ANEXO – CONSULTA DE DATOS CLIMÁTICOS ERA5

En la carpeta denominada ERA5, incluida dentro de la presente solicitud, se encuentran cuatro (4) archivos principales con extensión .nc y sus correspondientes archivos auxiliares con extensión .aux.xml.

A continuación, se explica de manera sencilla qué contienen estos archivos y cómo pueden ser consultados.

1. Fuente de los datos climáticos

Los datos climáticos incluidos en la carpeta ERA5 fueron descargados del repositorio oficial Copernicus Climate Data Store (CDS), correspondiente al dataset:

ERA5 Reanalysis – Single Levels

Disponible en:

https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels

ERA5 es uno de los productos de reanálisis climático más utilizados a nivel mundial y es desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) en el marco del programa Copernicus Climate Change Service (C3S).

Este reanálisis combina información proveniente de diversas fuentes de observación y modelación atmosférica, entre ellas:

- satélites meteorológicos
- estaciones meteorológicas de superficie
- radiosondeos atmosféricos
- modelos numéricos de la atmósfera

La integración de estas fuentes permite reconstruir de manera consistente el estado de la atmósfera a escala global mediante técnicas avanzadas de asimilación de datos.

ERA5 proporciona información con una resolución temporal horaria y una resolución espacial aproximada de 0.25° (~31 km), lo que permite analizar condiciones meteorológicas regionales con un alto nivel de consistencia espacial y temporal.

Los datos descargados fueron utilizados para evaluar las condiciones meteorológicas en el área del bloque Antioquia – Córdoba, particularmente aquellas relacionadas con la presencia de nubosidad, precipitación y otras condiciones atmosféricas que pueden influir en la operación aerotransportada.

2. Contenido de la carpeta ERA5

Dentro de la carpeta ERA5 se encuentran dos tipos de archivos:

2.1 Archivos NetCDF (.nc)

Los archivos con extensión .nc corresponden al formato NetCDF (Network Common Data Form).

Este es un formato estándar utilizado en:

- meteorología
- climatología
- oceanografía
- ciencias atmosféricas

Los archivos NetCDF almacenan información organizada en dimensiones espaciales y temporales, incluyendo:

- latitud
- longitud
- tiempo
- variables meteorológicas

Cada archivo contiene una matriz de datos que describe la evolución temporal de las variables climáticas para el área consultada.

2.2 Archivos auxiliares (.aux.xml)

Los archivos con extensión .aux.xml son archivos auxiliares generados automáticamente por programas de Sistemas de Información Geográfica como ArcGIS.

Estos archivos contienen únicamente:

- metadatos
- configuraciones de visualización
- información de georreferenciación

No contienen datos climáticos y no es necesario abrirlos ni analizarlos para consultar la información.

3. Variables meteorológicas incluidas

Los archivos ERA5 incluidos en la carpeta contienen diferentes variables meteorológicas que se identifican en el nombre del archivo mediante el parámetro stepType, el cual indica la forma en que se reporta la información en el tiempo.

En los archivos suministrados se identifican dos tipos principales de registro:

- **stepType = instant**, que corresponde a valores instantáneos de las variables meteorológicas en un momento específico.
- **stepType = accum**, que corresponde a variables acumuladas durante un intervalo de tiempo, generalmente desde el inicio del periodo hasta el momento del registro.

Los archivos ERA5 incluidos contienen las siguientes variables climáticas:

Tabla 1. Variables meteorológicas descargadas del reanálisis ERA5

Variable	Descripción	Unidad	stepType
tcc	Total Cloud Cover (cobertura nubosa total)	fracción (0-1)	instant
lcc	Low Cloud Cover (cobertura nubosa baja)	fracción (0-1)	instant
u10	Componente zonal del viento a 10 m	m/s	instant
v10	Componente meridional del viento a 10 m	m/s	instant
cape	Convective Available Potential Energy	J/kg	instant
tp	Total Precipitation (precipitación total acumulada)	m	accum

Estas variables permiten caracterizar diferentes aspectos de las condiciones atmosféricas, tales como la presencia de nubosidad, la intensidad del viento, la inestabilidad atmosférica y la ocurrencia de precipitación.

Las variables seleccionadas corresponden a parámetros meteorológicos directamente relacionados con la operación aerotransportada, particularmente aquellos que influyen en la formación de nubosidad, eventos de precipitación y condiciones de inestabilidad que pueden afectar la seguridad y continuidad de los vuelos.

3.2 Importancia para el análisis meteorológico

La combinación de variables instantáneas y acumuladas permite obtener una caracterización más completa de las condiciones meteorológicas presentes en el área de estudio.

En particular:

- la cobertura nubosa (tcc, lcc) permite evaluar la presencia y densidad de nubes que pueden limitar las condiciones de vuelo;
- la precipitación acumulada (tp) permite identificar periodos de lluvia y condiciones de humedad;
- las componentes del viento (u10, v10) permiten analizar la intensidad y dirección del viento a baja altura;
- la energía convectiva disponible (CAPE) permite identificar condiciones de inestabilidad atmosférica asociadas a la formación de nubosidad convectiva o tormentas.

En conjunto, estos parámetros climáticos permiten sustentar de forma objetiva las condiciones meteorológicas registradas durante las operaciones aerotransportadas en el área del bloque Antioquia – Córdoba.

4. Software para abrir y consultar archivos NetCDF (.nc)

Los archivos climáticos del reanálisis ERA5 se almacenan en formato NetCDF (.nc), el cual es un estándar ampliamente utilizado en ciencias atmosféricas y geociencias y puede ser consultado mediante diferentes tipos de software, incluyendo:

- programas de visualización científica
- Sistemas de Información Geográfica (GIS)
- lenguajes de programación científica
- herramientas de procesamiento de datos climáticos

A continuación, se describen las principales alternativas para consultar estos archivos.

4.1 Visualización con Panoply

Una de las herramientas más sencillas para explorar archivos NetCDF es Panoply, un programa desarrollado por la NASA Goddard Institute for Space Studies.

Este software permite visualizar fácilmente variables climáticas en forma de:

- mapas
- gráficos
- series temporales
- animaciones temporales

Panoply puede descargarse gratuitamente desde:

https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/

El programa está disponible para:

- Windows

- MacOS
- Linux

Pasos básicos para abrir un archivo

1. Instalar el software Panoply.
2. Abrir el programa.
3. Seleccionar File → Open.
4. Buscar la carpeta ERA5.
5. Seleccionar un archivo con extensión .nc.
6. El programa mostrará las variables meteorológicas disponibles.
7. Al seleccionar una variable se pueden generar mapas o gráficos.

Este software es útil para explorar rápidamente los datos sin necesidad de programación.

4.2 Uso en Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Los archivos NetCDF también pueden abrirse directamente en programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde las variables climáticas pueden visualizarse como raster multidimensionales.

ArcGIS

En ArcGIS Pro los archivos NetCDF pueden visualizarse mediante la herramienta:

Make NetCDF Raster Layer

o directamente agregando el archivo .nc al mapa.

Las variables contenidas en el archivo pueden representarse como:

- mapas raster
- capas climáticas
- series temporales
- datasets multidimensionales

ArcGIS permite, además:

- seleccionar variables específicas
- visualizar cambios temporales
- generar mapas temáticos
- exportar los datos a formato raster convencional (GeoTIFF)

Esto facilita su integración con otros datos geográficos dentro de un análisis espacial.

QGIS

El software libre QGIS también permite abrir archivos NetCDF.

Para ello se utiliza el proveedor *GDAL* o el complemento *Multidimensional Raster.*

En QGIS las variables se pueden visualizar como:

- capas raster
- mapas climáticos
- grids espaciales

Cada variable climática contenida en el archivo puede cargarse como una capa independiente.

4.3 Consulta y análisis mediante Python

Otra forma común de trabajar con archivos NetCDF es mediante Python, que permite realizar análisis científicos más avanzados.

Python es ampliamente utilizado en climatología, meteorología y ciencias de la Tierra.

Mediante Python es posible:

- calcular promedios espaciales o temporales
- generar gráficos
- extraer datos para ubicaciones específicas
- realizar análisis estadísticos
- automatizar el procesamiento de múltiples archivos

Para trabajar con archivos ERA5 se utilizan librerías especializadas como:

- xarray
- netCDF4
- pandas
- matplotlib

Estas herramientas permiten manipular grandes volúmenes de datos climáticos de manera eficiente.

Abrir un archivo NetCDF en Python

```
import xarray as xr
archivo = xr.open_dataset("archivo.nc")
print(archivo)
```

Este comando permite visualizar la estructura del archivo, incluyendo:

- variables climáticas

- coordenadas espaciales
- dimensión temporal

Ver las variables disponibles

```
print(archivo.data_vars)
```

Ejemplo de variables que pueden aparecer:

- tcc → cobertura nubosa total
- tp → precipitación total
- t2m → temperatura a 2 metros

Calcular un promedio temporal

Para obtener el promedio de una variable a lo largo del tiempo:

```
tcc = archivo['tcc']
promedio_tiempo = tcc.mean(dim='time') # o 'valid_time' dependiendo del archivo
print(promedio_tiempo)
```

Calcular un promedio espacial

Para obtener el promedio sobre toda el área analizada:

```
promedio_area = tcc.mean(dim=['latitude','longitude'])
print(promedio_area)
```

Graficar una serie temporal

```
import matplotlib.pyplot as plt
serie = tcc.mean(dim=['latitude','longitude'])
serie.plot()
plt.title("Cobertura nubosa promedio")
plt.show()
```

Este tipo de análisis permite calcular indicadores climáticos como:

- cobertura nubosa promedio
- precipitación acumulada
- condiciones atmosféricas predominantes

que pueden utilizarse para sustentar análisis meteorológicos o condiciones operacionales.

Xcalibur
SMART MAPPING

En conjunto, los archivos ERA5 incluidos en este anexo permiten consultar y analizar condiciones meteorológicas históricas sobre el área de estudio mediante diferentes herramientas científicas y geoespaciales, proporcionando una base objetiva para la evaluación de las condiciones atmosféricas registradas durante la operación aerotransportada.