

Plan de Trabajo Actualizado

Atlas Solar de la Provincia de Córdoba

6 de noviembre de 2025

Índice

1. Fase 0 — Preparación del proyecto	2
2. Fase 1 — Ingesta satelital y geometría solar	2
3. Fase 2 — Estaciones y calibración de sensores	3
3.1. 2.1 Consolidación de series	3
3.2. 2.1bis Estación de referencia CMP21 (Pilar – SMN)	4
3.3. 2.2 Modelo clear-sky REST2	4
3.4. 2.3 Detección de horas claras	4
3.5. 2.4 Calibración DAVIS → GHI corregido	5
3.6. 2.5 Aplicación de la corrección	5
3.7. 2.6 Control de calidad final	5
4. Fase 3 — Brillo despejado (B_0)	5
4.1. 3.1bis Regionalización topográfica del modelo de brillo despejado	6
5. Fase 4 — Modelo satelital BD-JPT	6
6. Fase 5 — Generación del atlas solar	7

Resumen general

El proyecto **Atlas Solar de la Provincia de Córdoba** tiene como objetivo generar un modelo satelital de irradiancia solar global (GHI) y su distribución espacial y temporal, combinando mediciones terrestres calibradas con productos satelitales GOES-16/19. Se estructura en fases consecutivas, desde la preparación del dominio hasta la validación del modelo.

Cada fase incluye: objetivo específico, tareas detalladas, y productos esperados.

1. Fase 0 — Preparación del proyecto

Objetivo

Establecer la estructura base del proyecto, el dominio espacial (provincia de Córdoba) y la rejilla geográfica sobre la que se modelará la irradiancia.

Tareas

- 0.1 Descargar y procesar el shapefile de la provincia de Córdoba (IGN o GADM).
- 0.2 Crear un buffer de 0.2° para evitar recortes marginales en reproyecciones.
- 0.3 Generar una rejilla regular (0.05°) de celdas dentro del polígono provincial y asignar identificadores únicos (`cell_id`).
- 0.4 Guardar archivos: `cordoba_boundary.geojson`, `cordoba_grid.parquet`.

Producto esperado

Máscara geográfica y rejilla base provincial que servirá para todo el pipeline.

2. Fase 1 — Ingesta satelital y geometría solar

Objetivo

Obtener, reproyectar y transformar las observaciones satelitales GOES-16/19 en reflectancia calibrada y alineada temporalmente con la geometría solar provincial.

Tareas

- 1.1 Descubrimiento y listado de archivos GOES (S3 NOAA, producto `ABI-L1b-RadF`).
- 1.2 Conversión de radiancia a reflectancia visible (Fr) para el canal 2.
- 1.3 Reproyección y remuestreo a la rejilla fija de Córdoba.

- 1.4 Cálculo de geometría solar por celda-hora ($\cos \theta_z$, $\cos^2 \theta_z$, $I_0 \cos \theta_z$).
- 1.5 Integración de reflectancia y geometría solar en una tabla unificada.
- 1.6 Control de convenciones temporales (UTC, intervalos horarios [HH:00–HH:59]).

Producto esperado

`features_cell_hour.parquet`: base satelital unificada (reflectancia + geometría solar por celda y hora).

3. Fase 2 — Estaciones y calibración de sensores

Objetivo

Construir una red provincial de irradiancia calibrada y confiable, corrigiendo las mediciones de sensores DAVIS y otros instrumentos a partir de un patrón radiométrico (REST2 y CMP21).

3.1. 2.1 Consolidación de series

Objetivo: Unificar todas las estaciones (SMN, OMIXOM) a un formato horario homogéneo y en UTC.

Tareas:

2.1.0 Seleccionar dentro de la red OMIXOM aquellas estaciones que:

- registren la variable **Radiación solar (GHI)**,
- cuenten con datos continuos desde el año 2018 o anterior,
- presenten una cobertura temporal promedio anual mayor al 70 %.

2.1.1 Convertir todas las series a UTC.

2.1.2 Resamplear datos (1 min, 10 min) a promedios horarios.

2.1.3 Calcular número de observaciones válidas por hora (`n_obs`).

2.1.4 Filtrar horas con menos del 80 % de observaciones.

2.1.5 Guardar `stations/{id}_hourly_raw.parquet`.

2.1.6 Marcar la estación de Pilar (CMP21) como referencia absoluta.

3.2. 2.1bis Estación de referencia CMP21 (Pilar – SMN)

Objetivo: Incorporar la estación Pilar–SMN equipada con el piranómetro **Kipp & Zonen CMP21** como referencia radiométrica absoluta para la calibración y validación del atlas solar.

Tareas:

- 2.1bis.1 Convertir los registros de tiempo local a UTC.
- 2.1bis.2 Resamplear los datos de 1 minuto a promedios horarios [HH:00-HH:59] → HH.
- 2.1bis.3 Ejecutar el modelo REST2 y comparar con las observaciones (criterio: $R^2 > 0,99$, sesgo $< 1\%$).
- 2.1bis.4 Establecer la serie CMP21 como patrón radiométrico principal para calibrar las estaciones DAVIS y validar el modelo BD-JPT.
- 2.1bis.5 Guardar la serie final en `data/processed/stations/pilar_cmp21_hourly.parquet`.

3.3. 2.2 Modelo clear-sky REST2

Objetivo: Calcular irradiancia teórica en cielo despejado (GHIcs, DNIcs, DHIcs) para cada estación.

Tareas:

- 2.2.1 Obtener AOD, PWV, ozono, presión (ERA5/CAMS).
- 2.2.2 Calcular geometría solar con `pvlib`.
- 2.2.3 Ejecutar REST2 por hora y guardar resultados.
- 2.2.4 Validar GHIcs vs CMP21 en días despejados.

3.4. 2.3 Detección de horas claras

Objetivo: Identificar horas sin nubosidad mediante criterios radiométricos y satelitales.

Tareas:

- 2.3.1 Calcular $k_t = GHI/I_0 \cos \theta_z$.
- 2.3.2 Comparar $|Fr - Fr_0| < \varepsilon$ con umbral $\varepsilon = 0,04$.
- 2.3.3 Filtrar por $\cos \theta_z > 0,5$.
- 2.3.4 Definir `is_clear = 1` si cumple todos los criterios.

3.5. 2.4 Calibración DAVIS → GHI corregido

Objetivo: Ajustar los sensores DAVIS 6450 al estándar CMP21/REST2 eliminando sesgos angulares y espectrales.

Modelo:

$$GHI_{corr} = \alpha_0 + \alpha_1 GHI_{raw} + \alpha_2(1 - \cos \theta_z) + \alpha_3 m$$

Tareas:

- 2.4.1 Ajustar coeficientes α_i sobre horas despejadas.
- 2.4.2 Usar regresión robusta (Huber o RANSAC).
- 2.4.3 Validar con REST2 y CMP21 ($MAE_{clear} < 4\%$, $|bias| < 2\%$).
- 2.4.4 Guardar `coeffs_davis.json`.

3.6. 2.5 Aplicación de la corrección

Objetivo: Generar series completas de GHI corregido para todas las horas.

Tareas:

- 2.5.1 Aplicar el modelo α_i a todas las horas.
- 2.5.2 Filtrar valores negativos o $> 1300 \text{ W/m}^2$.
- 2.5.3 Guardar `stations/{id}_hourly_corr.parquet`.

3.7. 2.6 Control de calidad final

Objetivo: Validar la coherencia física y radiométrica de las series calibradas.

Tareas:

- 2.6.1 Comparar GHI_{corr} con REST2 ($R^2 > 0,97$).
- 2.6.2 Analizar residuales vs ángulo solar.
- 2.6.3 Graficar GHI_{raw} , GHI_{corr} y REST2.
- 2.6.4 Validar inter-estaciones contra CMP21.

Producto esperado

Red provincial calibrada de GHI horario, con el CMP21 como referencia absoluta.

4. Fase 3 — Brillo despejado (B_0)

Objetivo

Estimar el brillo satelital esperado en condiciones de cielo claro (B_0) por celda, base del modelo BD-JPT.

Tareas

- 3.1 Seleccionar horas despejadas por celda (cuantil 0.9 de reflectancia).
- 3.2 Ajustar el modelo de Tarpley o BD-JPT simplificado: $B_0 = A + B \cos \theta_z + C \sin \theta_z \cos \gamma + D \sin \theta_z \cos^2 \gamma$.
- 3.3 Interpolar celdas con pocos datos.
- 3.4 Validar B_0 promedio vs superficie y CMP21.
- 3.5 Guardar `B0_params.parquet` y `B0_hourly.parquet`.

4.1. 3.1bis Regionalización topográfica del modelo de brillo despejado

Objetivo: Mejorar la representación física del modelo B_0 considerando las diferencias atmosféricas y altitudinales dentro de la provincia de Córdoba.

Tareas:

- 3.1bis.1 Obtener un Modelo Digital de Elevación (SRTM) y calcular la altitud media de cada celda del dominio.
- 3.1bis.2 Clasificar las celdas en tres regiones topográficas:
 - Región Oeste Serrana (>700 m),
 - Región Centro Llana (300–700 m),
 - Región Este–Sur Pampeana (<300 m).
- 3.1bis.3 Entrenar un modelo B_0^r independiente por región con las estaciones DAVIS calibradas correspondientes.
- 3.1bis.4 Validar cada modelo regional contra la estación CMP21 (Pilar) como referencia radiométrica.
- 3.1bis.5 Comparar errores inter-regionales y ajustar pesos si es necesario.

Producto esperado: Tres conjuntos de coeficientes A_r, B_r, C_r, D_r para las regiones topográficas, con métricas de validación cruzada y mapas de error.

5. Fase 4 — Modelo satelital BD-JPT

Objetivo

Entrenar el modelo físico-empírico de irradiancia global (BD-JPT) usando GHI corregido (CMP21 y DAVIS) y reflectancia GOES.

Tareas

- 4.1 Unir GHI_corr (targets) con features satelitales (Fr, B_0 , cosz, etc.).
- 4.2 Ajustar los coeficientes del modelo BD-JPT.
- 4.3 Validar contra CMP21 y estaciones independientes.
- 4.4 Mapear incertidumbre provincial.

6. Fase 5 — Generación del atlas solar

Objetivo

Producir mapas horarios, diarios y mensuales de irradiancia solar global (GHI) para la provincia de Córdoba.

Tareas

- 5.1 Aplicar el modelo BD-JPT a todas las celdas y horas.
- 5.2 Generar climatologías mensuales y anuales (W/m^2 y $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$).
- 5.3 Validar con CMP21 y estaciones DAVIS.
- 5.4 Exportar mapas en formato GeoTIFF/COG y reportes PDF.

Producto esperado

Atlas solar provincial validado, con incertidumbre estimada y documentación reproducible.

Referencias

- Gueymard, C. A. (2008). REST2: High-accuracy solar radiation model for clear-sky conditions. *Solar Energy*, 82(3), 272–285.
- Tarpley, J. D. (1979). Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. *J. Appl. Meteorol.*, 18, 1172–1181.