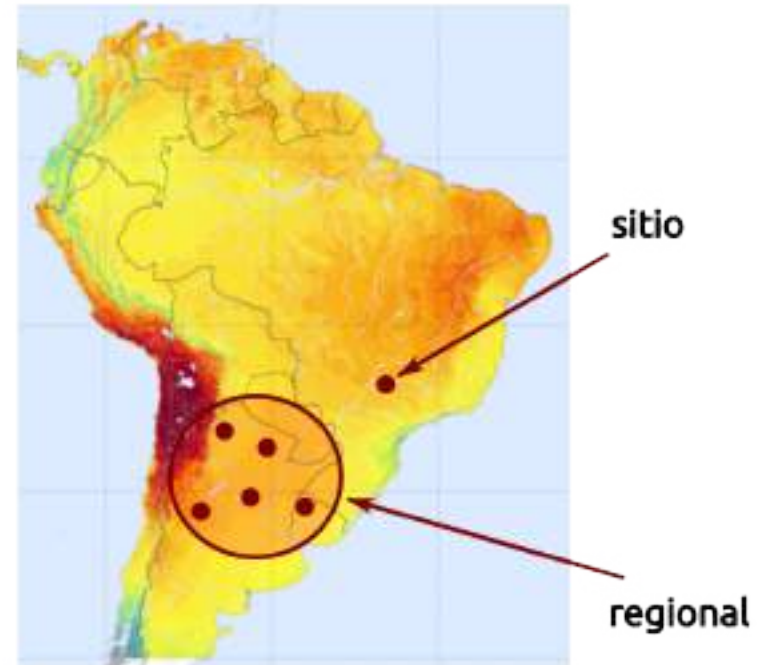
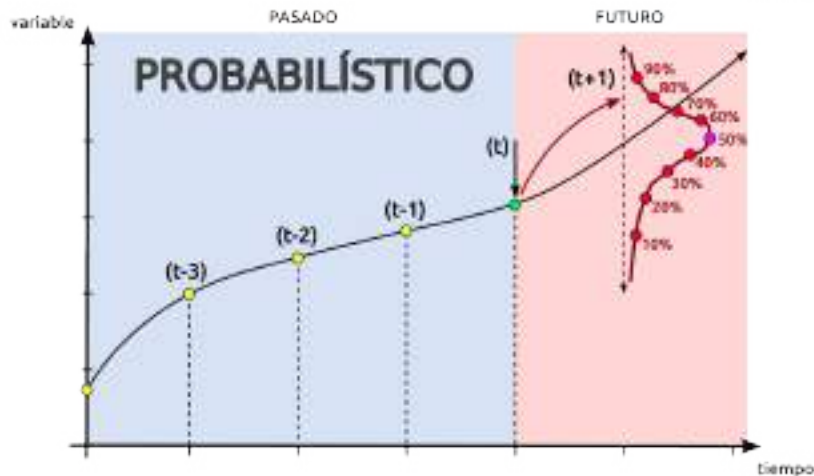
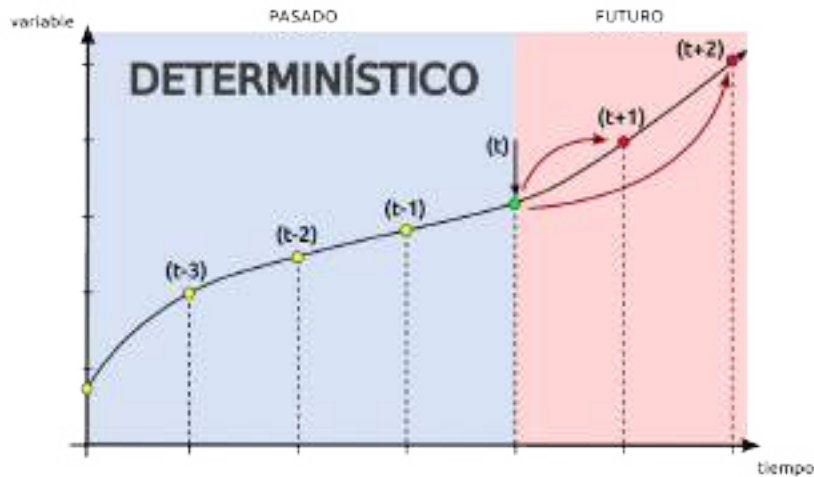
TABLE II
OPTIMIZATION RESULTS WITH VARYING CONTRACT AND DC CABLES.

test name	l_p	relative NPV	capacity factor
C01	14.6 m	1.393	24.0%
C02	14.6 m	1.390	24.0%
C03	14.6 m	1.376	24.1%
C04	14.6 m	1.373	24.1%
C05	14.3 m	1.152	24.0%
C06	14.3 m	1.150	24.0%
C07	14.3 m	1.137	24.1%
C08	14.3 m	1.134	24.1%

DIMENSIONES DE LA PREDICCIÓN

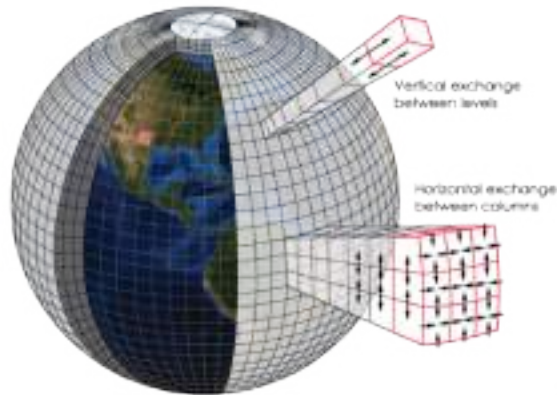
- **HORIZONTES DE PREDICCIÓN**
 Intra-hora, Intra-día, day-ahead, intra-semana

- **RESOLUCIÓN ESPACIAL**
 intra-planta, planta, regional



- **IRRADIANCIA O GENERACIÓN**

Predicción numérica por modelos de atmósfera



HORIZONTES
days-ahead
intra-día

PASO
3h, 1h o inferior

RES. ESPACIAL
10-100km o inferior

Predicción satelital (nowcasting)



HORIZONTES
intra-día

PASO
1h o inferior

RES. ESPACIAL
1-10km o inferior

Predicción por cámaras de cielo en tierra



HORIZONTES
Intra-hora, 30 mins

PASO
minutal, 5-10 mins

RES. ESPACIAL
<1km o inferior

Combinación y Post-Proceso (Est. ML, IA)



HORIZONTES
depende de inputs

PASO
depende de inputs

RES. ESPACIAL
depende de inputs

MENSAJES FINALES



CONSTRUIR CAPACIDADES LLEVA SU TIEMPO
(Equipos + Construcción Sistemática = Acumulación)

MENSAJES FINALES

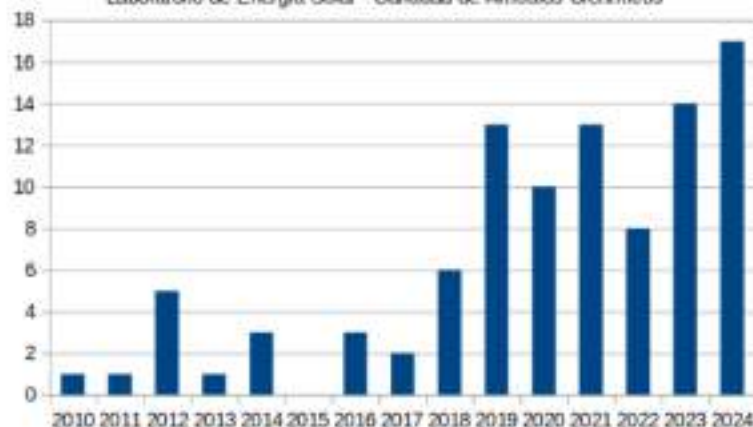


CONSTRUIR CAPACIDADES LLEVA SU TIEMPO
 (Equipos + Construcción Sistemática = Acumulación)

INVESTIGACIÓN

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ANUAL

Laboratorio de Energía Solar - Cantidad de Artículos Científicos

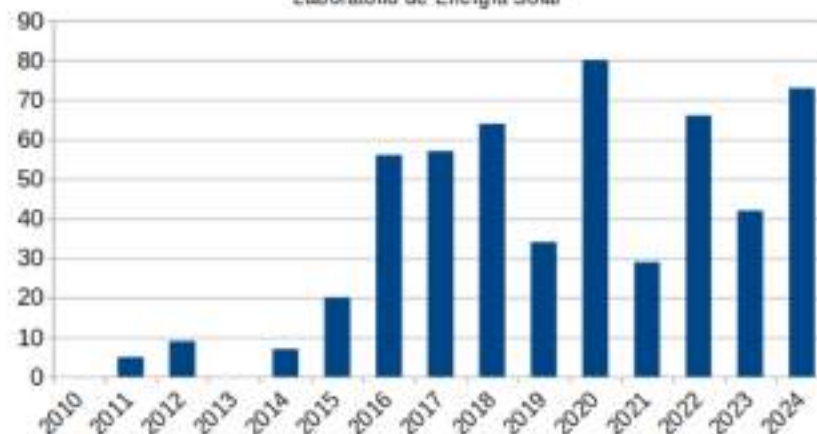


Febrero 2025 -> Artículo #100!

SERVICIO TECNOLÓGICO

CALIBRACIONES DE RADIÓMETROS POR AÑO

Laboratorio de Energía Solar



Más de 550 calibraciones al medio!

MENSAJES FINALES



CONSTRUIR CAPACIDADES LLEVA SU TIEMPO
(Equipos + Construcción Sistemática = Acumulación)



PERO ES LA ÚNICA FORMA DE CONSTRUCCIÓN REAL
(Resistir el Llave en Mano sin reinventar la rueda)

MENSAJES FINALES



CONSTRUIR CAPACIDADES LLEVA SU TIEMPO
(Equipos + Construcción Sistemática = Acumulación)



PERO ES LA ÚNICA FORMA DE CONSTRUCCIÓN REAL
(Resistir el Llave en Mano sin reinventar la rueda)

¿EN QUÉ ESTAMOS?

MENSAJES FINALES



CONSTRUIR CAPACIDADES LLEVA SU TIEMPO
(Equipos + Construcción Sistemática = Acumulación)



PERO ES LA ÚNICA FORMA DE CONSTRUCCIÓN REAL
(Resistir el Llave en Mano sin reinventar la rueda)

¿EN QUÉ ESTAMOS?

GREEN TECH LAB

- ENERGÍA SOLAR PV (FORTALECIMIENTO LES)
- ELECTROMOVILIDAD (IIE - IIQ - IIMPI)

proyecto financiado
por el UIH en la
conv. a Open Labs



Muchas gracias!



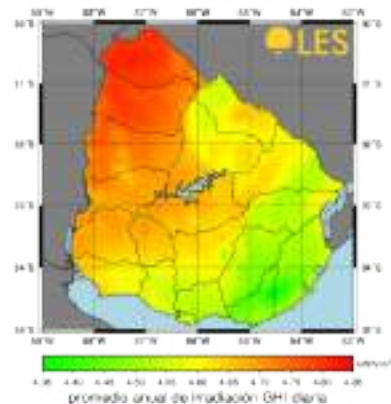
LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Dr. Rodrigo Alonso-Suárez



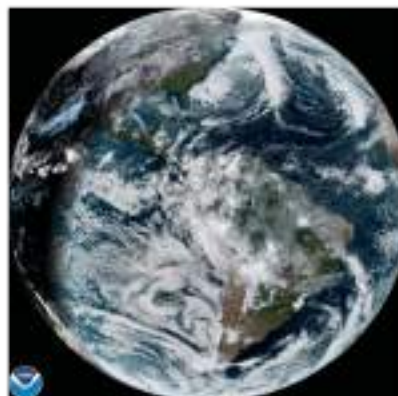
r.alonso.suarez@gmail.com

CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR



- Mapa Solar del Uruguay
- Año Meteorológico Típico
- Calibración de radiómetros
- Medición terrestre
- Espectral, PAR y UV
- Estimación satelital
- Variabilidad, intermitencia
- Datos y asesoría

PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DEL RECURSO SOLAR



- Predicción satelital
- Mod. numéricos de atm.
- Camaras de cielo
- Machine learning / IA
- Predicción probabilística
- Generación fotovoltaica
- Provisión de servicios en tiempo real para despacho

ENERGÍA TÉRMICA DE BAJA Y MEDIA TEMPERATURA



- Banco de ensayos (I+Serv.)
- Agua caliente sanitaria
- Calentamiento de aire
- Modelado de calentadores
- Calor de proceso
- Concentración solar
- Refrigeración solar
- Bombas de calor
- Geotermia, almacenamiento

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES



- Tranf. de calor en edificios
- Simulación energética de edificaciones
- Modelado de superficies vidriadas
- Invernaderos
- Infiltraciones
- Ensayo y asesoría

CALIBRACIÓN DE RADIÓMETROS

Calibración outdoor bajo norma ISO 9059:1990.

Calibración contra Estándar Secundario calibrado con el Patrón Primario del WRC (Davos, Suiza)

+400 radiómetros calibrados.

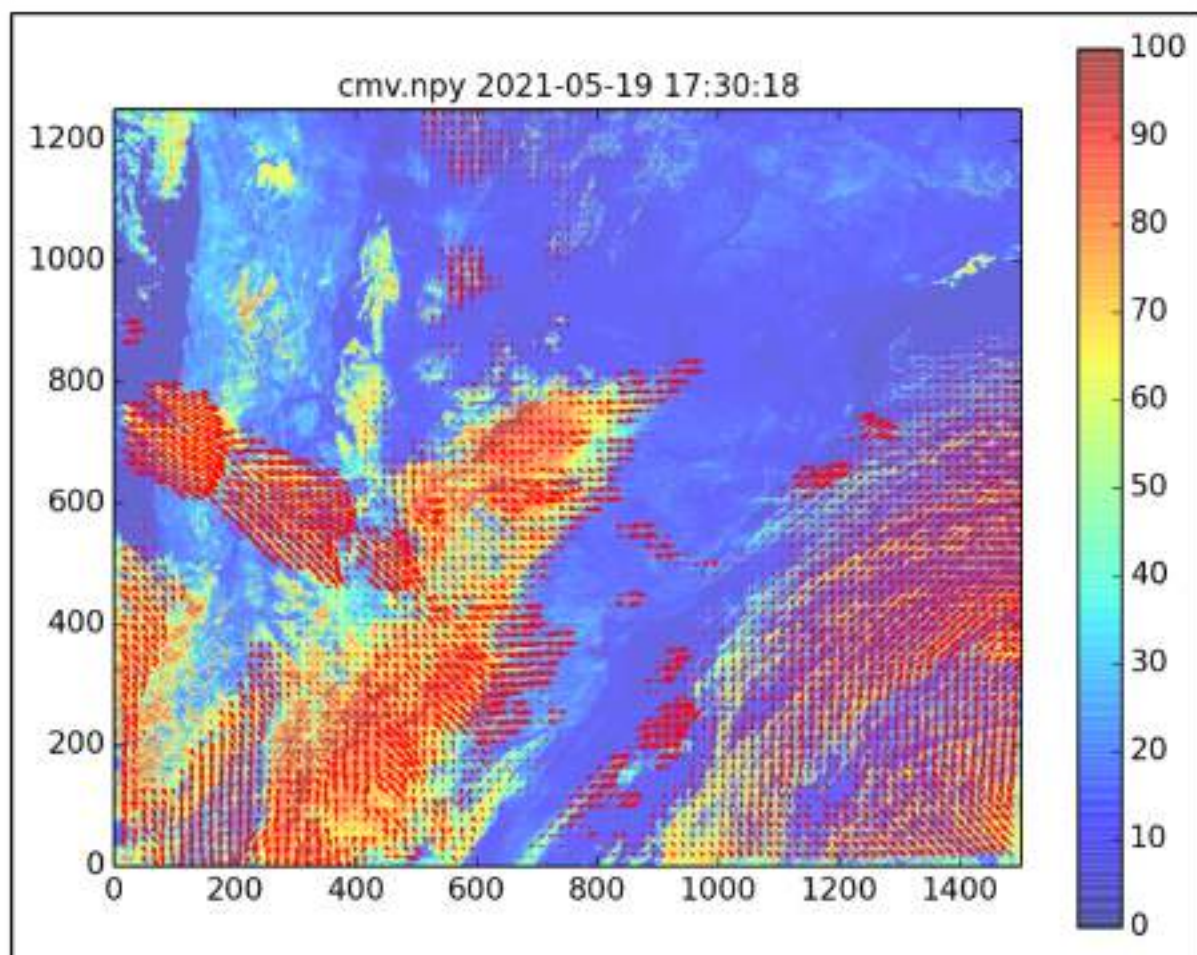
La infraestructura cumple con los requerimientos técnicos de la norma y recomendaciones WMO/BSRN.

En camino hacia la acreditación ISO/IEC 17025.

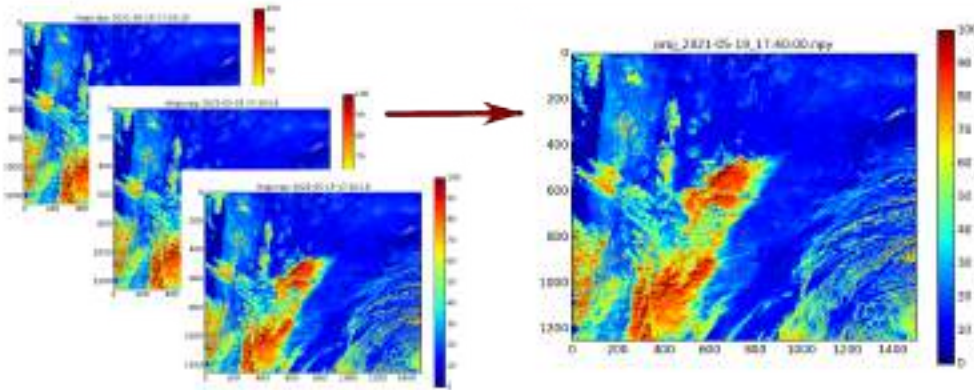


PREDICCIÓN POR SATÉLITE - Cloud Motion Vectors

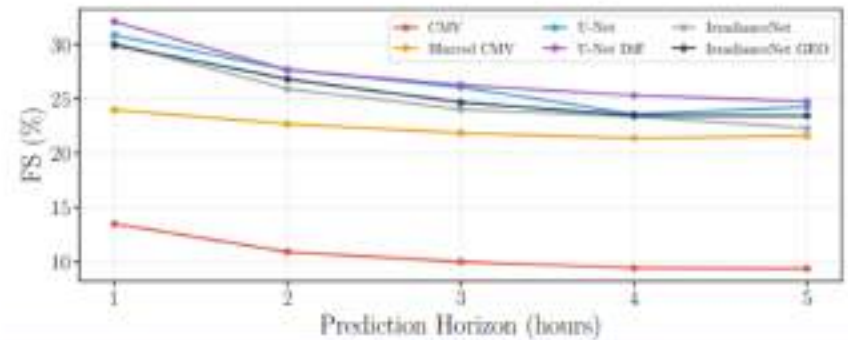
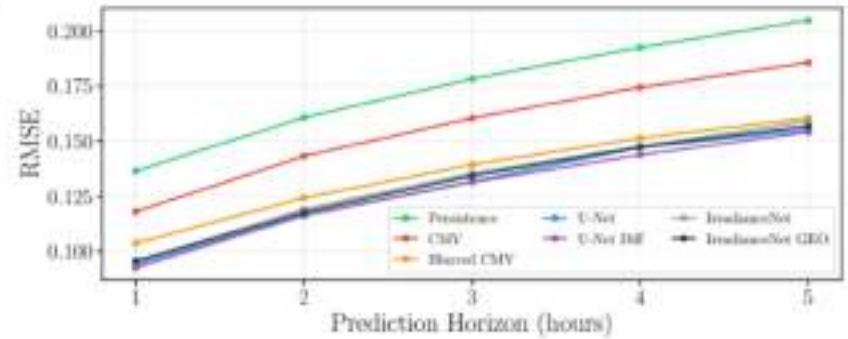
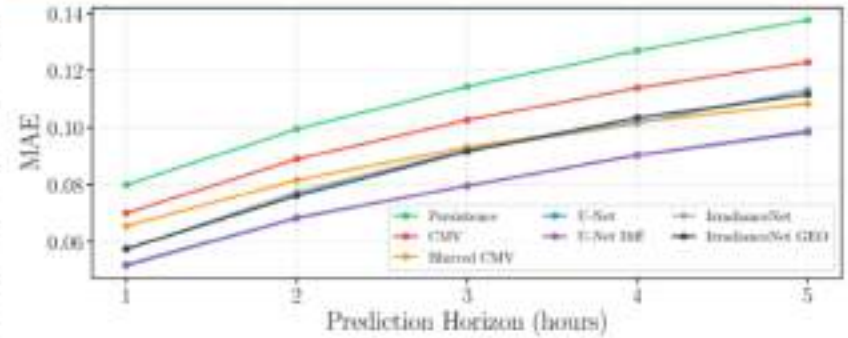
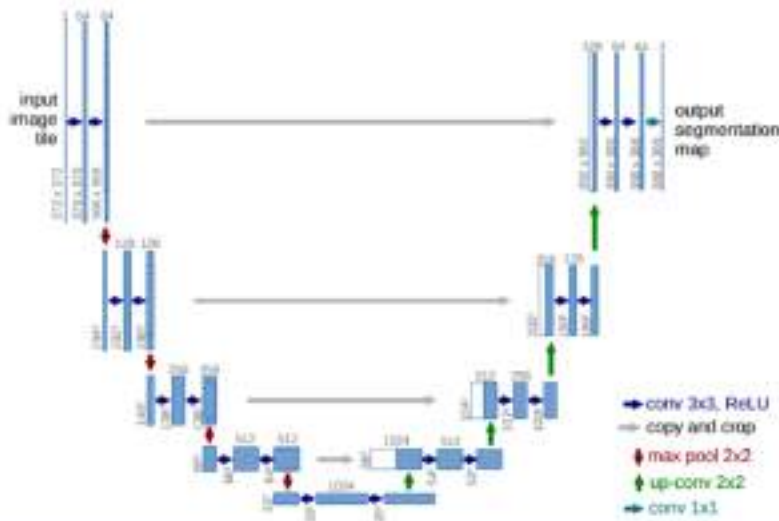
Nowcasting satelital de irradiancia solar hasta 6 horas (paso y refresh 10-minutal)



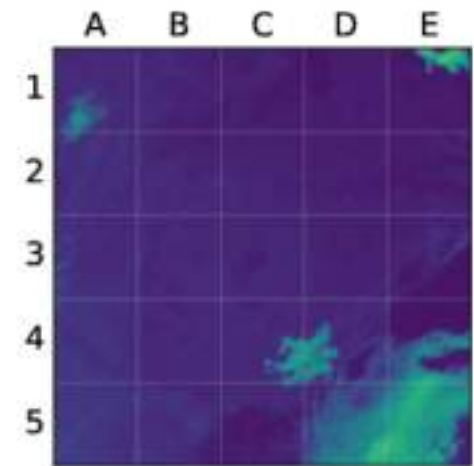
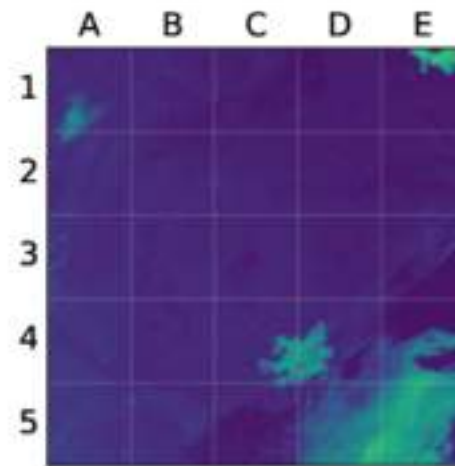
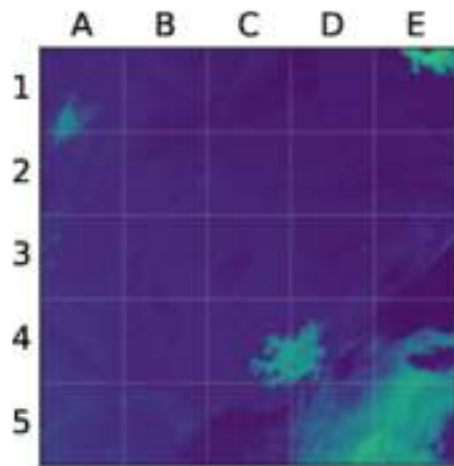
NOWCASTING SATELITAL: Deep Learning UNet (2023) - Direct Forecast.



Architecture of U-Net

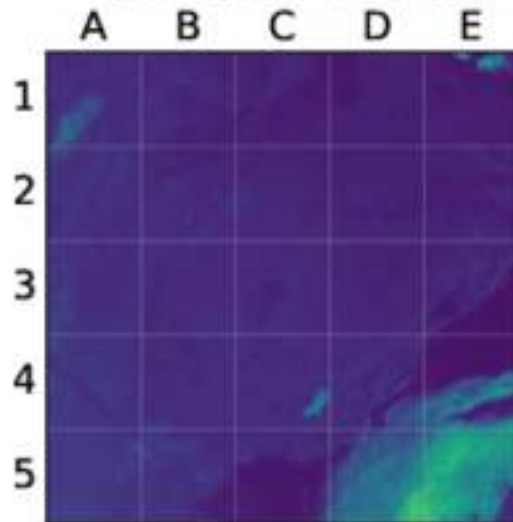


INPUT

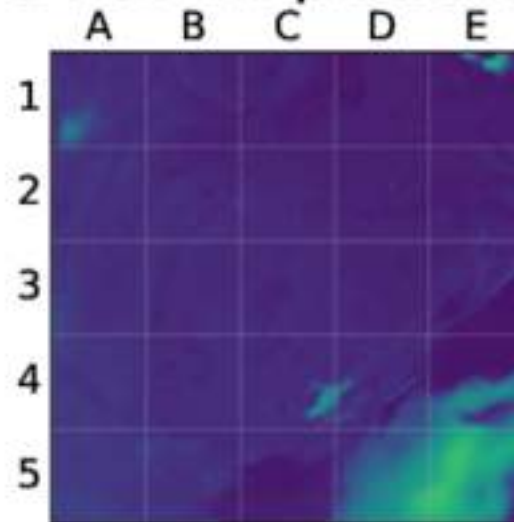


1-h

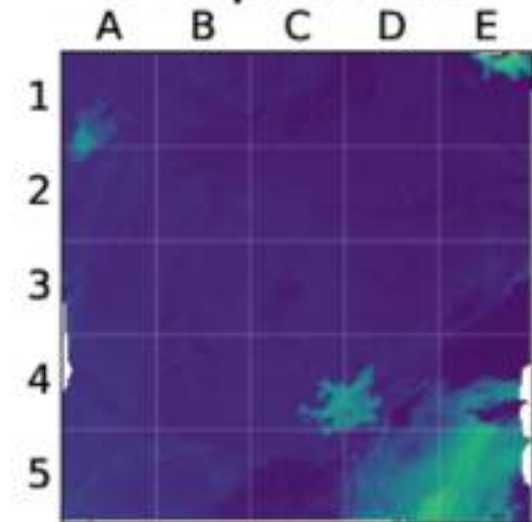
Ground Truth



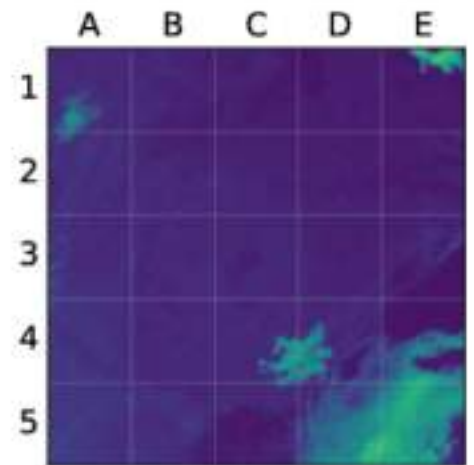
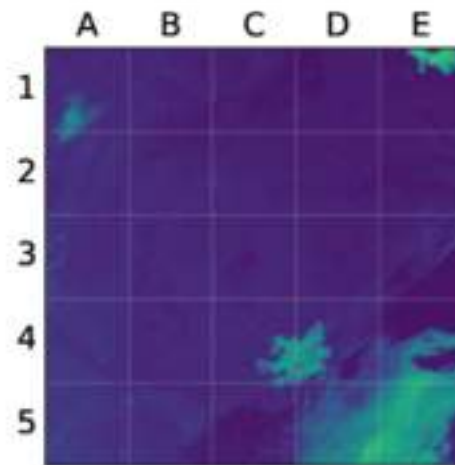
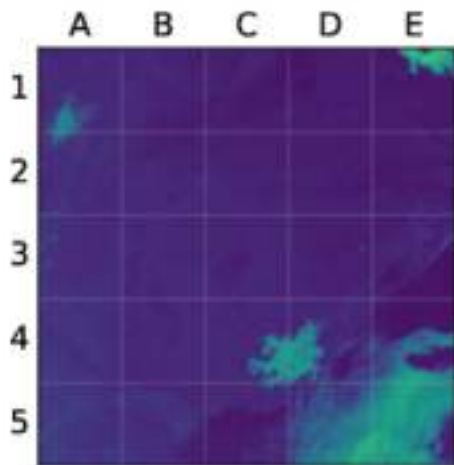
U-Net Diff prediction



CMV prediction

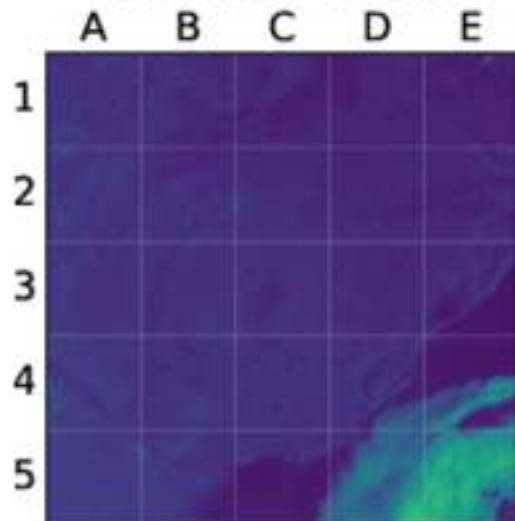


INPUT

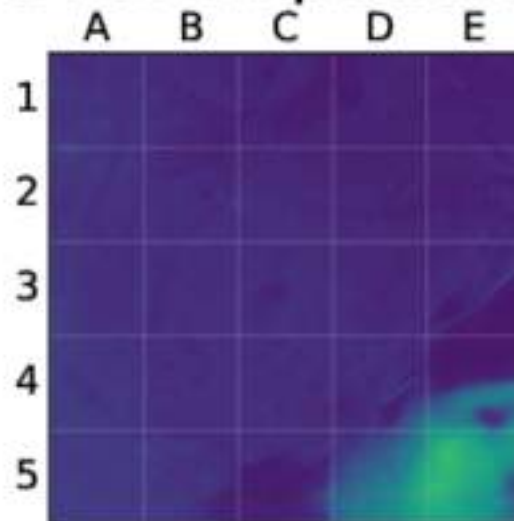


2-h

Ground Truth



U-Net Diff prediction



CMV prediction

